



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**FELIPE GONÇALVES AMARAL**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL E TRAJETÓRIA EVOLUTIVA DA  
MATA ATLÂNTICA ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS ENTRE 1985  
E 2018 NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**Rio de Janeiro**  
**Fevereiro de 2019**

**FELIPE GONÇALVES AMARAL**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL E TRAJETÓRIA EVOLUTIVA DA  
MATA ATLÂNTICA ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS ENTRE 1985  
E 2018 NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM GEOGRAFIA.

**ORIENTADORAS:**

**Carla Bernadete Madureira Cruz**

(Profa. Dra. do Departamento de Geografia, UFRJ)

**Paula Maria Moura de Almeida**

(Profa. Dra. do Departamento de Geografia, UCB)

**Rio de Janeiro**

**Fevereiro de 2019**

## CIP - Catalogação na Publicação

A485a AMARAL, FELIPE GONÇALVES  
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL E TRAJETÓRIA EVOLUTIVA DA  
MATA ATLÂNTICA ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS ENTRE  
1985 E 2018 NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO / FELIPE  
GONÇALVES AMARAL. -- Rio de Janeiro, 2019.  
174 f.

Orientadora: CARLA BERNADETE MADUREIRA CRUZ.  
Coorientadora: PAULA MARIA MOURA DE ALMEIDA.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação  
em Geografia, 2019.

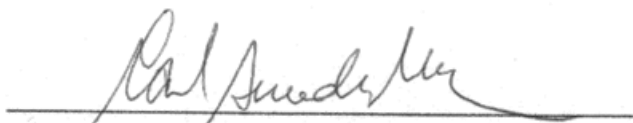
1. Sensoriamento Remoto. 2. Dinâmica da Paisagem.  
3. Estudos Multitemporais. 4. Rio de Janeiro. I.  
BERNADETE MADUREIRA CRUZ, CARLA, orient. II. MOURA  
DE ALMEIDA, PAULA MARIA, coorient. III. Título.

Felipe Gonçalves Amaral

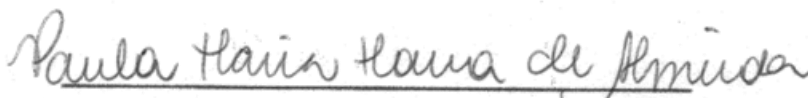
**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL E TRAJETÓRIA EVOLUTIVA DA  
MATA ATLÂNTICA ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS ENTRE 1985  
E 2018 NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geografia.

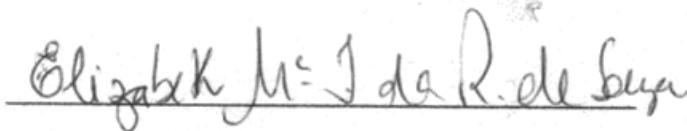
Aprovada em 15 de fevereiro de 2019.



(Profa. Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz, UFRJ)



(Profa. Dra. Paula Maria Moura de Almeida, UCB)



(Profa. Dra. Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza, UFRJ)



(Prof. Dr. Vinicius da Silva Seabra, UERJ/FFP)

*“A minha família, a meus amigos e a meus grandes professores.  
Aos meus guias e à essência de toda natureza que nos rodeia”*

*“Tempos difíceis nos aguardam e em breve teremos que escolher entre o  
que é certo e o que é fácil.”*

*J.K. Rowling (Alvo Dumbledore)*

# AGRADECIMENTOS

Cada vez que passo por essas experiencias acadêmicas mais eu vejo que nasci pra isso!

Por esse motivo começo agradecendo muito a minha orientadora Carla Madureira por me iniciar nesse mundo e sempre me apoiar em todas as loucuras que eu me meto nessa minha vida acadêmica, isso inclui as forças, os abraços e os esporros, e a Paula por aceitar sempre ser minha coorientadora, por me transformar em um megalomaníaco e em um mestre dos fluxogramas, além de me ajudar sempre nessas loucuras também. Agradeço também a Banca Examinadora dessa dissertação, Vinicius e Beth, além de Monika e Manoel que compõe essa formação que aceitou esse convite.

Essa dissertação foi: "ohhh.... O bicho!". Pela quantidade de coisa que foi feita para ela sair da mente, pelos mapas e pelas as palavras que trago aqui, e sem meus mais novos orientandos, que fizeram parte integral da minha pesquisa e transformaram partes dela em suas pesquisas, essa dissertação nunca teria saído, então muito obrigado primeiramente a Danilo e Amanda por toda a ajuda integral e apoio incondicional que me deram e a Camila e Rita pelo apoio nessa vida de processar dados e avaliar pontos. Espero que suas um dia eu possa estar ajudando vocês, nos trabalhos, artigos, dissertações e teses de vocês, assim como vocês me ajudaram.

Agradeço também a todo apoio acadêmico que o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento e Estudos Ambientais me proporcionou, e todos os integrantes dessa grande família, sinto que encontrei minha área de estudo porque achei vocês.

Obrigado Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, seu coordenador, seus secretários e seus professores por todo apoio que tive para dar prosseguimento a minha vida acadêmica e passar por mais essa fase.

Agradeço a minha família que sempre esteve me apoiando nessa vida acadêmica e em toda a minha vida, em especial minha mãe Nelma que sempre esteve comigo, comemorando comigo todas as minhas conquistas, também a minha namorada Patricia que me deu uma nova família a quem eu posso contar sempre, e me fez escrever, me passou todas as energias que pode para essa dissertação sair, além de ter me ajudado lendo e validando diversos processos aqui feitos.

Aos meus amigos que me acompanham desde a graduação Douglas, Vandré, João, Romulo, Egberto e novamente Danilo que sempre estão presentes nessas loucuras acadêmicas que nos metremos juntos

A todos, amigos e colegas que estão comigo sempre pessoalmente ou em pensamento dando ajuda emocional e emanando positividade.

A minha origem;

E aos meus guias protetores.

Obrigado!

# RESUMO

Devido ao intenso processo de fragmentação, ocupação e descaracterização de diversas áreas, que resulta em grandes perdas de recursos naturais, cresce a necessidade de imperativos ambientais focados em se gerir e garantir recursos vitais e finitos. Cada vez mais a cartografia e as geotecnologias se fortalecem como meios de caracterização, monitoramento e reconhecimento de áreas, se tornando uma ferramenta importante para o planejamento e a gestão ambiental por auxiliarem nas análises quantitativas e qualitativas desses ambientes. Essa dissertação tem o objetivo a análise das mudanças espaço-temporais ocorridas em áreas de remanescentes florestais da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, num período de 33 anos, entre 1985 a 2018, adotando-se técnicas de detecção de mudanças apoiadas em séries temporais de imagens de sensores orbitais. Objetiva-se também adaptar uma metodologia de pré-processamento para estudos multitemporais em grandes extensões, além de analisar descritores dinâmicos visando a detecção de mudanças em séries temporais para identificar e quantificar trajetórias de supressão e regeneração da floresta no estado do Rio de Janeiro em intervalos de 5 anos. Os resultados obtidos foram satisfatórios desde o pré-processamento as trajetórias evolutivas de áreas florestadas do Rio de Janeiro, os resultados são apresentados em formas de análises e gráficos, da validação das imagens e dos mapeamentos realizados baseados em abordagens híbridas que podem subsidiar tomadas de decisões ambientais.



# ABSTRACT

Due to the intense process of fragmentation, occupation and decharacterization of several areas, resulting in large losses of natural resources, the need for environmental imperatives focused on managing and guaranteeing vital and finite resources grows. Increasingly, cartography and geotechnology are strengthened as a means of characterizing, monitoring and recognizing areas, becoming an important tool for planning and environmental management by assisting in the quantitative and qualitative analysis of these environments. This dissertation has the objective of analyzing the spatial and temporal changes occurring in areas of forest remnants of the Atlantic Forest in the state of Rio de Janeiro, in a period of 33 years, between 1985 and 2018, adopting techniques of detection of changes supported in series images of orbital sensors. It is also intended to adapt a pre-processing methodology for large-time multitemporal studies, as well as to analyze dynamic descriptors to detect changes in time series to identify and quantify trajectories of forest suppression and regeneration in the state of Rio de Janeiro at intervals of 5 years. The results were satisfactory from the pre-processing of the evolutionary trajectories of forested areas of Rio de Janeiro, the results are presented in forms of analyzes and graphs, the validation of the images and the mappings made based on hybrid approaches that can support decision making environmental

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>Objetivo</b> .....	<b>3</b>
I. Geral .....	3
II. Específicos .....	3
<b>Justificativa E Estrutura</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPITULO 1 - A ECOLOGIA DA PAISAGEM E O SENSORIAMENTO REMOTO, UMA REVISÃO TEÓRICA E CONCEITUAL</b> .....	<b>5</b>
1.1. Ecologia da Paisagem .....	5
1.1.1. Estrutura e Função .....	6
1.1.2. Mudança da Paisagem .....	7
1.1.3. Gestão da Paisagem e Planejamento Ambiental .....	9
1.1.4. Conservação de Paisagens Naturais .....	11
1.2. Sensoriamento Remoto .....	15
1.2.1. Imagem Digital e o Processamento Digital .....	17
1.2.2. Classificação e Mapeamento de Cobertura do Solo .....	19
1.2.2.1. Mapeamentos Multitemporais .....	20
1.2.2.1.1. Detecção de Mudanças .....	21
<b>CAPÍTULO 2 - A MATA ATLÂNTICA E O ESTADO DO RIO DE JANEIRO</b> ..	<b>24</b>
2.1. Mata Atlântica.....	24
2.1.1. Políticas de Proteção da Mata Atlântica .....	28
2.1.2. A Cartografia da Mata Atlântica .....	31
2.2. O Rio de Janeiro .....	32
2.2.1. Aspectos Físicos .....	33
2.2.1.1. A Mata Atlântica fluminense .....	34
2.2.2. Aspectos Humanos .....	39
<b>CAPÍTULO 3 - O PRÉ-PROCESSAMENTO VISANDO MAPEAMENTOS MULTITEMPORAIS ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS</b> .....	<b>40</b>
3.1. Introdução .....	40
3.2. Materiais e Métodos.....	41
3.2.1. Imagens Landsat .....	42
3.2.2. Correção Atmosférica e Transformação TOA .....	46
3.2.3. Normalização Radiométrica .....	51
3.2.4. Mosaicagem e Equalização .....	55
3.2.5. Validação .....	57
3.3. Resultados e Discussões .....	59
3.4. Conclusão.....	66

<b>CAPÍTULO 4 - DESCRITORES DINÂMICOS E ABORDAGEM HÍBRIDA PARA ESTUDOS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS .....</b>	<b>67</b>
4.1. Introdução .....	67
4.2. Materiais e Métodos.....	68
4.2.1. Descritores Dinâmicos de Mudança .....	69
4.2.1.1. Índices Radiométricos .....	70
4.2.2. Abordagem híbrida - do Pixel ao Objeto .....	74
4.2.2.1. Segmentação Multitemporal .....	75
4.2.3. Análise Exploratória de Descritores Dinâmicos .....	76
4.3. Resultados e Discussões .....	80
4.4. Conclusão.....	97
<b>CAPÍTULO 5 - MODELAGEM DO CONHECIMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS EVOLUTIVAS DE ÁREAS FLORESTADAS.....</b>	<b>99</b>
5.1. Introdução .....	99
5.2. Materiais Métodos .....	100
5.2.1. Legendas Dinâmicas da Mata Atlântica .....	102
5.2.2. Diferenciação de Imagens .....	103
5.2.3. Classes Hierárquicas e Modelagem do Conhecimento .....	104
5.3. Resultados e Discussões .....	106
5.4. Conclusão .....	126
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>135</b>

# FIGURAS

Figura 1 - Elementos Básicos da Paisagem. - Fonte: Adaptada de SAN VICIENTE, 2004 a partir de FORMAN & GRODON, 1986.....	6
Figura 2 - Mudanças na Paisagem - Fonte: Adaptada de CRUMB, 2004.....	8
Figura 3 - A Gestão Ambiental e seus atributos - Fonte: SANTOS 2004.....	9
Figura 4 - Fases do Planejamento Ambiental - Fonte: Adaptada de SANTOS 2004.....	11
Figura 5- Áreas Protegidas no Mundo - Fonte: JUFFE-BIGNOLI et al., 2014.....	12
Figura 6 - Quantitativo de Áreas Protegidas por Regiões Continentais - Fonte: JUFFE-BIGNOLI et al., 2014.....	13
Figura 7- Porcentagem de áreas protegidas por Estados Nacionais - Fonte: JUFFE-BIGNOLI et al., 2014.....	13
Figura 8 - Áreas Protegidas no Brasil, tipologias e espacializações - Fonte: MMA.....	14
Figura 9 - Elementos Fundamentais do Sensoriamento Remoto – Fonte: NOVO 1989	16
Figura 10 - Discretização de Imagens Digitais.....	18
Figura 11- Algoritmos de Detecção de Mudanças .....	22
Figura 12- Domínio do Bioma Mata Atlântica - Fonte: MMA .....	24
Figura 13 - Hotspots de Biodiversidade mundiais - Fonte: Myers et al., 2000.....	25
Figura 14 - Regionalização biogeográfica da Mata Atlântica - Fonte: SILVA & CASTELETI, (2003) .....	26
Figura 15 - Tipologias da Mata Atlântica - Fonte: CAMPANILI & SCHÄFFER (2010) .....	27
Figura 16 - Áreas Protegidas da Mata Atlântica - Fonte: CAMPANILI & SCHÄFFER (2010).....	30
Figura 17- Regiões Hidrográficas e Regiões de Governo do estado do Rio de Janeiro - Fonte: SEA/INEA.....	33
Figura 18 - Mapeamento PROBIO para a Bacia do Rio Paraíba do Sul – Fonte: SEA/INEA .....	35
Figura 19 - Quantitativo em Porcentagem do Mapeamento do estado do Rio de Janeiro – Fonte: SEA/UFRJ .....	36
Figura 20 - Mapeamento do estado do Rio de Janeiro - Fonte: SEA/UFRJ.....	37
Figura 21- Porcentagem de Floresta Atlântica por RH – Fonte: SEA/UFRJ .....	37
Figura 22 - Áreas Protegidas no estado do Rio de Janeiro – Fonte: INEA.....	38
Figura 23 - Fluxograma Metodológico de Pré-processamento .....	42
Figura 24 - Série Orbital LANDSAT – Fonte: USGS.....	43
Figura 25 - Articulação de Imagens no estado do Rio de Janeiro .....	44
Figura 26 - Caracterização Espectral dos Sensores LANDSAT – Fonte: USGS.....	44
Figura 27 - Opções de Download da Série LANDSAT – Fonte: USGS.....	45
Figura 28 - Fases da Conversão Radiométrica e Correção Atmosférica.....	48
Figura 29 - "Caixa de Opções 1" – Fonte: PCI Geomatica .....	48
Figura 30 - "Caixa de Opções 2" – Fonte: PCI Geomatica .....	49
Figura 31- "Caixa de Opções 3" - Fonte: PCI Geomatica.....	50
Figura 32 - "Caixa de Opções 4" – Fonte: PCI Geomatica .....	51
Figura 33 - Distribuição dos PIFs.....	53
Figura 34 - Ano de Referência das cenas .....	54

Figura 35 - Esquematização dos métodos de normalização .....	55
Figura 36 - Mosaicagem no PCI Geomatica – Fonte: PCI Geomatica.....	56
Figura 37 - "Caixa de variáveis" para a mosaicagem .....	57
Figura 38 - Pontos de Validação.....	58
Figura 39 - Gráficos de validação da Correção Atmosférica, ano de 2010: CENA 217_75 .....	59
Figura 40 - Gráficos de Comparação de Ajustamento de Curvas: CENA 216_76 .....	61
Figura 41- Gráficos de Comparação de Ajustamento de Curvas: CENA 218_75 .....	62
Figura 42 - Gráfico de Validação Radiométrica do Mosaico - Classe: Agrícola .....	63
Figura 43- Gráfico de Validação Radiométrica do Mosaico - Classe: Floresta .....	64
Figura 44- Gráfico de Validação Radiométrica do Mosaico - Classe: Urbano .....	64
Figura 45 - Mosaico - ANO de 2015 .....	65
Figura 46 - Áreas de Linha de Corte do Mosaico.....	66
Figura 47 - Fluxograma Metodológico de Análise de Descritores Dinâmicos .....	69
Figura 48 - Fórmula do NDVI.....	70
Figura 49 - Fórmula do NDBI .....	71
Figura 50 - Amplitude da Banda do Vermelho .....	72
Figura 51- Amplitude da Banda do Infravermelho Próximo.....	73
Figura 52 - Exemplo da Segmentação em toda área de estudo .....	75
Figura 53 - Exemplo da segmentação em parte da área de estudo .....	75
Figura 54 - Limiares de Mudança.....	77
Figura 55- Pontos Aleatórios para Validação.....	78
Figura 56 - Pontos de Mudança para Validação.....	79
Figura 57- Valores Estatísticos RED.....	80
Figura 58 - Valores Estatísticos NIR .....	80
Figura 59 - Valores Estatísticos SWIR1 .....	80
Figura 60 - Valores Estatísticos SWIR2.....	81
Figura 61- Valores Estatísticos NDBI .....	81
Figura 62 - Valores Estatísticos NDVI.....	81
Figura 63- Classificação de melhor limiar - Descritor NIR .....	82
Figura 64 - Área 1 de análise de classificação - Descritor NIR .....	83
Figura 65- Área 2 de análise de classificação - Descritor NIR .....	83
Figura 66 - Área 3 de análise de classificação - Descritor NIR .....	84
Figura 67- Classificação de melhor limiar - Descritor NDVI .....	85
Figura 68 - Área 1 de análise de classificação - Descritor NDVI .....	86
Figura 69 - Área 2 de análise de classificação - Descritor NDVI .....	86
Figura 70 - Área 3 de análise de classificação - Descritor NDVI .....	87
Figura 71 - Classificação de melhor limiar - Descritor NDBI .....	88
Figura 72- Área 1 de análise de classificação - Descritor NDBI.....	88
Figura 73 - Área 2 de análise de classificação - Descritor NDBI.....	89
Figura 74 - Área 3 de análise de classificação - Descritor NDBI.....	89
Figura 75 - Classificação de melhor limiar - Descritor RED .....	90
Figura 76 - Área 1 de análise de classificação - Descritor RED .....	91
Figura 77- Área 2 de análise de classificação - Descritor RED .....	91
Figura 78 - Área 3 de análise de classificação - Descritor RED .....	92
Figura 79 - Classificação de melhor limiar - Descritor SWIR 1 .....	93
Figura 80 - Área 1 de análise de classificação - Descritor SWIR 1 .....	93

Figura 81- Área 2 de análise de classificação - Descritor SWIR 1 .....	94
Figura 82 - Área 3 de análise de classificação - Descritor SWIR 1 .....	94
Figura 83 - Classificação de melhor limiar - Descritor SWIR 2 .....	95
Figura 84 - Área 1 de análise de classificação - Descritor SWIR 2 .....	96
Figura 85- Área 2 de análise de classificação - Descritor SWIR 2 .....	96
Figura 86 - Área 3 de análise de classificação - Descritor SWIR 2 .....	97
Figura 87- Fluxograma Metodológico da Análise e Construção das Trajetórias Evolutivas .....	101
Figura 88 - Legenda Dinâmica - Hipótese 1.....	102
Figura 89 - Legenda Dinâmica - Hipótese 2.....	103
Figura 90 - Diferença do NDBI entre 1985 a 1990 .....	104
Figura 91 - Hierarquia e Modelagem das Classes .....	105
Figura 92 - Mudanças em Áreas Florestadas de 1985 a 2018 .....	107
Figura 93 - Validação Polígonos de Mudança de 1985 a 1990 .....	108
Figura 94 - Validação Polígonos de Mudança de 1990 a 1995 .....	108
Figura 95 - Validação Polígonos de Mudança de 1995 a 2000 .....	109
Figura 96 - Validação Polígonos de Mudança de 2000 a 2005 .....	109
Figura 97 - Validação Polígonos de Mudança de 2005 a 2010 .....	110
Figura 98 - Validação Polígonos de Mudança de 2010 a 2015 .....	110
Figura 99 - Validação Polígonos de Mudança de 2015 a 2018 .....	111
Figura 100 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 1985 e 1990.....	112
Figura 101 - Polígono de Desmatamento próximo a Resende no pé do Maciço do Itatiaia .....	113
Figura 102 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 1990 e 1995.....	114
Figura 103 - Polígono de Regeneração ao norte da RH II.....	114
Figura 104 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 1995 e 2000.....	115
Figura 105 - Supressão Florestal no oeste da RHVI .....	116
Figura 106 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 2000 a 2005.....	117
Figura 107- Exemplo de Plantio de Silvicultura na RH III .....	117
Figura 108 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 2005 a 2010.....	118
Figura 109 - Supressão Florestal em Volta Redonda - RH III .....	119
Figura 110 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 2010 e 2015.....	120
Figura 111 - Supressão e Regeneração Florestal no leste da RH III .....	120
Figura 112 - Regeneração em Áreas Florestadas entre 2015 a 2018.....	121
Figura 113 - Plantio de Silvicultura na RH VIII .....	122
Figura 114 - Variância de Mudança .....	123
Figura 115 - Variância de Mudança - Sudeste da RH VI.....	123
Figura 116 - Variância da Mudança - Sudoeste da RH III .....	124
Figura 117 - Mapa do Saldo de Mudança.....	124
Figura 118 - Saldo de Mudanças e UCs .....	125
Figura 119 - Investigação de casos de Supressão em UCs de Proteção Integral.....	126

# INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente é perceptível a escalada exponencial de desastres e problemas ambientais que, em sua maioria, são consequência da relação dialética homem-natureza que se prolonga ao longo da história da humanidade. Diversos exemplos podem ser citados como evidência dessa "relação conturbada". Uma das mais perceptíveis é a mudança da cobertura da terra, principalmente quando falamos da conversão de ecossistemas naturais para ambientes altamente antrópicos e poluentes como os agrícolas, industriais e urbanos (MORAN, 2009). Por isso tal processo vem sendo destrinchado, estudado e debatido em diversas frentes e áreas nos últimos anos

Tais transformações acarretam diversos problemas na estrutura e forma das paisagens naturais, o que prejudica não só a biodiversidade e a função ecológica da área em si, mas também o equilíbrio ecológico de todo planeta, culminando na crise ambiental que vivemos (KRÜGER, 2001). Devido ao intenso processo de fragmentação, ocupação e descaracterização de diversas áreas, cresce o pensamento da questão ambiental ligado a essas paisagens remanescentes.

A questão ambiental, que eclode a partir dos anos 70, vem interpretar o conjunto de contradições resultantes das interações internas ao sistema social com o meio envolvente. Deixando claro que essas interações são marcadas por conflitos, esgotamentos e destrutividades que expressam os limites do meio ambiente frente ao crescimento econômico exponencial. Essas contradições se apresentam em diversos exemplos, como a tendência ao esgotamento de recursos naturais e energéticos não-renováveis, a partir da crescente perda e degradação dos ecossistemas terrestres, que por si só comprometem a qualidade da vida humana e ameaçam a continuidade da vida global do planeta (COSTA LIMA, 1999).

Frente ao exposto, urge a necessidade de se promover mudanças efetivas que garantam a continuidade e a qualidade da vida no longo prazo. O que significa que novos imperativos ambientais de como se gerir e garantir recursos vitais e finitos, como os ecossistemas remanescentes, precisam ser criados e aprimorados a partir de políticas públicas e novos métodos de gestão.

Esses imperativos podem ser de diferentes naturezas, incluindo a gestão ambiental dos ecossistemas ameaçados visando a manutenção da diversidade genética, dos processos ecológicos e dos sistemas vitais essenciais, bem como o aproveitamento perene das espécies e dos ecossistemas. Isso inclui uma combinação de ações que vão da preservação absoluta das comunidades bióticas estáveis ao manejo de ecossistemas modificados pelos humanos. Dessa forma, visa-se atenuar mudanças de modo a restaurar uma relação socioambiental que garanta melhor qualidade de vida às pessoas e ao ambiente em geral.

Considerando a gestão e o planejamento ambientais, pode-se destacar a caracterização dos ecossistemas, o monitoramento de remanescentes naturais e sua vizinhança direta, o reconhecimento de vetores e áreas vulneráveis que influenciam na conservação, supressão ou expansão desses ambientes e a análise da integridade e da vulnerabilidade do ecossistema, sua resistência e resiliência frente a pressões do entorno (SANTOS, 2004).

Para isso cada vez mais a cartografia e as geotecnologias se fortalecem como um dos modos de caracterização, monitoramento e reconhecimento de áreas de influência direta e indireta desses ambientes naturais, uma vez que auxiliam as análises quantitativas e qualitativas desses ambientes. Em virtude desta potencialidade, são observados investimentos em diversos métodos de mapeamento e monitoramento das dinâmicas territoriais a partir do Sensoriamento Remoto, principalmente aqueles ligados a ecossistemas fragmentados, em processo de supressão e regeneração, métodos esses que apresentam maior complexidade e abrangência, além do avanço em ganho de tempo e precisão (ROSA 2011; FLORENZANO, 2005).

No cenário de degradação dos biomas brasileiros, destaca-se historicamente a Mata Atlântica, constituída por diversos ecossistemas cujos remanescentes se encontram bastante fragmentados e em sua maioria vulneráveis a pressões antrópicas. Por sua vulnerabilidade e posição geográfica, a Mata Atlântica é objeto de muitas pesquisas científicas que visam a análise das mudanças temporais da paisagem, de modo a poder subsidiar modelos e instrumentos de gestão ambiental.

Por todo o exposto, o desenvolvimento de metodologias que possam ajudar a investigar, mensurar e qualificar as dinâmicas e os vetores de pressão em fragmentos



florestais, como na Mata Atlântica, é cada vez mais necessário para o gerenciamento e planejamento das áreas de remanescentes florestais.

## Objetivos

### I. Geral

Essa dissertação traz consigo o objetivo geral de **analisar as mudanças espaço-temporais ocorridas em áreas de remanescentes florestais da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, num período de 33 anos entre 1985 a 2018** adotando-se técnicas de detecção apoiadas em séries temporais de imagens de sensores orbitais.

### II. Específicos

- Adaptar uma metodologia de pré-processamento para estudos multitemporais em áreas de grandes extensões
- Analisar descritores dinâmicos visando a detecção de mudanças em séries temporais.
- Analisar as trajetórias da floresta no estado do Rio de Janeiro em intervalos de 5 anos, identificando e quantificando áreas de supressão e regeneração.

Os objetivos acima visam responder algumas questões analíticas e metodológicas como: Será possível adaptar métodos de pré-processamentos para uma coleção de dados tão extensa, reduzindo o tempo de processamento? Qual o melhor descritor para o mapeamento de mudanças na paisagem? Existe um padrão espacial na distribuição das mudanças no estado do Rio de Janeiro? E espaço temporal?

## Justificativa e Estrutura

A importância de se entender como a Mata Atlântica comporta-se espaço temporalmente se torna crucial já que é a segunda maior floresta em área do Brasil,

presente em locais estratégicos para dinâmicas urbanas e econômicas, como o Rio de Janeiro e de expressivo valor para a biodiversidade brasileira. E ainda levando em conta as preocupações ambientais recentes ligadas a conservação dos remanescentes florestais desse bioma, entender as trajetórias evolutivas, as tipologias dessas mudanças e regionalizar áreas de desmatamento, conservação e regeneração no estado ao longo do tempo a partir do sensoriamento remoto que otimiza os métodos e projetos dessa natureza, se torna uma informação imprescindível para a gestão e planejamento ambiental.

Esta dissertação se apresenta em 5 capítulos, onde o primeiro traz uma revisão dos conceitos utilizados dentro da Ecologia da Paisagem e do Sensoriamento Remoto. O segundo apresenta o recorte espacial e temática do trabalho, trazendo revisões da área de estudo que é o estado do Rio de Janeiro e da Mata Atlântica, o objeto em estudo. O terceiro, o quarto e quinto são capítulos fechados, com uma base introdutória, métodos, resultados e discussões que unidas descrevem a metodologia utilizada para desenvolvimento da pesquisa. Para finalizar traz-se as considerações finais com o intuito de integrar os resultados e apresentar sugestões de continuidade.

# CAPÍTULO 1

## A ECOLOGIA DA PAISAGEM E O SENSORIAMENTO REMOTO, UMA REVISÃO TEÓRICA E CONCEITUAL

### 1.1. Ecologia da Paisagem

O termo paisagem pode ser definido como a entidade total visual e do espaço natural e humano, integrando a geosfera com a biosfera e os artefatos noosféricos (NAVEH e LIEBERMAN, 2013), ou podemos considera-la como uma unidade ecológica de estudo, dinâmica na sua estrutura, função e padrões espaciais. A configuração espacial destes elementos pode ser atribuída a uma combinação de fatores ambientais e forças humanas (TURNER, 1991).

A ecologia da paisagem oferece um conjunto de princípios capazes de serem aplicados aos diversos mosaicos paisagísticos, desde as áreas urbanas aos agrícolas, aos desertos e às florestas. Para certos autores, como NAVEH e LIEBERMAN *op. cit.*, é a base científica para o planejamento, manejo, conservação, desenvolvimento e otimização da paisagem. Tendo emergido na década de 90, se tornou uma forma de entendimento da paisagem importante para planejadores manusearem informações coletadas sobre uma determinada área, analisá-las, interpretá-las e assim realizarem proposições afim de possibilitar a criação de modelos espaciais que permitem a comunicação entre as diversas disciplinas e os tomadores de decisões (PELLEGRINO, 2000).

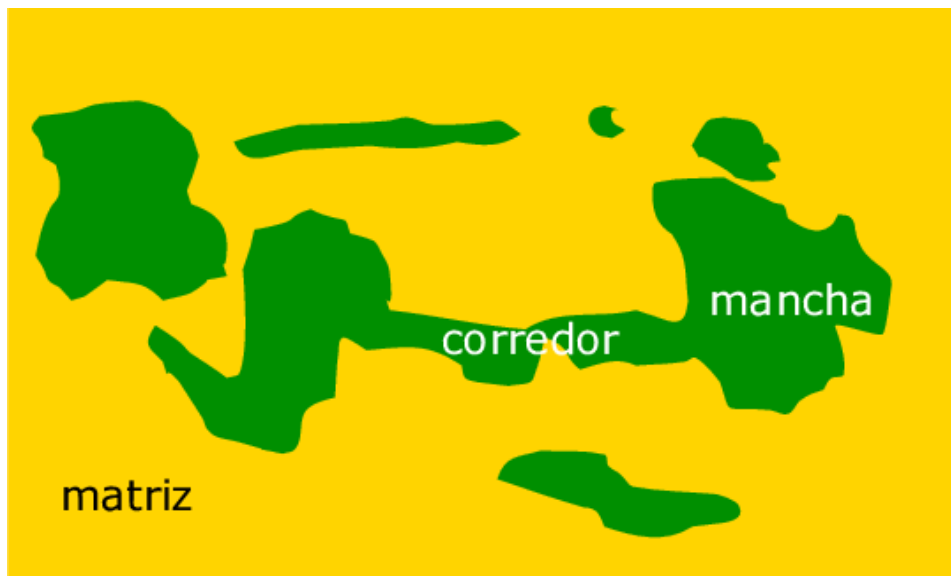
Como um sistema, a paisagem segundo FORMAN & GODRON (1986), concentra-se em três características fundamentais da paisagem: i) Estrutura / Forma; ii) Função e; iii) Mudança e Dinâmica.

Com essas considerações verifica-se que a ecologia da paisagem envolve o estudo dos padrões da paisagem (naturais e/ou antroponaturais), das interações entre as partes num mosaico da paisagem e a forma pela qual estes padrões e interações mudam

no tempo. Considera ainda o desenvolvimento e dinâmica da heterogeneidade espacial e os seus efeitos nos processos ecológicos e põe fim a sua gestão. (RISSER, 1987).

### 1.1.1. Estrutura e Função

A estrutura de uma paisagem se dá pelo entendimento da configuração espacial e topológica dos seus elementos em um mosaico, mais precisamente sua apresentação no espaço. Na ecologia da paisagem entende-se que ela é composta por três tipos diferentes de elementos básicos: as manchas, os corredores e as matrizes. Juntos, esses três elementos se combinam para formar as variedades de mosaicos da paisagem encontrados no planeta, como podemos ver no exemplo da Figura 1 (FORMAN & GODRON 1986).



*Figura 1 - Elementos Básicos da Paisagem. - Fonte: Adaptada de SAN VICENTE, 2004 a partir de FORMAN & GRODON, 1986*

As manchas podem ser definidas como uma “superfície não linear”, que é diferente em aparência da sua vizinhança, já os corredores, por sua vez, são as ligações entre elementos de uma mesma classe numa paisagem e põe fim a matriz é o tipo de estrutura mais extenso e mais conectado, que, portanto, desempenha um papel dominante no funcionamento da paisagem (FORMAN & GODRON op. cit.). A união desses três elementos, cada um com suas características intrínsecas, suas formas e desempenhando funções formam os mosaicos que se apresentam no espaço. Seja a paisagem agrícola,

natural ou urbana tende-se a encontrar esses elementos em completa interação, o que por fim nos dará as características daquela porção da paisagem.

### 1.1.2. Mudança da Paisagem

As paisagens como conhecemos e vemos todos os dias não são estáticas, elas estão em constante processo de evolução, consequência de múltiplos fatores ligados a processos naturais e as atividades humanas. Dessa forma muda-se a estrutura do mosaico paisagístico, a forma e tamanho dos elementos, que por consequência transformam o mosaico de uma paisagem. Essas mudanças constantes podem ocorrer em diferentes escalas de análise, sejam elas espaciais ou temporais (FARINA, 2000).

Os processos naturais que modificam a paisagem estão ligados em geral às condições intrínsecas do ambiente em si, questões do equilíbrio ecológico. No caso das mudanças por processos antrópicos, as condições estão ligadas as necessidades humanas relacionadas ao seu sistema produtivo. Tendo-se consciência que tanto as condições ambientais como as necessidades humanas se alteram ao longo do tempo, as mudanças que ocorrem na paisagem são ligadas a variáveis complexas que por fim mudam a estrutura da paisagem para atender os condicionantes tanto ambientais, tanto humanos. (ANTROP 1998; FARINA op. cit.).

Para identificar uma mudança na paisagem, é preciso definir uma escala de análise e uma temporalidade de observação, seja ela pontual ou frequente. De acordo com CASTRO (2015), a escala é uma “medida escolhida para conferir visibilidade ao fenômeno”, uma questão essencialmente subjetiva a cada pesquisa. A autora ainda coloca que:

*A escala é então a escolha de uma forma de dividir o espaço, definindo uma realidade percebida/concebida; é uma forma de dar-lhe um significado, um ponto de vista que modifica a percepção da natureza deste espaço e, finalmente, um conjunto de representações coerentes e lógicas que define modelos espaciais de totalidades sucessivas e não uma progressão linear de medidas de aproximação graduais.*  
(CASTRO, 2015)

A partir disso a escala de análise nos traz modos de entender e representar as dimensões de ocorrência e de observação dos fenômenos, sejam elas espaciais ou temporais.

Desse modo essas diferenças devem ser observáveis ou mensuráveis em magnitude, e isso depende do grau de detalhamento espacial e temporal. (ANTROP, 1998). De modo geral uma mudança pode ser identificada ao se fazer a comparação de pelo menos dois momentos diferentes de uma mesma área, sabendo-se que quanto maior o número de períodos a ser analisados e maior a faixa de tempo, maior e melhor a especificação das dinâmicas que estão ocorrendo nas paisagens (Figura 2).

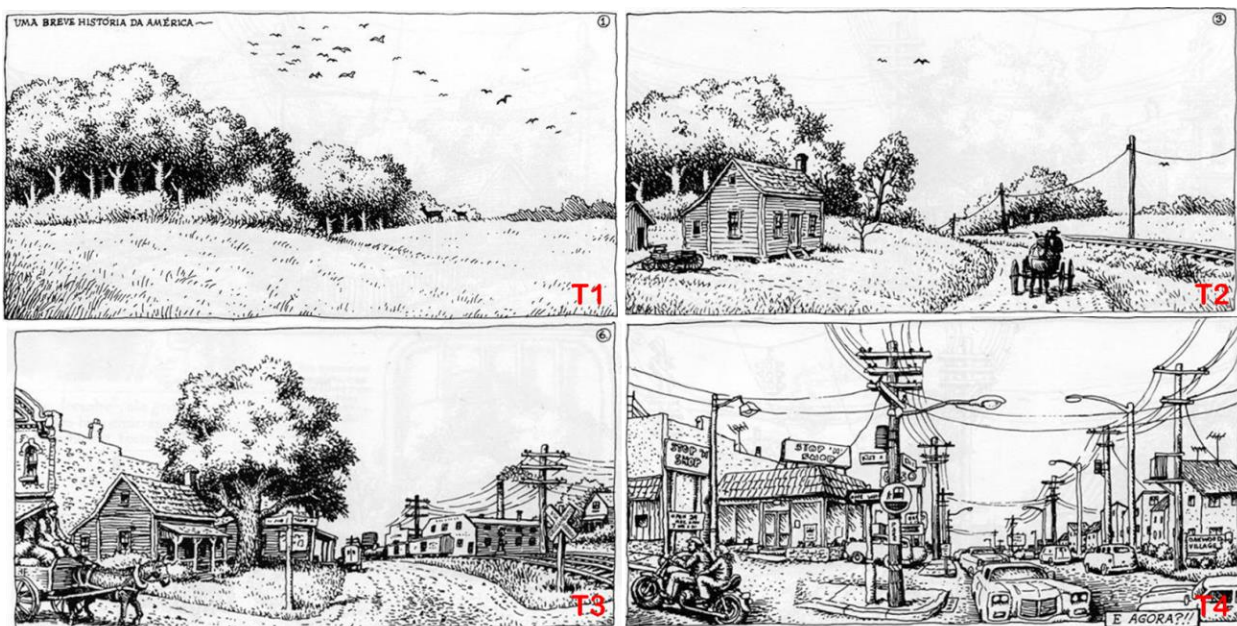


Figura 2 - Mudanças na Paisagem - Fonte: Adaptada de CRUMB, 2004

De acordo com FORMAN & GODRON (1986), um importante pressuposto base é que o entendimento da dinâmica das paisagens vem da assimilação da transformação de uma paisagem original para uma paisagem modificada. Cada tipo de mudança na paisagem que define uma dinâmica precisa ser entendido da origem ao seu estado modificado, permitindo o diagnóstico e caracterização para se entender causas e consequências do tipo de mudança. Logo entender a dinâmica da paisagem dá chances para uma análise geral dos mosaicos dessa paisagem e métodos mais eficientes de monitoramento e gestão ambiental, que podem em certa medida, contribuir para estratégias de conservação.

Manter, remover ou introduzir elementos na paisagem muda a estrutura e funcionamento do mosaico, por esse motivo a previsão e avaliação dos impactos a serem causados pelos rearranjos dos elementos que compõem a paisagem permite a implantação de políticas de uso e ocupação do solo, as quais, reduzindo a fragmentação e degradação de seus elementos, assegurem certa estabilidade a longo prazo.

### 1.1.3. Gestão da Paisagem e Planejamento Ambiental

A partir do exposto acima, surge a necessidade da gestão ambiental, cujo propósito fundamental é a busca pela interação sustentável entre os humanos e os sistemas ambientais de forma a conciliar tanto necessidades básicas humanas, como a integridade do meio ambiente. Em síntese, segundo SANTOS (2004), a gestão ambiental pode ser interpretada como a integração entre o planejamento ambiental, o gerenciamento ambiental e a política ambiental, como pode ser visto na Figura 3 onde o planejamento ambiental é enfatizado pelo mesmo autor como

*Um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análises sistematizadas das informações, por meio de procedimentos e métodos, para chegar a decisões ou a escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis. (SANTOS 2004)*

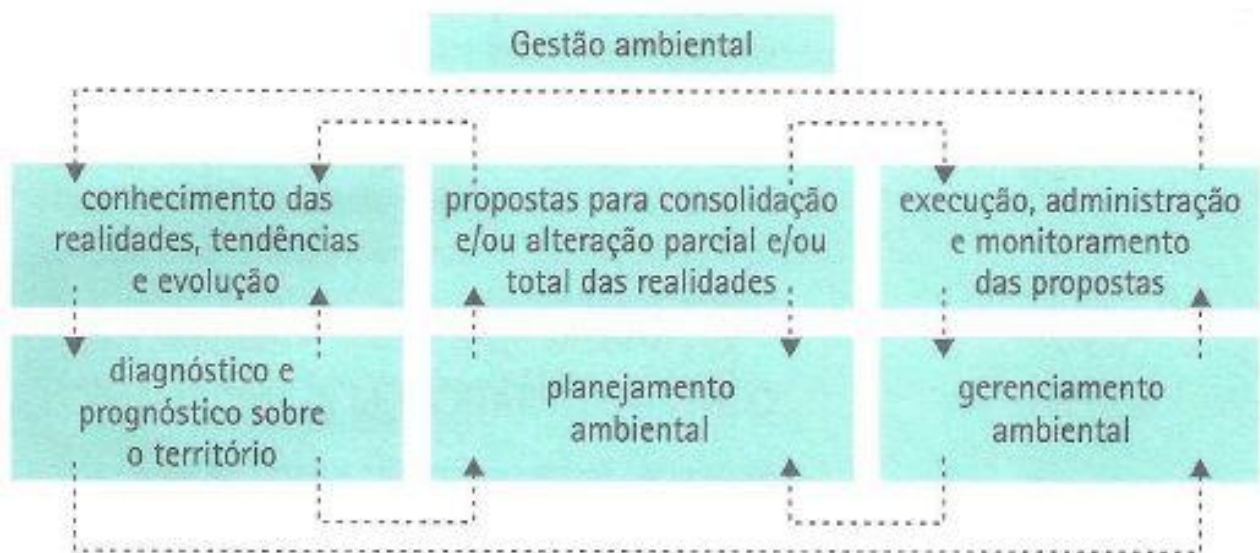


Figura 3 - A Gestão Ambiental e seus atributos - Fonte: SANTOS 2004

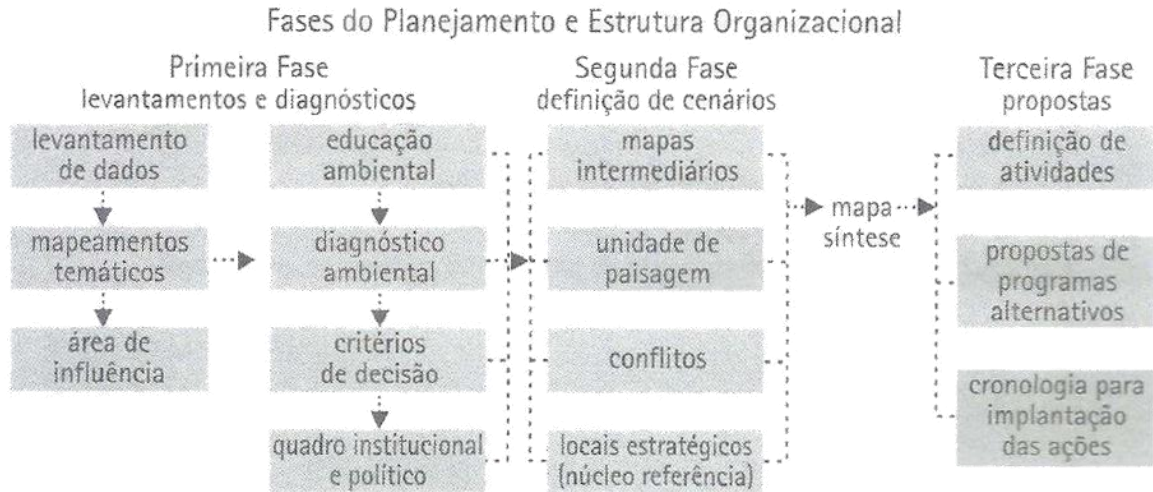
Desse modo o planejamento ambiental pode ser definido como uma ferramenta metodológica que sistematiza e articula a paisagem de modo a avaliar e valorar seus elementos. Um importante aspecto a ser considerado no planejamento é que ele exige uma abordagem interdisciplinar e integrada, considerando o caráter complexo de uma dada situação ambiental, onde não só os aspectos físico-naturais devem ser considerados, mas também, as dinâmicas antrópicas existentes. Logo, sua concepção exige uma visão sistêmica e holística da relação sociedade e natureza na totalidade ambiental, e é neste sentido que o embasamento teórico-metodológico da ecologia da paisagem insere-se adequadamente (SANTOS, 2008; RODRIGUEZ et al., 2004).

Logo, o planejamento ambiental pode ser efetivado através do diagnóstico integrado, que fornece o suporte para instituição de programas e planos de manejo, e zoneamento geoecológico, que por fim poderá propor melhores formas de uso e ocupação do espaço com orientação sustentável a partir da capacidade da paisagem (RODRIGUEZ et al., op. cit.).

O planejamento ambiental que vemos hoje no Brasil e no mundo representa o amadurecimento de um ideário: o desenvolvimento sustentável. A crise ambiental, o movimento ambientalista, os avanços da ciência e tecnologia e conferências mundiais ao longo da história, desencadearam o surgimento de novos conceitos, princípios e metodologias a serem inseridos no planejamento ambiental, visando um desenvolvimento que garantisse, efetivamente, a proteção da natureza e a melhoria da qualidade de vida de todos os seres do planeta.

De acordo com SANTOS (2004) o planejamento ambiental apresenta oito fases, sendo elas: a definição de objetivos, definição da estrutura organizacional, diagnóstico, avaliação de acertos e conflitos, integração e classificação de informações, identificação de alternativas, seleção de alternativas e tomada de decisão, diretrizes e monitoramento. Para cada fase há um conjunto de métodos que pode ser utilizado para se obter o produto desejado dando origem a uma estrutura organizacional que se torna o norteador de todas as tarefas do planejamento ambiental (Figura 4).





*Figura 4 - Fases do Planejamento Ambiental - Fonte: Adaptada de SANTOS 2004*

Dentro de uma estrutura organizacional os esforços de síntese e levantamento de informações se tornam imprescindível para um diagnóstico ambiental fidedigno, entre os dados que podemos produzir e levantar estão os mapeamentos temáticos. Com isso cada vez mais as geotecnologias estão presentes no planejamento ambiental, podendo ser usado na caracterização, monitoramento e reconhecimento da área de estudo.

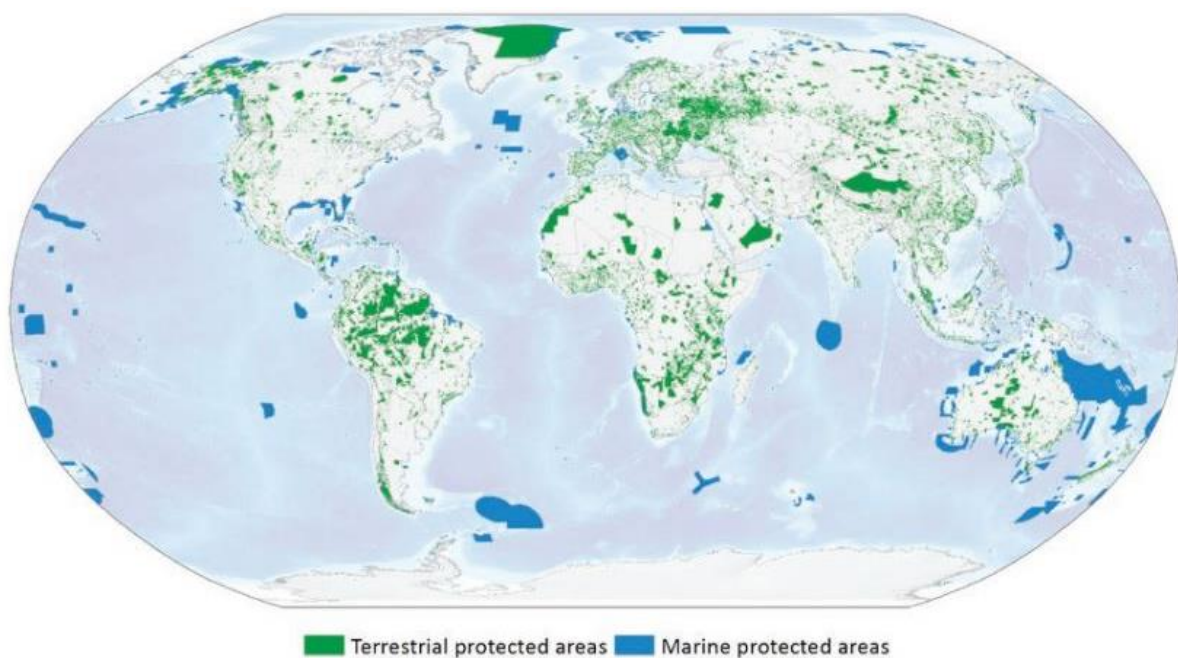
#### 1.1.4. Conservação de Paisagens Naturais

A conservação da paisagem representa um dos maiores desafios da atualidade em função da crise ambiental em que vivemos causada principalmente pelo alto nível de perturbações antrópicas nos ecossistemas naturais. Uma das principais consequências dessas perturbações é a fragmentação e a degradação dos mesmos.

Consolidada com ampla aceitação, principalmente no meio acadêmico, a ideia de que a humanidade tem uma obrigação ética em compartilhar o planeta com as demais formas de vida existentes e perpetuar as paisagens naturais para seus descendentes é a base de formação de ideias e questões. Devido a isso, vemos que atualmente a sustentabilidade assumiu uma posição notória entre as preocupações da sociedade, do governo e das empresas.

Com as descobertas e conceitos novos das ciências naturais, especialmente da ecologia, estimularam novas percepções sobre a natureza e influenciaram as estratégias propostas para protegê-la. Ao invés de se concentrar as atenções em algumas espécies, em algum recurso natural isolado ou em componentes notáveis de uma paisagem ou região, o foco se deslocou, sobretudo, para os processos ecológicos que sustentam os ecossistemas. (FRANCO et al., 2015). Com concepção mais sistêmica do ambiente natural e das interações entre sociedade e natureza, a proteção dessa passa ter um foco na criação de áreas protegidas baseadas no Parque Nacional de Yellowstone, que foi considerado o marco principal das ações modernas de delimitação de áreas protegidas, de modo que essas áreas sejam delimitadas a partir de planejamento baseado em pesquisas ecológicas (MCCORMICK, 1992; FRANCO et al., op. cit.).

Atualmente as áreas terrestres especialmente protegidas em função de suas características naturais totalizam hoje 20,6 milhões de quilômetros quadrados e cobrem 15,4% da superfície terrestre do planeta. Por causa dessa magnitude, muitos autores consideram as áreas protegidas como a principal ferramenta de proteção da diversidade biológica. A sua criação e o seu manejo são partes importantes de qualquer política ambiental nacional (Figura 5) (JUFFE-BIGNOLI et al., 2014).



*Figura 5- Áreas Protegidas no Mundo - Fonte: JUFFE-BIGNOLI et al., 2014*

A América Central e a América do Sul são as duas regiões com a maior percentagem de áreas terrestres protegidas (28,2% e 25%, respectivamente) nestas duas regiões, a maioria dos países têm mais de um quarto e até metade de sua área total sob algum tipo de proteção. (Figura 6 e 7)

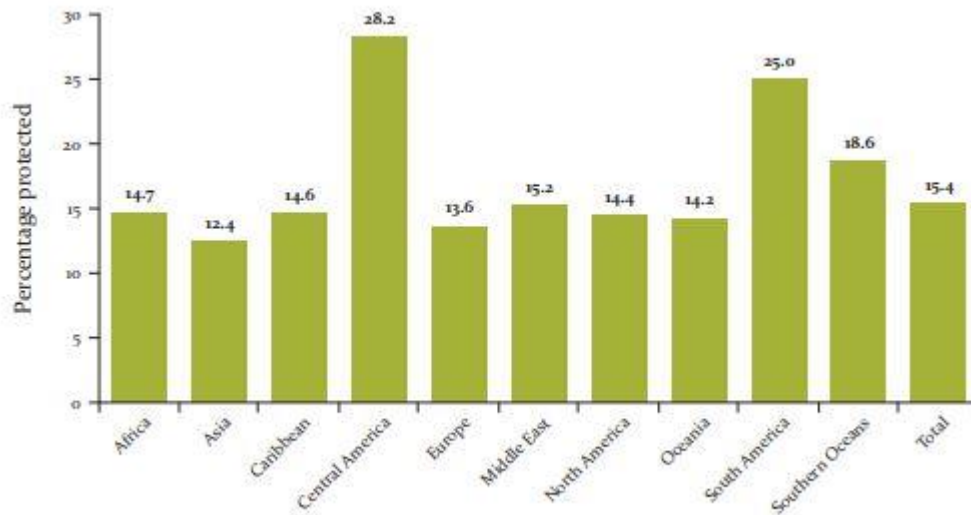


Figura 6 - Quantitativo de Áreas Protegidas por Regiões Continentais - Fonte: JUFFE-BIGNOLI et al., 2014

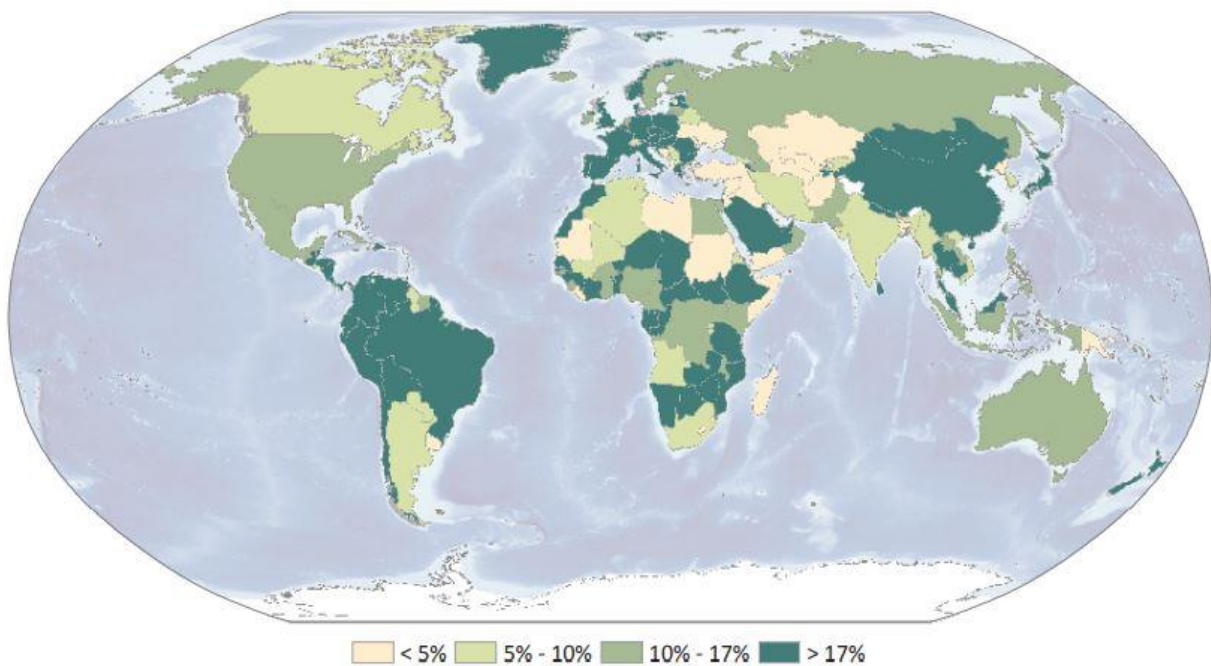


Figura 7- Porcentagem de áreas protegidas por Estados Nacionais - Fonte: JUFFE-BIGNOLI et al., 2014

No Brasil, a política de criação de áreas especialmente protegidas para a conservação da natureza tem como marco principal o ano de 1937, com a criação do Parque Nacional do Itatiaia. No entanto, a implantação efetiva dessa política e a ampliação das áreas protegidas tiveram um lento avanço, atingindo um pico de cobertura na década de 1980, com a inclusão de mais de 20 milhões de hectares de novas áreas. Na década de 1990, caiu a taxa de ampliação, mas, entre os anos 2000 e 2005, houve novo aumento significativo com a criação, outra vez, de mais de 20 milhões de hectares de áreas protegidas (DRUMMOND et al., 2010).

Hoje algumas dessas áreas são institucionalizadas pelo Brasil como Unidades de Conservação (UCs), que constituem um mecanismo de proteção da biodiversidade e dos recursos naturais, através de práticas destinadas à proteção da diversidade biológica. (Figura 8)

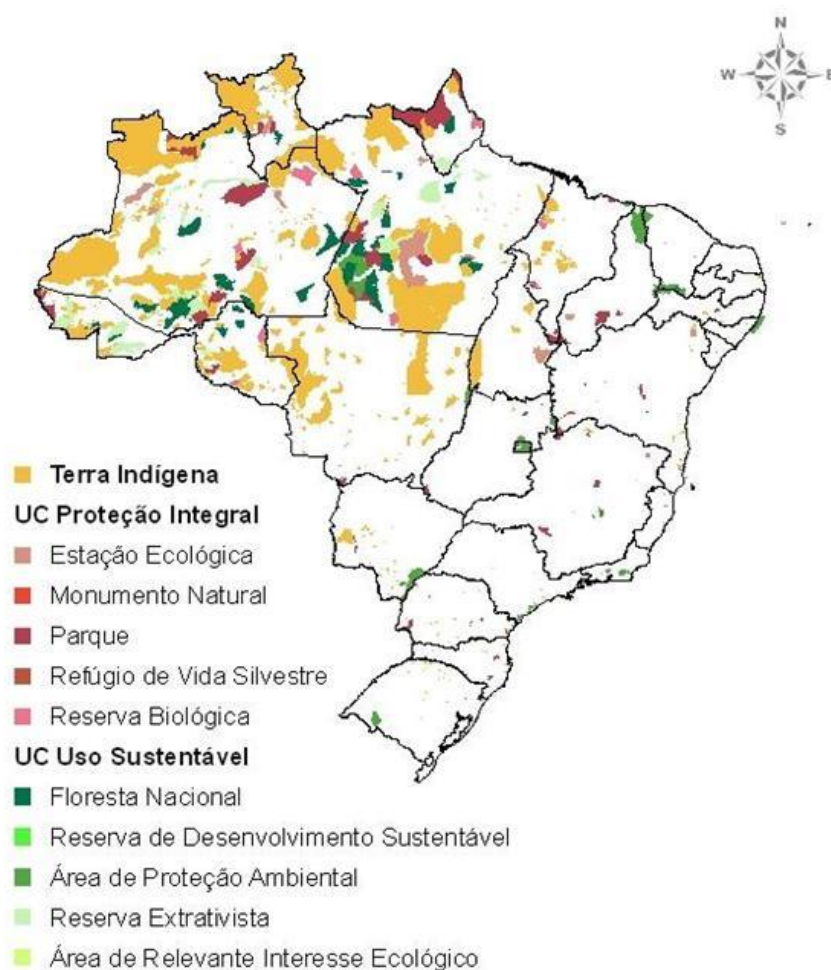


Figura 8 - Áreas Protegidas no Brasil, tipologias e espacializações - Fonte: MMA

As UCs são um tipo especial de área protegida, ou seja, espaços territoriais (incluindo seus recursos ambientais e as águas jurisdicionais), com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e de limites definidos, sob regime especial de administração, às quais se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Há no Brasil UCs com denominações e finalidades diversas, criadas nas esferas de governo federal, estadual, municipal e até privada, com uma pluralidade de categorias de áreas naturais protegidas a título ambiental (BARROS, 2000).

A efetividade dessas políticas vem com o monitoramento dessas áreas e de suas áreas de seu manejo, já que enfrentam contínuas ameaças e que a biodiversidade que se quer conservar é dinâmica. Em geral, esse monitoramento é uma eventual avaliação, são realizados com a finalidade de promover o manejo adaptativo, aperfeiçoar o planejamento ou verificar a eficiência da unidade.

As técnicas de sensoriamento remoto otimizam e ajudam nesse monitoramento definindo as áreas prioritárias para conservação, apontando áreas de degradação e dando base de análise para a efetividade dessas áreas protegidas. Essa técnica vem ganhando impulso considerável, principalmente com a popularização e facilidade de obtenção de dados compatíveis a essa finalidade.

## **1.2. Sensoriamento Remoto**

O termo Sensoriamento Remoto pode ser definido de diversas formas, já que essas definições estão ligadas e relacionadas à abrangência e à forma de estudá-lo. Segundo NOVO (1989), o sensoriamento remoto é definido como a aquisição de informação sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele.

A mesma autora, em 2008, diz que Sensoriamento Remoto consiste no registro da informação de uma determinada região, sem contato direto, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida

por meio visual ou processamento digital de imagem.

Outros autores sugerem uma versão ainda mais fechada à definição do termo: sensoriamento remoto seria o registro da informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem contatos por meio de instrumentos como câmeras e scanners localizados em plataformas tais como aeronave e satélites, e incorporando ainda a análise da informação adquirida tanto visualmente como através do processamento digital de imagens (JENSEN, 2011; FLORENZANO, 2012).

Presente explicitamente ou de forma implícita em todas as definições encontradas na bibliografia os elementos fundamentais do Sensoriamento Remoto, são eles a energia eletromagnética, a fonte dessa energia, que maioria dos estudos é o Sol (podendo ser a Terra para estudos termais e o próprio sensor para sensores ativos); o sensor, que é o instrumento capaz de coletar e registrar a energia refletida ou emitida por um objeto, onde esse objeto pode ser conhecido também como alvo, que representa o elemento do qual se pretende extrair a informação (Figura 9).

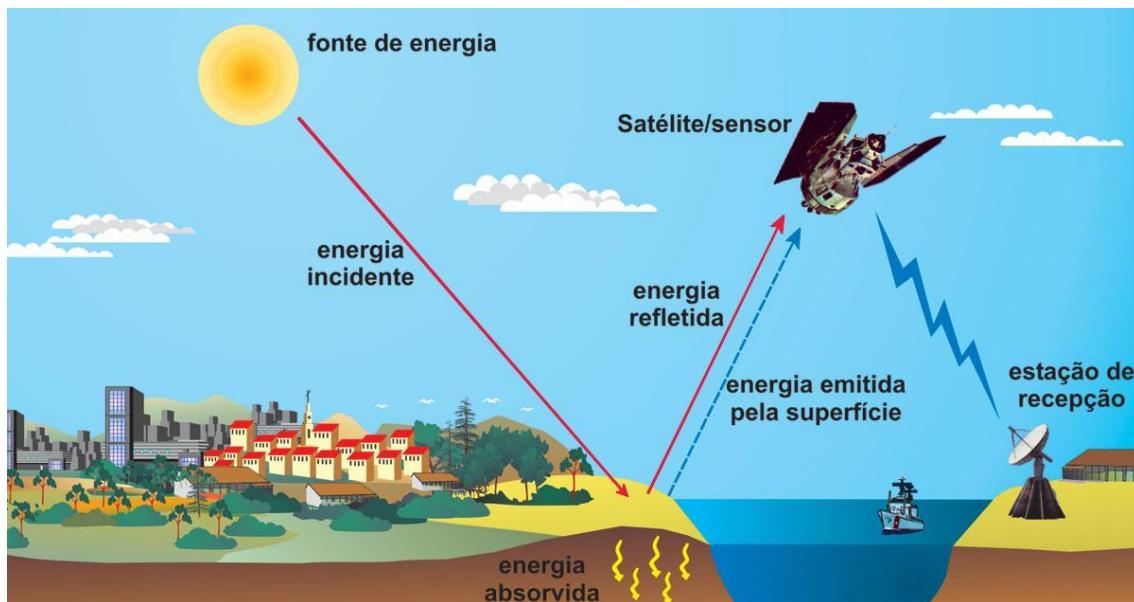


Figura 9 - Elementos Fundamentais do Sensoriamento Remoto – Fonte: NOVO 1989

A essência dessa atividade fundamenta-se na identificação e na discriminação de alvos, onde a radiação recebida pelo sensor é utilizada como base para se inferir as características dos mesmos (LATORRE et al., 2010)

Segundo SOUZA (2012), o sensoriamento remoto está cada vez mais presente na Geografia nos últimos anos, devido ao surgimento de novos sensores com alta resolução espacial e espectral e também pelos novos softwares de processamento de imagens, que são acompanhados por métodos extremamente complexos de análise espacial.

Devido à rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre, o sensoriamento remoto orbital constitui-se numa das formas mais eficazes de monitoramento ambiental em escalas locais e globais. Seu uso aplicado a análises espaço-temporais tem sido importante em diversas temáticas, como a ambiental, urbana, agrícola, oceanográfica, climática, dentre outras. (SANCHES, MAGRO & SILVA, 2007). Tendo como base que a análise de imagens de satélites é um dos meios que se dispõe hoje para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos e da detecção de mudanças geoambientais.

### 1.2.1. Imagem Digital e o Processamento Digital

As imagens de sensoriamento remoto, por sua natureza digital ou discreta, são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou “grid” formado por uma quantidade variável de pixel. Cada pixel desse grid tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo "linha e coluna", representados por "x" e "y", respectivamente. Além do sistema de coordenadas, cada pixel possui também um atributo numérico "z", que indica o nível de cinza discretizado nesse ponto, que obviamente vai variar do preto ao branco; esse nível de cinza é conhecido em inglês por "digital number" (DN) (CROSTA, 1993).

O DN, conhecido também por nível de cinza, de um pixel representa a intensidade da energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida pelo sensor, para a área da superfície da Terra correspondente. Esse valor de um pixel corresponde sempre à média da intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes nesse pixel. (CROSTA, op. cit)

O processo de digitalização de uma imagem não-digital ("imagem contínua"), corresponde a uma discretização (ou amostragem) da cena em observação, através da

superposição de uma malha hipotética, e uma atribuição de valores inteiros (os níveis de cinza) a cada ponto dessa malha (processo chamado de quantização) (Figura 10).

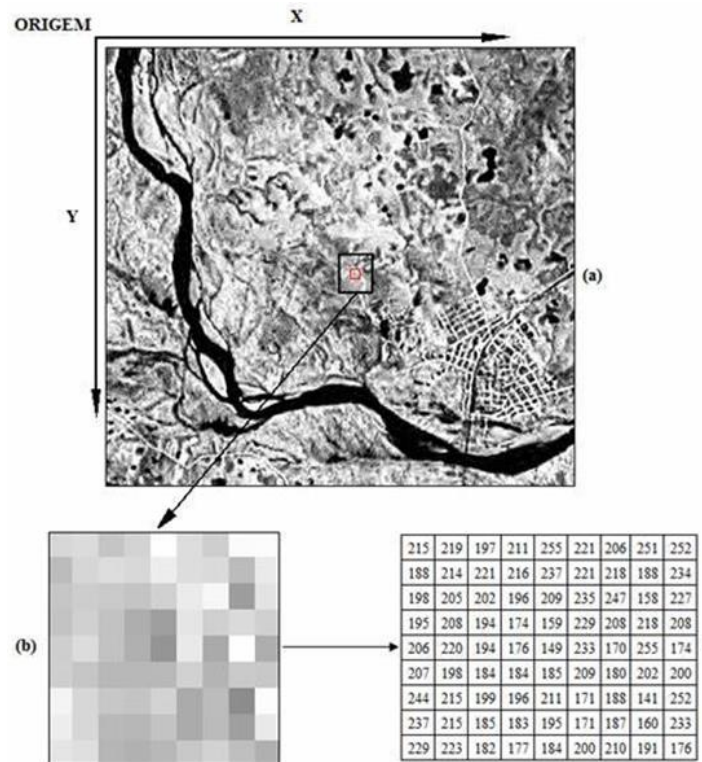


Figura 10 - Discretização de Imagens Digitais

A imagem digital de um sensor remoto é analisada usando uma variedade de técnicas de processamento de imagens. Assim, no contexto analisado, o processamento digital de imagens envolve a manipulação e interpretação de dados de sensoriamento remoto com auxílio computacional, e tem como finalidade facilitar a identificação e extração das informações contidas nesses dados.

Conforme SILVA (2001), a função primordial do processamento digital de imagens é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens originais.



NOVO (1989) classifica as técnicas de processamento digital de imagens em três conjuntos: técnicas de pré-processamento, cuja aplicação permite transformar dados digitais brutos em dados corrigidos radiométrica e geometricamente; técnicas de realce, as quais visam melhorar efetivamente a visualização da cena para subseqüente interpretação visual ou classificação digital; e técnicas de classificação que têm como finalidade o reconhecimento automático dos objetos da cena, a partir da análise quantitativa dos níveis de cinza.

A decisão de quais técnicas aplicar em cada situação deve ser ditada pelos objetivos a serem alcançados e pelas especificidades da situação de cada projeto de pesquisa. O uso de dados multitemporais, por exemplo, implica na utilização de métodos mais sofisticados para a retificação radiométrica e geométrica.

### **1.2.2. Classificação e Mapeamento de Cobertura do Solo**

O processo de classificação de uma imagem ocorre a partir do reconhecimento de padrões espaciais e espectrais e tem por objetivo atribuir aos pixels ou regiões (com características semelhantes) uma classe definida (BATISTA, 2006). Ainda segundo o autor, uma classe é definida por meio de critérios que servem para descrever os indivíduos que nela se encontram, a partir de estudos e objetivos da classificação e do mapeamento. Em síntese a classificação pode ser entendida como um modo de agrupamento de pixels com padrões semelhantes em uma nova instancia que chamamos de classe (FLORENZANO, 2012).

Existe uma série de abordagens com relação aos processos de classificação. Dentre elas destacam-se as clássicas: “pixel a pixel”, a abordagem por regiões e a orientada a objeto, que é mais atual, e mais bem desenvolvida atualmente. Os classificadores “pixel a pixel” utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para encontrar a classe mais provável para o meso. Os baseados em regiões utilizam a informação espectral dos pixels, além da informação espacial, que envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos. Eles buscam reconhecer áreas homogêneas nas imagens, através do processo de segmentação, baseando-se nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. Já a classificação orientada a objeto, a análise é realizada sobre objetos, segmentos, na imagem e não apenas sobre pixels como nas por segmentos, mas

por um objeto que representa uma entidade que pode ser individualizada, tem atributos espaciais, espectrais e estatísticos próprios.

Mais recentemente, com a tentativa de melhorar resultados e simplificar processos vem crescendo o uso da classificação digital híbrida, que consiste na integração entre produtos provenientes de do processamento pixel-a-pixel e da classificação baseada em objetos. A união das duas abordagens, se caracteriza pela vantagem de termos adoção de diferentes atributos da entidade objeto e dos realces de algoritmos de classificação espectrais ou espaciais vindos do pixel, que auxiliam na extração de informações para a construção de modelos de classificação.

Por fim a classificação é uma abstração que busca representar a realidade. Existem variados tipos de sistemas de classificação como citado acima, que se configuram em propostas que buscam criar modelos de representação que ofereçam terminologia compatibilizada para as classes desse domínio, de forma a atender a diferentes pretextos e áreas de estudo.

Entre os diversos produtos temáticos advindos a classificação estão os mapeamentos de cobertura do solo, que são cada vez mais encontrados em pesquisas e trabalhos de diversas áreas e que são utilizados por instituições públicas e privadas para gerenciamento e planejamento.

### **1.2.2.1. Mapeamentos Multitemporais**

Em outra vertente, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em mapeamentos e estudos temporais. Atualmente, existem diversos sensores remotos com resoluções espaciais, temporais e espectrais diferentes que vêm sendo utilizados para o monitoramento de áreas. Nessas aplicações o principal interesse é compreender as mudanças ocorridas na paisagem ao longo do tempo.

O estudo da componente temporal associado às informações espaciais e espectrais pode revelar padrões e complexidades de processos sobre a dinâmica de uso do solo e monitoramento ambiental (BRUZZONE et al., 2003). Pelas características dinâmicas dos parâmetros espaciais, espectrais e temporais da paisagem, os dados multitemporais são essenciais para a geração de informações que possibilitem a

compreensão dessa dinâmica.

### 1.2.2.1.1. Detecção de Mudanças

No âmbito dos estudos multitemporais, tem-se a detecção de mudança, que é o processo de identificação das diferenças no estado de um objeto, ou fenômeno, a partir da observação de momentos distintos (SINGH, 1989; MACLEOD e CONGALTON, 1998). Este tipo de análise é aplicado, principalmente, para a compreensão das relações e interações entre as atividades de origem antrópica e os fenômenos naturais que atuam sobre determinado ambiente.

Das diversas formas de detecção de mudanças, uma separação entre metodologias pode ser estabelecida pelo número de imagens utilizadas na comparação: se forem apenas duas imagens, a detecção de mudanças é identificada como bitemporal, se forem utilizadas três ou mais imagens, denomina-se análise da trajetória temporal ou detecção multitemporal. (COPPIN, 2004).

A dimensão temporal influencia profundamente os resultados da detecção de duas formas: tanto pelo tempo entre as capturas das imagens quanto pela época do ano do imageamento. O distanciamento no tempo deve ser entendido como uma função dos objetivos do trabalho, da mesma forma que a escala de trabalho, e por isto deve ser adequado à dinâmica das mudanças. Fenômenos naturais de sucessão podem demandar um distanciamento de décadas entre uma imagem e outra, já os impactos do fogo, poucos meses. Quanto às épocas de aquisição, a importância delas está diretamente relacionada à minoração das diferenças na iluminação da cena que podem fazer que o pré-processamento das imagens se tornem mais simples. (COPPIN et al., 2004; ROGAN et al., 2002; LU et al., 2004).

Não há um espaçamento temporal padrão, pois ele se subordina ao tipo de mudança e aos objetivos pesquisados, na maioria dos casos, dependem de alguns anos para uma detecção segura e em casos mais extremos, como a regeneração de florestas, décadas serão necessárias, logo o recorte temporal a se usar depende da dinâmica do fenômeno a ser estudado (DOBSON et al., 1995; COPPIN et al., 2004; LU et al., 2004).

A rigor, além do tempo entre imagens, todos os fatores que podem influenciar

nos resultados devem ser controlados ao máximo. Independente da metodologia adotada: a precisão da geometria das imagens, a qualidade da calibração ou da normalização dos dados, a disponibilidade de dados de campo, a complexidade do uso e cobertura do solo na área de estudo, o algoritmo de detecção usado, o esquema de classificação criado, a experiência do analista e seu conhecimento acerca da área em estudo e por fim quais são as restrições de tempo e de recursos, todos esses fatores controlam uma pesquisa de detecção de mudanças a partir do Sensoriamento Remoto (LU et al.,2004).

O ideal desses trabalhos é a utilização de imagens de um mesmo sensor, que estejam bem corrigidas geometricamente e espaços de tempo proporcionais. Tais critérios reduzem as influências causadas pelas fontes internas e externas de erro, como a comparação de épocas diferentes do ano. Essas medidas, nem sempre são possíveis, mas deve ser sempre perseguida porque reduz as dificuldades que advém da comparação de imagens com características de resolução espacial, bandas, geometria, época e ou hora de captura muito diferentes. (LILLESAND, KIEFER e CHIPMAN, 2004).

A escolha do algoritmo de detecção também não é simples, cada algoritmo possui uma forma própria de lidar com a extração e com a classificação das mudanças e que ao se empregar diferentes algoritmos sobre os mesmos dados, resultados diferentes serão obtidos assim como o mesmo ocorrerá se um algoritmo for aplicado sobre o mesmo conjunto de dados, mas com variáveis espaciais espectrais, temporais e temáticas configuradas de forma diferente, donde se pode concluir que não há um algoritmo aplicável para todas as situações (Figura 11) (COPPIN et al., 2004).

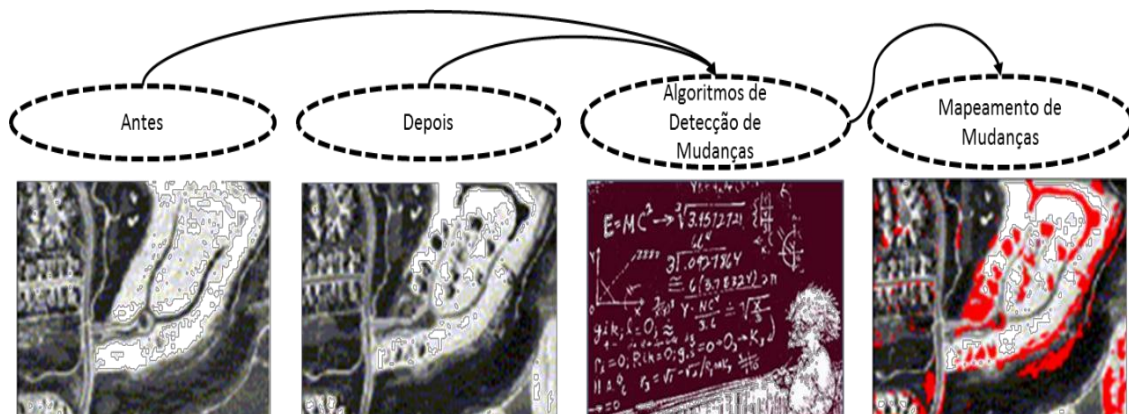


Figura 11- Algoritmos de Detecção de Mudanças

Outro tema muito abordado na bibliografia é a necessidade de uma etapa de pré-processamento das imagens no processo de detecção de mudanças, na qual, dentre os procedimentos mais recomendados, constam a correção geométrica, a normalização radiométrica e correção atmosférica (ROGAN et al., 2002, COPPIN et al., 2004).

Para consolidar um esforço das possibilidades metodológicas na detecção de mudanças no uso e cobertura do solo é possível propor que os primeiros passos sejam de organização dos objetivos buscados, a iniciar pela definição da área de estudo e aferição da taxa das mudanças que ocorrem ali, a seguir pelo exame dos tipos de mudanças, distribuição espacial e relações esperadas, investigando as sucessões na cobertura e nos usos do solo que podem ocorrer dentro da escala de tempo definida. Em seguida, proceder à aquisição das imagens, preferindo sempre aquelas perto de momentos sazonais semelhantes, espaçadas o suficiente e com datas nas épocas mais propícias para a detecção das mudanças julgadas importantes. Executar o pré-processamento delas (indispensáveis as correções geométrica, atmosférica e radiométrica, além do registro das imagens) e, após uma vez definido o algoritmo de detecção em função dos fins e meios do estudo, aplicá-lo até a obtenção de resultados válidos de detecção que permitam a localização e quantificação das mudanças.

Por fim, se os objetivos exigirem, classificar as mudanças detectadas, aplicando o esquema criado para o trabalho sem dispensar a aferição da acurácia, que deve estar dentro do aceitável conforme os controles de qualidade adotados (DOBSON et al., 1995; LU et al., 2004).

# CAPÍTULO 2

## A MATA ATLÂNTICA E O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

### 2.1. Mata Atlântica

O Bioma Mata Atlântica corresponde a segunda maior floresta pluvial tropical do continente americano, extremamente heterogênea. Conforme o "Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006", ocupa aproximadamente 15% do território nacional, cobrindo uma área de 1.306.000 km<sup>2</sup> de extensão.

Distribuída ao longo de mais de 27 graus, entre 4°S a 32° S de latitude no Brasil, incluindo partes da Argentina e do Paraguai, se apresenta em grandes variações no relevo, desde o nível do mar até 2.900m, nos mais variados regimes climáticos, cobrindo uma grande parte de mesóclises e microclimas dentro das zonas tropicais e subtropicais do país e de índices pluviométricos, indo de locais que variam de 4000 mm a 1000 mm ao ano (Figura 12) (PINTO et al., 2006; OLIVEIRA-FILHO & FONTES, 2000; SILVA & CASTELETTI, 2003; MMA; MANTOVANI, 2003).

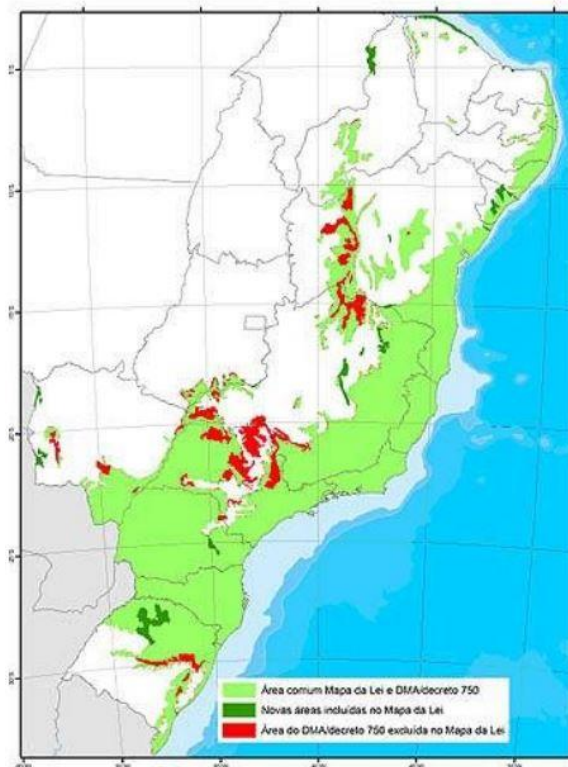


Figura 12- Domínio do Bioma Mata Atlântica - Fonte: MMA

Distribuída por 17 Estados: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. Atualmente este ecossistema está disposto de forma fragmentada ao longo da costa brasileira, no interior das regiões Sul e Sudeste, além de trechos nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e no interior dos estados nordestinos (MMA, 2000).

Essa região é de grande importância para o país, pois abriga mais de 60% da população brasileira, aproximadamente 123 milhões de pessoas, e é responsável por quase 70% do PIB nacional, já que 3.410 municípios estão em áreas de Mata Atlântica e destes, 2.928 têm suas sedes municipais na área (MMA, 2000).

A Mata Atlântica está isolada dos dois outros grandes blocos de florestais sul-americanos: a Floresta Amazônica e as Florestas Andinas. A Caatinga e o Cerrado, dois biomas dominados por vegetações abertas, separam-na da região amazônica, e o Chaco, uma área de vegetação seca das depressões centrais da América do Sul, separa-a das Florestas Andinas. Esse isolamento resultou na evolução de uma biota única, com numerosas espécies endêmicas (RIZZINI, 1997; MYERS et al., 2000).

Ao lado de outras 33 regiões localizadas em diferentes partes do planeta, foi apontada como um dos *hotspots* mundiais, ou seja, uma das prioridades para a conservação de biodiversidade em todo o mundo (MYERS et al., 2000) (Figura 13).

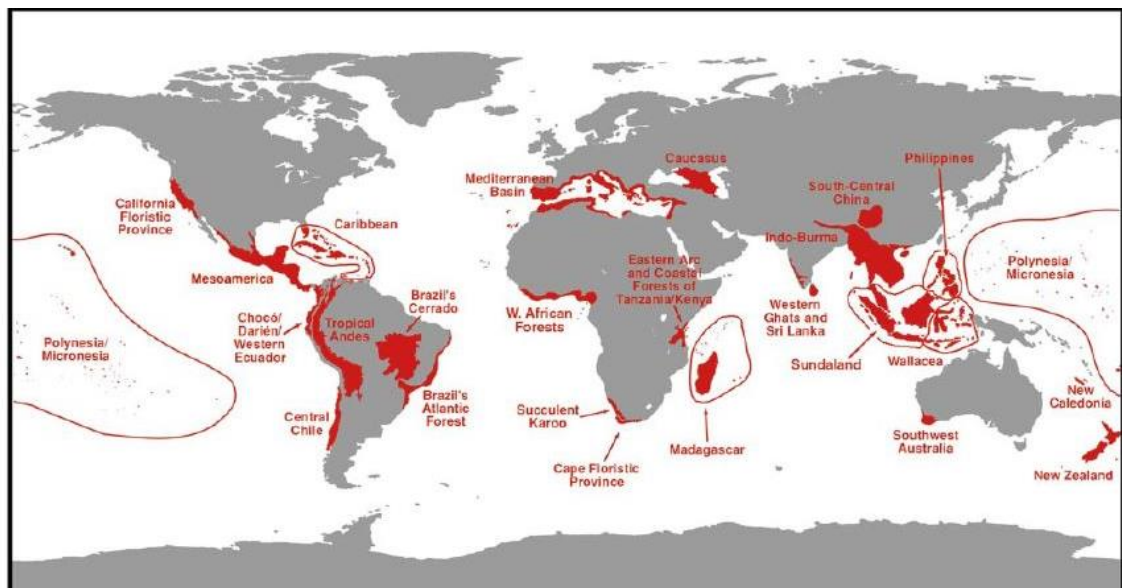


Figura 13 - Hotspots de Biodiversidade mundiais - Fonte: Myers et al., 2000

Mesmo com extensas áreas ainda pouco conhecidas do ponto de vista biológico, acredita-se que a região abrigue de 1 a 8% da biodiversidade mundial. A considerável diversidade ambiental do bioma pode ser a causa da diversidade de espécies e do alto grau de endemismo. Dada suas características geossistêmicas causadas pela abrangência latitudinal, longitudinal e altitudinais (BUZZETTI, 2000; RIZZINI, 1997). Juntos, esses três fatores criam uma diversidade única de paisagens, que explica, pelo menos em parte, a extraordinária diversidade de espécies da região.

A biota endêmica da Mata Atlântica não se distribui homogênea. A composição de espécies varia amplamente e deve-se levar em consideração as distintas sub-regiões biogeográficas. As sub-regiões biogeográficas apontadas por SILVA & CASTELETTI, (2003) são as florestas úmidas do Nordeste, são eles os Brejos Nordestinos, a área de Pernambuco, de Diamantina e da Bahia; as cadeias de montanhas costeiras denominada Serra do Mar e as áreas de transição na Mata Atlântica do São Francisco, das Florestas de Interior e a Florestas de Araucária (Figura 14).

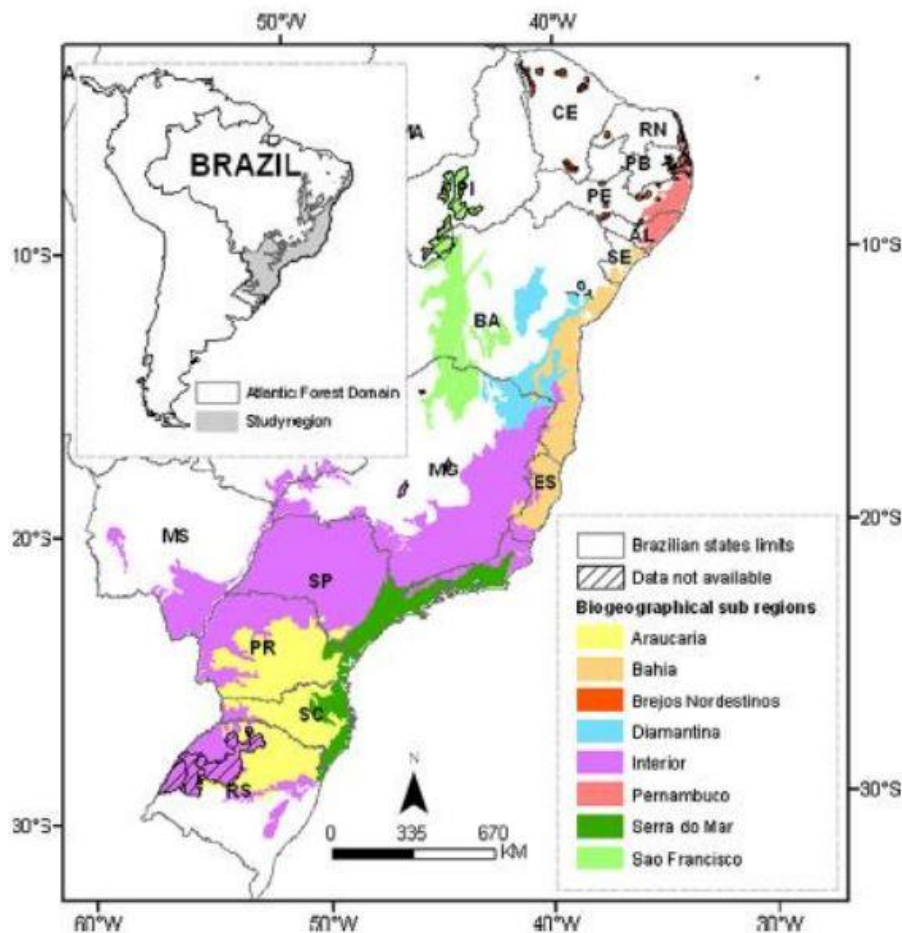


Figura 14 - Regionalização biogeográfica da Mata Atlântica - Fonte: SILVA & CASTELETTI, (2003)



A Lei nº 11.428 (Lei da Mata Atlântica) de 2006, define que a Mata Atlântica contempla diferentes formações florestais e ecossistemas associados os quais foram detalhados pelo Decreto nº 6.660, de 2008, e delimitados no “Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428” de 2006, elaborado e publicado pelo IBGE.

Os ecossistemas associados a Mata Atlântica e suas devidas ocorrências são descritas em CAMPANILI & SCHÄFFER (2010), onde os autores fazem um diagnóstico da adequação ambiental do bioma. Os autores compartimentam o bioma a partir de suas fitofisionomias que são: A Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Estepe, Savana, Savana-Estépica, Formações Pioneiras e Refugio Vegetacional (Figura 15).

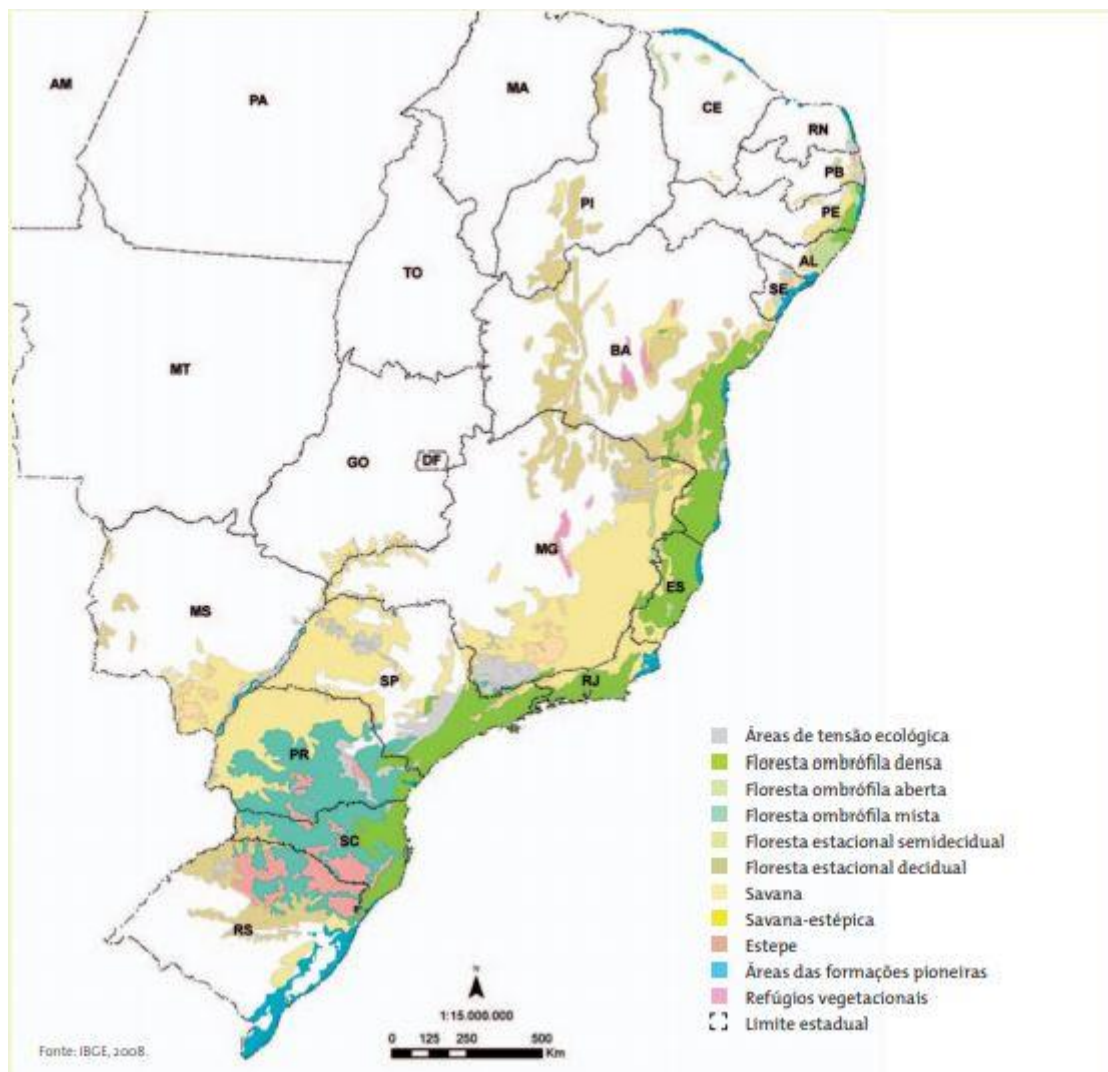


Figura 15 - Tipologias da Mata Atlântica - Fonte: CAMPANILI & SCHÄFFER (2010)

### 2.1.1. Políticas de Proteção da Mata Atlântica

A Mata Atlântica, uma das maiores florestas tropicais do planeta, foi o primeiro bioma a ser explorado durante a colonização dos portugueses no Brasil. Sua devastação é um reflexo da ocupação territorial e da exploração desordenada dos recursos naturais durante esses últimos cinco séculos. Os sucessivos impactos resultantes de diferentes ciclos de exploração, da concentração da população e dos maiores núcleos urbanos e industriais levaram ao comprometimento da integridade ecológica dos ecossistemas singulares do Bioma e a uma drástica redução na cobertura vegetal natural, que resultou em paisagens, hoje, fortemente dominadas pelo homem e culminando na gravíssima crise ambiental. (DEAN, 1996; COIMBRA-FILHO & CÂMARA, 1996).

A Mata Atlântica depende hoje de imperativos de gestão e planejamento ambiental dos seus ecossistemas para se garantir a proteção da sua biodiversidade em médio e longo prazo. No entanto, a conservação e a recuperação da mesma constituem um grande desafio, visto que as estratégias, ações e intervenções necessárias esbarram em dificuldades impostas ao ambiente sob forte pressão antrópica, marcado pela complexidade nas relações sociais e econômicas.

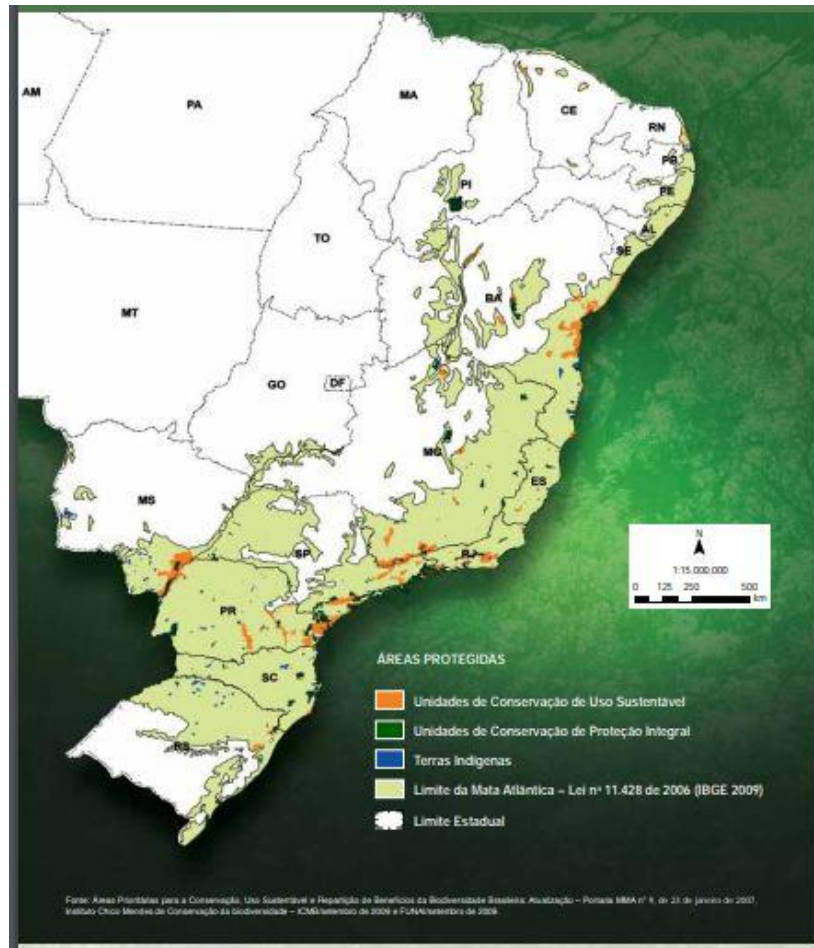
A destruição e a utilização irracional da Mata Atlântica tiveram início em 1500 com a chegada dos europeus. Nestes pouco mais de 500 anos, a relação dos colonizadores e seus sucessores com a floresta e seus recursos foi bem conturbada, sendo caracterizada em grande parte do tempo como uma relação predatória. Todos os principais ciclos econômicos desde a exploração do pau-brasil, a mineração do ouro e diamantes, a criação do gado, as plantações de cana-de-açúcar e café, a industrialização e mais recentemente, o plantio de soja e fumo, plantios florestais de espécies exóticas e outras commodities foram, passo-a-passo, desalojando a Mata Atlântica. (DEAN, 1996)

A primeira norma legal específica para proteção da Mata Atlântica foi o Decreto no 99.547/1990, que proibiu toda e qualquer supressão de vegetação nativa na Mata Atlântica, substituído em 1993 pelo Decreto nº 750, que definiu legalmente o domínio, incluindo diferentes formações florestais e ecossistemas associados, e determinou a proteção dos remanescentes da vegetação primária nativa, bem como da vegetação secundária em regeneração. Com as mesmas diretrizes deste decreto, foi formulado um projeto de Lei da Mata Atlântica, apresentado em 1992 e só foi aprovado 14 anos depois

como Lei Federal no 11.428, sancionada em 22 de dezembro de 2006. A lei define como Mata Atlântica um conjunto de formações florestais e ecossistemas associados. (CAMPANILI & SCHÄFFER, 2010)

Em 21 de novembro de 2008, foi assinado o Decreto no 6.660, que regulamentou a lei e detalhou os tipos de vegetação protegidos, como objetivo de preservar o que resta de remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica no País e criar meios para que a floresta e os ecossistemas associados voltem a crescer onde hoje estão praticamente extintos, regulando assim a conservação, proteção, regeneração e utilização não apenas dos remanescentes de vegetação nativa no estágio primário, mas também nos estágios secundário inicial, médio e avançado de regeneração, com objetivo de médio prazo de se voltar a ter entre 35% e 40% de cobertura vegetal nativa na Mata Atlântica (CAMPANILI & SCHÄFFER, 2010)

A Lei da Mata Atlântica, unida ao código florestal e ao Sistema de Unidades de Conservação (SNUC) deu origem a centenas de áreas de proteção de remanescentes, onde atualmente existem 119 Unidades de Conservação federais, total ou parcialmente inseridas na área de Mata Atlântica, perfazendo 1.780.420,98 hectares (ha) de UCs de Proteção Integral e 2.053.193,43 ha de UCs de Uso Sustentável. Existem ainda 225 UCs estaduais, com um total de 1.502.566,44 ha de Proteção Integral e 2.414.156,22 ha de Uso Sustentável, e 619 Reservas Particulares do Patrimônio Nacional (RPPNs), com um total de 130.139,06 ha. Juntas as UCs da Mata Atlântica representam 7.880.476,13 ha, 78.804,76 km<sup>2</sup>, de áreas protegidas.



*Figura 16 - Áreas Protegidas da Mata Atlântica - Fonte: CAMPANILI & SCHÄFFER (2010)*

Conforme exposto já no Capítulo 1 e novamente aqui, diferentes abordagens de planejamento para a conservação da biodiversidade contribuem para a melhoria da representatividade do sistema de unidades de conservação e buscam otimizar resultados e melhorar o direcionamento dos recursos disponíveis para a criação e o manejo de áreas protegidas. Análises de lacunas, como a realizada na Mata Atlântica podem avaliar o potencial impacto na conservação, a partir de diferentes opções de incremento do sistema de áreas protegidas.

Por esse motivo entender e monitorar regenerações em áreas protegidas ou desmatamentos em áreas próximas, ajuda na caracterização espacial da gestão ambiental de uma área e possibilita a criação de áreas de maior vulnerabilidade, áreas prioritárias para conservação, além de retorno para e acompanhamento das áreas protegidas.

## 2.1.2. A Cartografia da Mata Atlântica

Mapeamentos nacionais da Mata Atlântica tem origem bem recente, os mapeamentos começaram com o Atlas dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados do Bioma Mata Atlântica, desenvolvido pela Fundação SOS Mata Atlântica e o INPE para a compreensão da situação em que se encontra a Mata Atlântica. O primeiro mapeamento, publicado em 1990, foi um trabalho inédito sobre a área original e a distribuição espacial dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e tornou-se referência para pesquisa científica e para o movimento ambientalista. Foi desenvolvido em escala 1:1.000.000.

Desde então, as informações sobre as alterações na vegetação nativa são sempre atualizadas, fornecendo meios para monitorar, controlar e definir novas Unidades de Conservação. As análises compreenderam períodos de cinco anos até 2005, e a partir daí o Atlas foi publicado num período menor de tempo, entre 2005 e 2008, 2008 e 2010, e 2010 a 2012. Atualmente, dados atualizados são publicados a cada ano. Com a Lei da Mata Atlântica, e o atendimento a sua regulamentação o IBGE elaborou o Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006 na escala 1:5.000.000, tendo como base técnica o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004) e o Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação (IBGE, 2004). O Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006 projeta a cobertura vegetal da Mata Atlântica conforme sua configuração original, apresentando a distribuição das suas distintas tipologias, passando a ser um instrumento balizador da aplicação da Lei da Mata Atlântica.

Já 2004, o Ministério do Meio Ambiente lançou editais para o mapeamento da cobertura vegetal do Brasil, adotando-se o recorte estabelecido no Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2004), por meio do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO. O mapeamento da cobertura vegetal nativa da Mata Atlântica foi entregue em 2007, com ano-base 2002. A unidade mínima de mapeamento foi de 40 a 100 hectares, e a escala final 1:250.000. Foram consideradas todas as formações florestais e ecossistemas associados que compõem a Mata Atlântica. O resultado encontrado foi de 285.640,79 km<sup>2</sup> de remanescentes de vegetação nativa na Mata Atlântica, representando 27% da cobertura original do bioma, conforme Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2004). Desses remanescentes, 230.900,49 km<sup>2</sup> (22%) são tipologias florestais.

A partir de 2008, o Ministério do Meio Ambiente buscou atualizar o mapa de cobertura vegetal nativa da Mata Atlântica, adotando-se o recorte do Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006 (IBGE, 2008). A atualização do mapeamento da cobertura vegetal nativa da Mata Atlântica foi entregue em 2015, com ano-base 2009. Buscou-se por um maior detalhamento no trabalho comparado a mapeamentos anteriores, então estabeleceu-se uma unidade mínima de 3 hectares, na escala 1:50.000. O resultado encontrado foi de 389.465,89 km<sup>2</sup> de remanescentes de vegetação nativa, representando 29% da cobertura original da Mata Atlântica, conforme Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006 (IBGE, 2008). Desses remanescentes, 341.473,59 km<sup>2</sup> (26%) são tipologias florestais.

Todos os mapeamentos citados acima têm como referência área total da Mata Atlântica e sua caracterização, sem colocar o aspecto dinâmico, se incluídos recortes espaciais e temporais diferentes teríamos outros muitos mapeamentos.

A geração de produtos temáticos ainda apresenta, apesar de décadas de pesquisa e desenvolvimento, um grande desafio no que concerne ao grau de automatização do processo. Aprimorar legendas, escalas e métodos para a elaboração de mapas temáticos dos mais variados fins tem sido alvo de muitos esforços. Se considerarmos que a geração de mapas de cobertura e uso da terra depende da adoção de produtos de sensoriamento remoto, aéreos ou orbitais, de alta, média ou baixa resolução, o aprimoramento de técnicas classificatórias e a otimização de levantamentos de campo é considerado essencial. (CRUZ et al., 2018)

## **2.2. O Rio de Janeiro**

Essa dissertação se dará em toda área do estado do Rio de Janeiro, unidade federativa situada na região sudeste do país, tendo como limites os estados de Minas Gerais (norte e noroeste), Espírito Santo (nordeste) e São Paulo (sudoeste), além do Oceano Atlântico (leste e sul) (Figura 17). Ele ocupa uma área de 43 780,172 km<sup>2</sup>, é o terceiro menor estado brasileiro em área (ficando à frente apenas de Alagoas e Sergipe) com sua capital sendo homônima, Rio de Janeiro.

O Estado do Rio de Janeiro está dividido em oito Regiões de Governo. São elas: Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas, Serrana, Centro-Sul Fluminense, Médio Paraíba e Costa Verde e essas em 92 municípios. (Figura 17)

O Diagnóstico teve como objetivo a identificação de condicionantes naturais e antrópicas que determinam ou influenciam na dinâmica da Mata Atlântica e suas características, serão destacados os aspectos mais relevantes. Para os estudos visando a gestão e planejamento ambiental, uma das unidades espaciais que podem ser adotadas são as bacias de drenagem. Isso porque tanto aspectos físicos como humanos são concentrados nessas subdivisões, o que torna a visão mais holística. Assim, aqui o diagnóstico será a partir do limite de Regiões Hidrográficas do estado, para englobar tanto os aspectos físicos como os antrópicos, as regiões podem ser vistas na Figura 17.

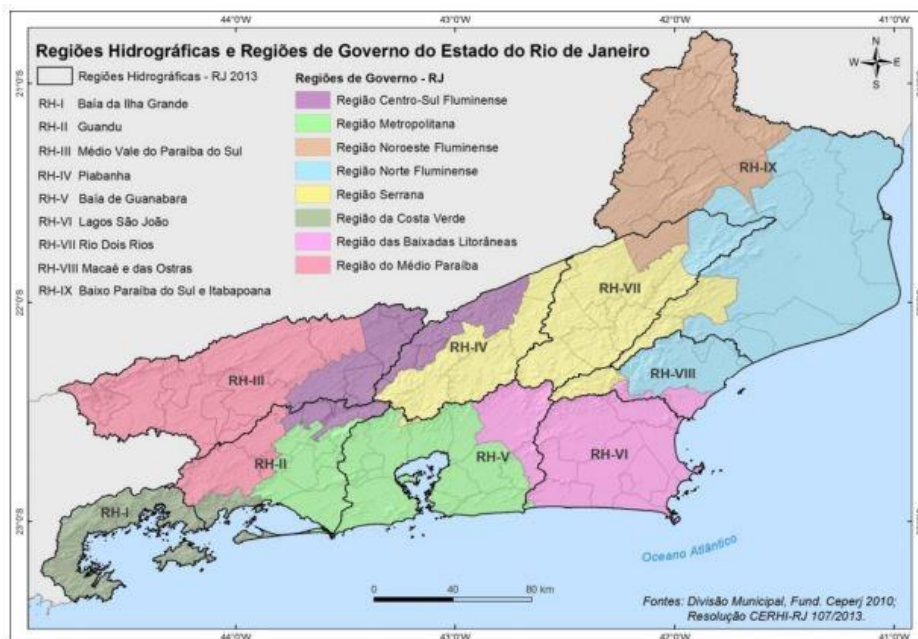


Figura 17- Regiões Hidrográficas e Regiões de Governo do estado do Rio de Janeiro - Fonte: SEA/INEA

## 2.2.1. Aspectos Físicos

O relevo e o clima do estado interagem estreitamente e atuam diretamente na formação e disponibilidade dos recursos. No relevo do território fluminense, destaca-se a presença de duas grandes serras, a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, que atingem

mais de 2.000 metros de altitude nos pontos mais elevados. Entre essas duas serras, desenvolve-se a bacia do rio Paraíba do Sul. O ponto culminante nos limites do estado é o Pico das Agulhas Negras, com 2.792 m, situado no Maciço do Itatiaia, Serra da Mantiqueira. Na Serra do Mar, o ponto mais alto é a Pedra dos Três Picos (2.310 m). O rio Itabapoana nasce na Serra do Caparaó, onde se encontra o Pico da Bandeira (2.892 m), terceiro ponto culminante do país (SEA/INEA).

As serras escarpadas ocupam 17% do estado e as serras isoladas/locais ocupam 14%; as duas somam 31% do território fluminense, mesmo percentual ocupado pelas regiões de relevo suave, somadas as planícies fluviais e flúviomarinhas (29%) com os cordões arenosos, dunas e restingas (2%). As áreas de relevo intermediário (morros e colinas) ocupam juntas um total de 37% do estado. Um aspecto comum às Regiões Hidrográficas é a presença de serras escarpadas, sendo que estas predominam na RH-I (SEA/INEA).

No clima observa-se a influência das grandes serras (do Mar e da Mantiqueira) na passagem de um clima quente e úmido das planícies e colinas, para um clima mesotérmico nas áreas mais altas e um clima subquente mais seco nas regiões interiores do estado. Nas regiões norte e noroeste do estado, onde a Serra do Mar termina e a Serra da Mantiqueira se distancia e perde altitude, cessa o efeito de barreira natural aos ventos úmidos litorâneos e evidencia-se uma extensa área de clima quente com estação seca bem marcada (4 a 5 meses secos no ano). Em todo o estado do Rio de Janeiro as chuvas e as temperaturas são maiores nos meses de verão (dezembro a março) e menores nos meses de inverno (julho a setembro) (SEA/INEA).

### **2.2.1.1. A Mata Atlântica fluminense**

A diversidade de ambientes geomorfológicos e de condições climáticas resultou igualmente em uma grande diversidade na distribuição espacial, na estrutura e composição biológica da vegetação natural, onde todos os tipos de vegetação natural do território fluminense estão inteiramente inseridos na região do bioma Mata Atlântica.

As principais fitofisionomias do bioma Mata Atlântica que ocorrem no estado do Rio de Janeiro são: a Floresta Ombrófila Densa, conhecida como floresta "sempre



verde", associada às regiões de clima úmido sem períodos biologicamente secos (mais de 60 dias de estiagem); a Floresta Estacional Semidecidual, conhecida como "mata seca", associada às regiões com períodos secos significativos para causar a perda de folhas de uma parte das espécies arbóreas, na estiagem; e as Formações Pioneiras, associadas às planícies com solos instáveis, de constante deposição fluvial ou marinha, conhecidas como Vegetação de brejo (influência fluvial), Mangue (influência flúviomarinha) e Restinga (influência marinha) (SEA/INEA).

Com a evolução dos instrumentos de sensoriamento remoto e geoprocessamento, diversos levantamentos vêm sendo executados, no entanto, há diferenças significativas entre os produtos. Em 2007 foi publicado um mapeamento do bioma Mata Atlântica em todo o país, realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) com diversas instituições parceiras, no âmbito do Projeto PROBIO, utilizando imagens Landsat de 2001 a 2003. Em toda área do território fluminense, foram registrados 30,6% de remanescentes, compreendendo 27% de florestas (22% de floresta ombrófila densa e 5% de floresta estacional semidecidual) e 3,6% de formações pioneiras. (Figura 18) (MMA – PROBIO, 2007)

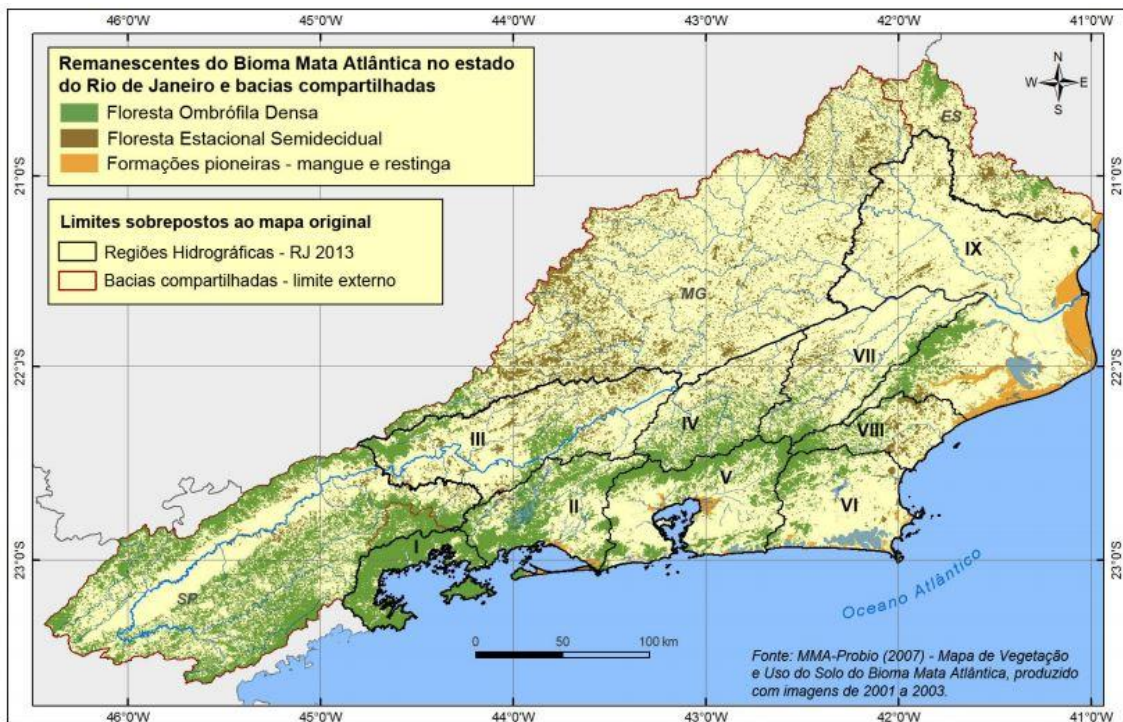


Figura 18 - Mapeamento PROBIO para a Bacia do Rio Paraíba do Sul – Fonte: SEA/INEA

Uma avaliação posterior da vegetação do estado do Rio de Janeiro, realizada como parte dos estudos de subsídio ao ZEE-RJ (SEA/UFRJ, 2009), utilizando imagens de 2007 do Landsat-5, registrou 28,3% de florestas (sem identificar os tipos). Este percentual é um pouco maior que o registrado no PROBIO (27%); as formações pioneiras (restinga e mangue) somaram 1,3%.

Por fim uma última análise realizada até o fim de 2018, com imagens base de 2014, feita na escala de 1:25.000, com área mínima de 0,5 ha realizada pela UFRJ, com apoio da SEA e PRUMO LOGISTICA, temos novos resultados. Onde os remanescentes de florestais chegam a 32% e as áreas pioneiras a 3%, resultando em 35 de remanescentes da Mata Atlântica. (Figura 19 e 20) (SEA/UFRJ, 2018)

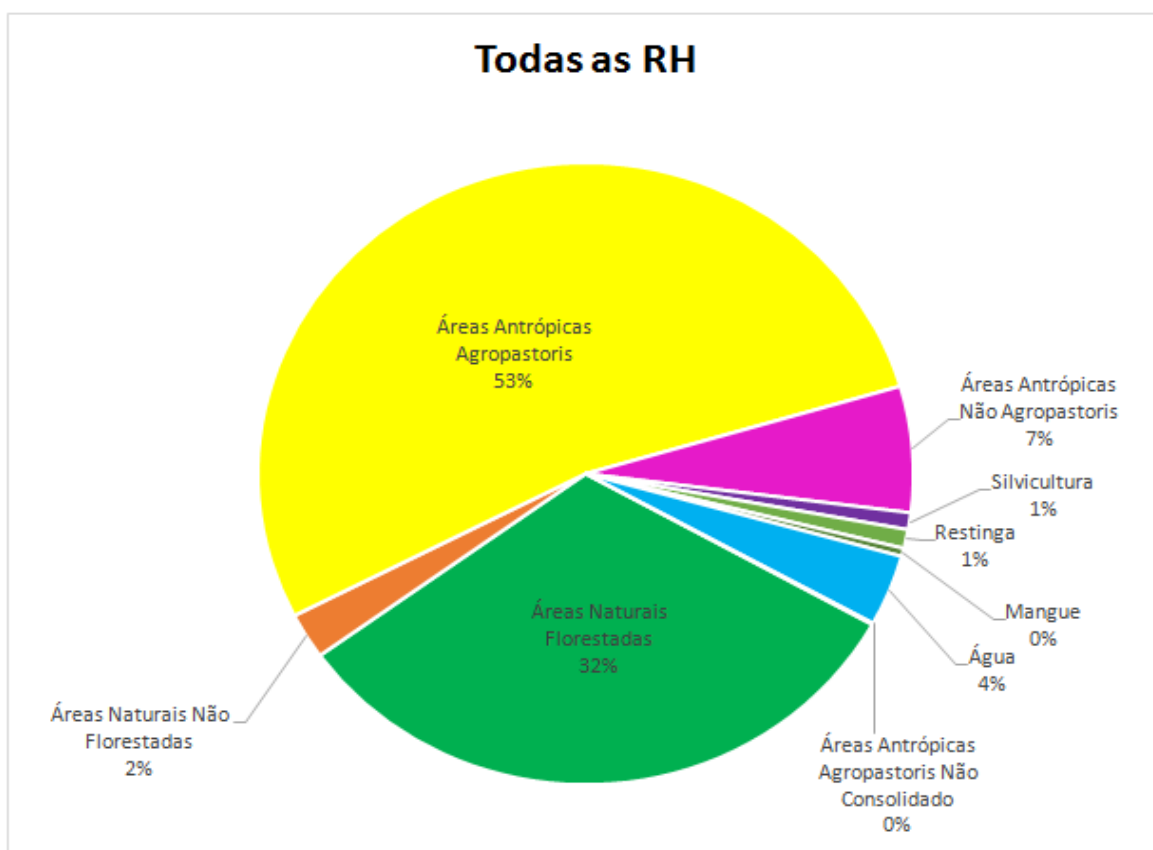


Figura 19 - Quantitativo em Porcentagem do Mapeamento do estado do Rio de Janeiro –  
Fonte: SEA/UFRJ

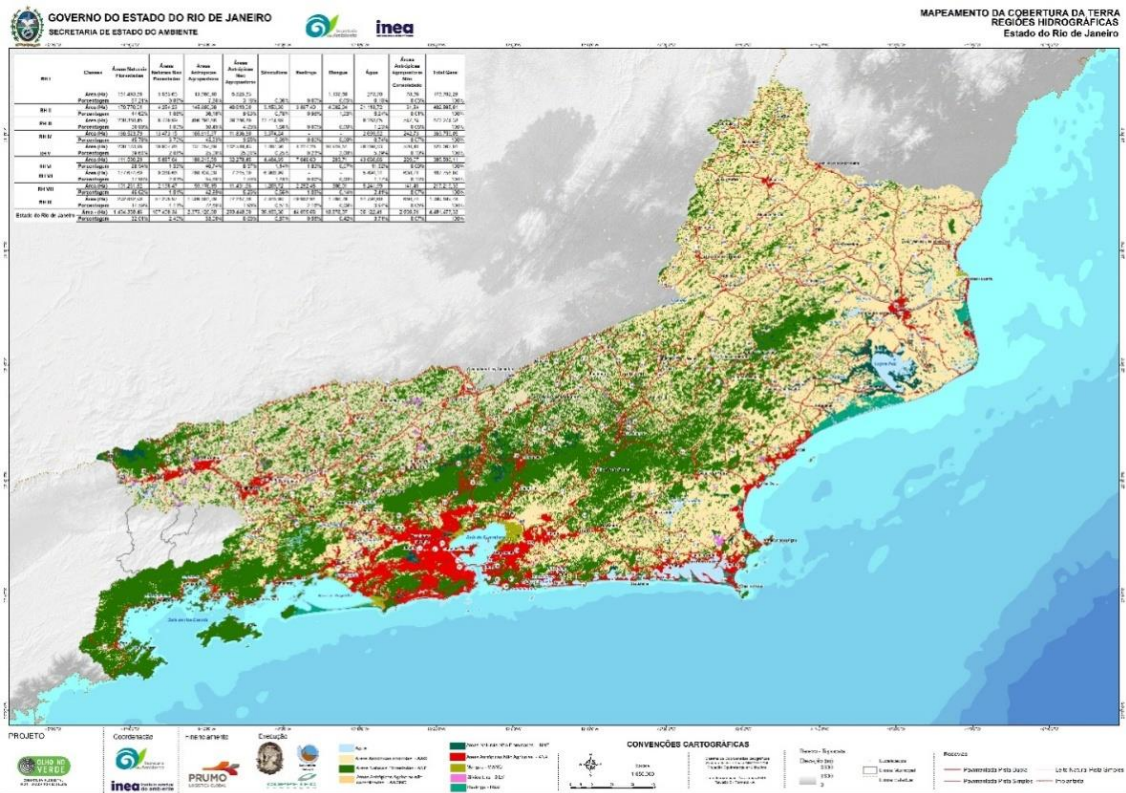


Figura 20 - Mapeamento do estado do Rio de Janeiro - Fonte: SEA/UFRJ

Na Figura 21 são apresentados os dados de distribuição exclusivamente das florestas remanescentes no estado do Rio de Janeiro, por serem as formações hegemônicas do território fluminense. Quanto mais fragmentada a floresta, maior a probabilidade de que sejam matas secundárias, empobrecidas quanto à composição e estrutura originais.

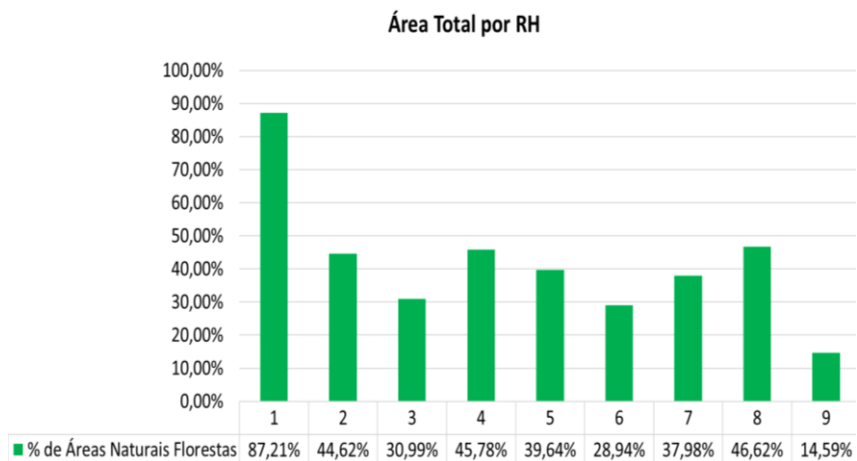


Figura 21 - Porcentagem de Floresta Atlântica por RH – Fonte: SEA/UFRJ

No estado do Rio de Janeiro encontram-se áreas protegidas criadas desde os primórdios da legislação ambiental (Código Florestal, ainda na forma de decreto de 1934), tais como os Parques Nacionais do Itatiaia (1937) e da Serra dos Órgãos (1939), que abrigam extensas florestas ombrófilas em regiões de serras escarpadas. Nos últimos anos, diversas novas UCs estaduais foram criadas, como o Parque Estadual dos Três Picos, contínuo ao Parque da Serra dos Órgãos, a APA Estadual do Guandu e o Parque Estadual do Cunhambebe. (SEA/INEA)

É importante ressaltar que há muitas UCs sobrepostas no estado, tanto UCs de diferentes esferas administrativas como da mesma esfera. Assim, a soma das áreas individuais não corresponde à área total real do conjunto de UCs no estado. Considerando as sobreposições, as UCs federais e estaduais cobrem, juntas, cerca de 17% da área do estado. Somadas a algumas municipais (com limites conhecidos), este valor sobe para 20%. (Figura 22) (SEA/UFRJ, 2009)

Grupo	Categoria de UC, conforme SNUC	Esfera administrativa			Total
		Federal	Estadual	Municipal	
Proteção Integral	Estação Ecológica	2	2	2	6
	Reserva Biológica	3	3	9	15
	Parque Nacional / Estadual / Municipal (n/s)	5	13	81	99
	Monumento Natural	1	-	16	17
	Refúgio de Vida Silvestre	-	-	2	2
	RPPN Estadual * / Municipal	-	55	5	60
	Reserva Ecológica (n/s)	-	1	3	4
	Reserva Natural Municipal (n/s)	-	-	1	1
	<b>Total de UCs de Proteção Integral</b>		<b>11</b>	<b>75</b>	<b>120</b>
Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental	5	16	124	145
	Área de Relevante Interesse Ecológico	1	-	17	18
	Floresta Nacional	1	-	-	1
	Reserva Extrativista	1	-	-	1
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável	-	-	2	
	RPPN Federal	65	-	-	65
	Floresta Municipal	-	-	1	1
	<b>Total de UCs de Uso Sustentável</b>	<b>73</b>	<b>16</b>	<b>144</b>	<b>231</b>
<b>TOTAL DE UCs</b>	<b>84</b>	<b>91</b>	<b>263</b>	<b>435</b>	

Figura 22 - Áreas Protegidas no estado do Rio de Janeiro – Fonte: INEA

As principais unidades de conservação do estado, responsáveis pela preservação dos mais extensos desses remanescentes, são os parques nacionais da Tijuca, do Itatiaia, da Serra da Bocaina, da Serra dos Órgãos e da Restinga de Jurubatiba, os parques

estaduais da Pedra Branca, da Ilha Grande e dos Três Picos e a Área de Proteção Ambiental de Guapimirim.

### 2.2.2. Aspectos Humanos

O Rio de Janeiro tornou-se um estado essencialmente urbano, seguindo uma tendência histórica definida há mais de meio século. De acordo com os Censos Demográficos do IBGE, em 1950 a população urbana do estado já correspondia a 73% da população total. Em 2010, com cerca de 16 milhões de habitantes, 97% estão concentrados em cidades, observa-se que as áreas urbanas da RH-II (Guandu), da Região Serrana (RHs IV e VII) e da faixa litorânea da RH-VI se expandem atreladas à expansão da Região Metropolitana em torno da Baía de Guanabara (RH-V) (SEA/UFRJ, 2018). O estado ainda concentra 8,4% da população do país, sendo o estado com maior densidade demográfica do Brasil. Entre seus principais polos urbanos estão, além da sua capital e sua região metropolitana, cidades como Campos dos Goytacazes, Petrópolis, Volta Redonda, Cabo Frio, Barra Mansa, Itaperuna, Três Rios e Macaé.

As pastagens distribuem-se por todo o estado, ocupando mais de 50% das Regiões Hidrográficas, com exceção da RH-I, onde o relevo, montanhoso em maior parte, praticamente impede essa forma de uso, e com exceção da RH-V, onde o uso agropecuário perde espaço para a expansão da Região Metropolitana (SEA/UFRJ, 2018).

Apesar da extensão das áreas mapeadas como pastagens, é importante observar que essas áreas não têm sido amplamente utilizadas para pastoreio de gado e, segundo os Censos Agropecuários do IBGE, tanto na pecuária como na agricultura tem ocorrido redução constante de área de uso nas últimas décadas. Há muitas terras no estado com vegetação herbácea, aparentemente de pastagem, porém sem uso efetivo para pecuária, que de modo geral permanece herbácea com uso frequente de queimadas antes do período chuvoso, seguida pela rebrota espontânea do capim, evitando-se, assim, a regeneração das florestas. (SEA/INEA).

# CAPÍTULO 3

## O PRÉ-PROCESSAMENTO VISANDO MAPEAMENTOS MULTITEMPORAIS ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS

### 3.1. Introdução

As imagens digitais, na forma em que são recebidas originalmente dos sensores remotos, também são denominadas de imagens brutas, por apresentarem erros geométricos e radiométricos inerentes ao processo de aquisição. Os erros radiométricos se originam de falhas instrumentais e limitações próprias do processo de imageamento. Já os erros geométricos são causados por diferentes fatores, como posicionamento do satélite, movimentos da Terra, curvatura, etc. (NOVO, 2008).

Quando usuários utilizam essas imagens para obter a informação que procura, frequentemente é necessário corrigi-las, ou compensar de certa maneira os erros que apresenta. Algumas dessas correções são realizadas antecipadamente à distribuição das imagens, enquanto outras cabem, exclusivamente, à decisão do usuário (MENESES & ALMEIDA, 2012).

As correções dessas distorções fazem parte do conjunto de funções de processamento que se denomina de pré-processamento. De acordo com MENESES & ALMEIDA (2012), as técnicas de pré-processamento têm como objetivo transformações nas imagens que melhoram a qualidade visual, matemática e física da cena. FLORENZANO (2012) define pré-processamento de imagens como tratamento preliminar de dados brutos, com a finalidade de calibrar a radiometria da imagem, atenuar os efeitos da atmosfera, remover ruídos e corrigir suas distorções geométricas. Em síntese o pré-processamento, que é a etapa preliminar do PDI (Processamento Digital de Imagens), tem a finalidade então de resolver problemas gerais da imagem e facilitar assim o uso dessas para análises e processamentos posteriores.

Cada análise a partir de imagens digitais requer ajustes e correções distintas que sejam mais adequadas para cada tipo de problema, pois imperfeições, se não corrigidas, podem comprometer os resultados de produtos derivados das imagens.

Segundo COPPIN et al. (2004), em estudos de detecção de mudanças defende-se que as condições fenológicas sejam comparáveis, em outras palavras, as condições climáticas devem ser semelhantes, tanto numa escala de tempo bitemporal, como numa escala de tempo contínua. Assim, para estudos de múltiplas datas, o pré-processamento de imagens torna-se ainda mais importante para os resultados de detecção de mudanças, já que, diferentes abordagens podem produzir diferentes interpretações. Por isso, esta é uma etapa imprescindível no processo de mapeamento, só assim os resultados obtidos em um mapeamento multitemporal integrado de uso do solo serão confiáveis. No âmbito desse trabalho, o pré-processamento será considerado o que abrange todas as operações realizadas antes do uso das imagens para análises visuais ou matemáticas relacionadas a modelagem e mapeamento.

Assim esse capítulo tem como objetivo a análise das diferentes etapas do pré-processamentos visando os estudos multitemporais em recortes espaciais extensos.

### **3.2. Materiais e Métodos**

Como exposto anteriormente, cada tipo de questão requer um Processamento Digital e conseqüentemente, um pré-processamento junto a este. Para que o objetivo geral deste trabalho seja concretizado faz-se necessário o uso de diversos processamentos digitais como a construção de índices radiométricos, a realização de álgebra de imagens de diferentes datas além da própria classificação digital, para que todos esses processos sejam seguros e com resultados confiáveis é necessário a aplicação do: (1) do ajuste geométrico, que é de extrema importância para mapeamentos multitemporais, uma vez que para resultados satisfatórios a diferença de posicionamento das imagens deve ser menor que um pixel; (2) e das correções radiométricas, empregadas porque as respostas espectrais em áreas consideradas invariantes precisam estar espectralmente semelhantes entre as datas, dentre elas a correção atmosférica, a compatibilização radiométrica e a normalização radiométrica se tornam essenciais para obtenção de resultados fidedignos a análise.

Aqui ainda se apresenta um agravante, como será verificado a seguir, a quantidade de datas analisadas é grande e, que o recorte espacial é extenso, o que nos traz a necessidade da realização de mosaicos e equalizações.

Em síntese a partir de imagens da série de satélites LANDSAT foram realizados diversos testes e análises em todos os níveis de pré-processamento, envolvendo a geometria das imagens, a correção atmosférica, as e normalizações radiométricas e por fim mosaicagem e equalização. Em outras palavras, este capítulo dá conta de testar e investigar todos os processos antes da modelagem e classificação, assim como detalhado na Figura 23 e descrito detalhadamente a seguir.

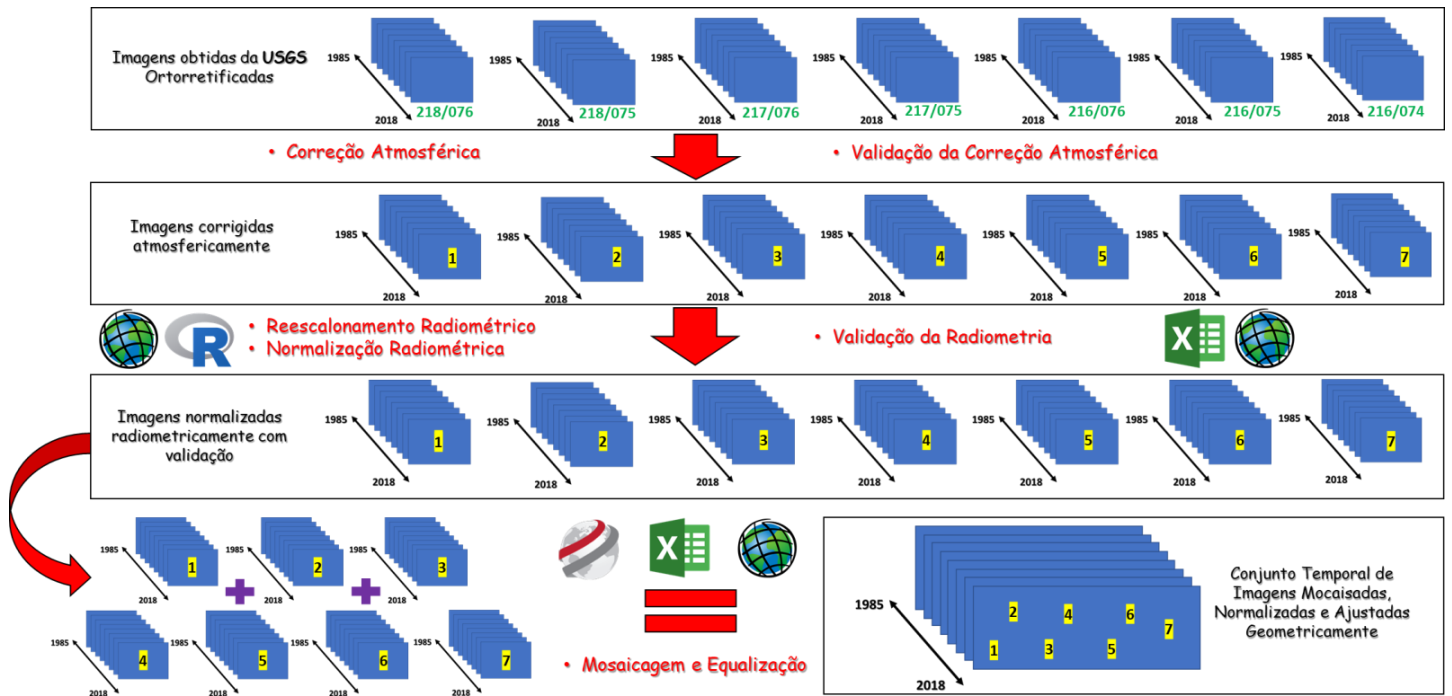


Figura 23 - Fluxograma Metodológico de Pré-processamento

### 3.2.1. Imagens Landsat

A série LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite) representa a maior série temporal de imagens de média resolução espacial com abrangência mundial. A aquisição dos satélites Landsat teve início em 1972, com o lançamento do satélite ERTS-1 (Landsat-1). Em seguida foram lançados os LANDSAT 2 (1975), 3 (1978), 4 (1982), 5 (1984), 6 (1993), 7 (1999) e 8 (2013) (Figura 24). Sendo assim, são mais de 40 anos de imageamento e produção de dados contínuos. Essas quatro décadas de imagens se convertem num recurso único para aqueles que trabalham na agricultura, geologia, dinâmica florestal, planejamento regional, educação, mapeamento e pesquisa em mudanças globais.



Pelo exposto, a série LANDSAT foi escolhida devido sua grande cobertura temporal de imageamento e por ser um satélite com resoluções tanto espaciais quanto espectrais adequadas para classificações de média escala, e além disso pode-se ressaltar que as imagens são gratuitas e de fácil acesso.



Figura 24 - Série Orbital LANDSAT – Fonte: USGS

As imagens foram obtidas através do Catálogo de Imagens do USGS, seguindo alguns pré-requisitos: i) a menor porcentagem de nuvens possível; ii) os meses de imageamento foram de maio a setembro - em virtude da menor umidade relativa do ar e menor nebulosidade e; iii) margem de  $\pm 1$  ano para aquisição das imagens - devido à dificuldade de aquisição frente aos critérios anteriores. Assim, as datas para aquisição foram:  $1985 \pm 1$ ,  $1990 \pm 1$ ,  $1995 \pm 1$ ,  $2000 \pm 1$ ,  $2005 \pm 1$ ,  $2010 \pm 1$  e  $2015 \pm 1$  e  $2018 - 1$ , o que resultam em 56 imagens para cobrir todo recorte espacial e temporal de estudo (Figura 25).

A partir da Figura 25, pode-se observar que, devido o recorte temporal da pesquisa, foram usados 2 sensores da série LANDSAT (TM e OLI). Esses sensores possuem resoluções espaciais iguais, mas resoluções espectrais e radiométricas diferentes, por isso, para o pré-processamento foram usadas as bandas correspondentes entre esses sensores TM (Landsat 5) e OLI (Landsat8), sendo estas: as bandas do Azul, Verde, Vermelho, Infravermelho Próximo e as duas bandas do Infra- Vermelho de Ondas Curtas dos dois sensores (Figura 26).

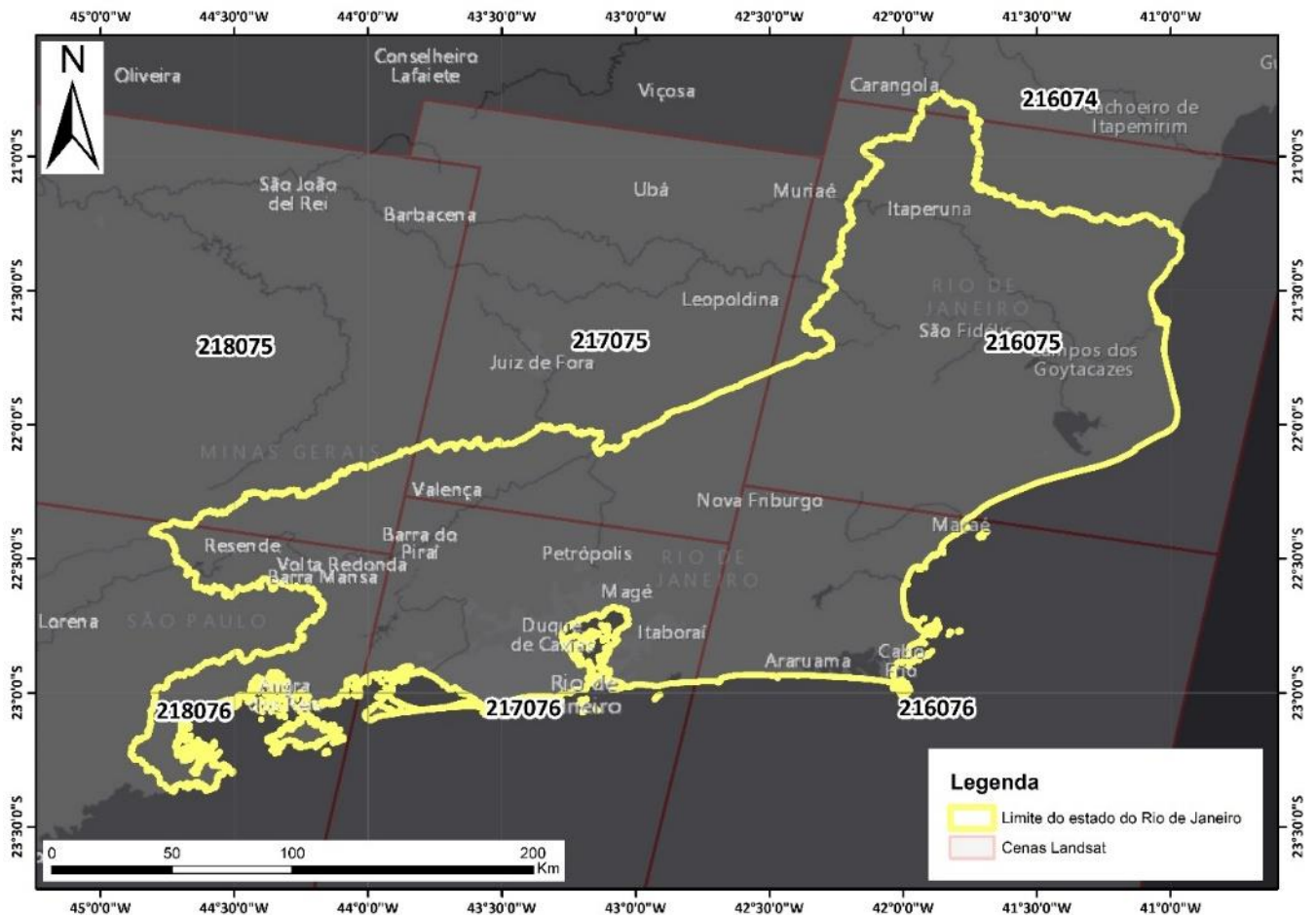


Figura 25 - Articulação de Imagens no estado do Rio de Janeiro

[OLI, Operational Land Imager; TIRS, Thermal Infrared Sensor; ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus; TM, Thematic Mapper; MSS, Multispectral Scanner; --, not applicable]

Band designations	Landsat band wavelength comparisons									
	All bands 30-meter resolution unless noted									
	L8 OLI/TIRS		L7 ETM+		L4-5 TM		L4-5 MSS*		L1-3 MSS*	
Coastal/Aerosol	Band 1	0.43–0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
Blue	Band 2	0.45–0.51	Band 1	0.45–0.52	Band 1	0.45–0.52	--	--	--	--
Green	Band 3	0.53–0.59	Band 2	0.52–0.60	Band 2	0.52–0.60	Band 1	0.5–0.6 *	Band 4	0.5–0.6 *
Panchromatic	Band 8**	0.50–0.68	Band 8 **	0.52–0.90	--	--	--	--	--	--
Red	Band 4	0.64–0.67	Band 3	0.63–0.69	Band 3	0.63–0.69	Band 2	0.6–0.7 *	Band 5	0.6–0.7 *
Near-Infrared	Band 5	0.85–0.88	Band 4	0.77–0.90	Band 4	0.76–0.90	Band 3	0.7–0.8 *	Band 6	0.7–0.8 *
Near-Infrared	--	--	--	--	--	--	Band 4	0.8–1.1 *	Band 7	0.8–1.1 *
Cirrus	Band 9	1.36–1.38	--	--	--	--	* Acquired at 79 meters, resampled to 60 meters			
Shortwave Infrared-1	Band 6	1.57–1.65	Band 5	1.55–1.75	Band 5	1.55–1.75	** 15-meter (panchromatic)			
Shortwave Infrared-2	Band 7	2.11–2.29	Band 7	2.09–2.35	Band 7	2.08–2.35	T1 = Thermal (acquired at 100 meters, resampled to 30 meters)			
Thermal	Band 10 T1	10.60–11.19	Band 6 T2	10.40–12.50	Band 6 T2	10.40–12.50	T2 = Thermal (acquired at 120 meters, resampled to 30 meters)			
Thermal	Band 11 T1	11.50–12.51	--	--	--	--				

Figura 26 - Caracterização Espectral dos Sensores LANDSAT – Fonte: USGS

As imagens LANDSAT disponibilizadas pela USGS possuem diferentes níveis de processamento, onde se pode ter acesso a dois deles: o “Landsat 8 OLI/TIRS Level-2 - Surface Reflectance” e o “Landsat 8 OLI/TIRS Level-1” e para o sensor OLI e “Landsat

5 TM Level-2 - Surface Reflectance” e o “Landsat 8 TM Level-1”. O primeiro caso, oferecido a partir de 2013, é uma produção sob demanda de dados de refletância de superfície do Landsat 8 através do Earth Explorer. De acordo com a USGS esse produto fornecem uma estimativa da reflectância espectral da superfície, uma vez que seria medida ao nível do solo na ausência de dispersão ou absorção atmosférica. O outro tipo de processamento é mais antigo, as imagens são disponibilizadas em Números Digitais a partir da radiometria de 16 bits para imagens OLI e 8 bits para imagens TM, sem correção atmosférica. Todas as duas opções são devidamente ortorretificadas geometricamente. (Figura 27)

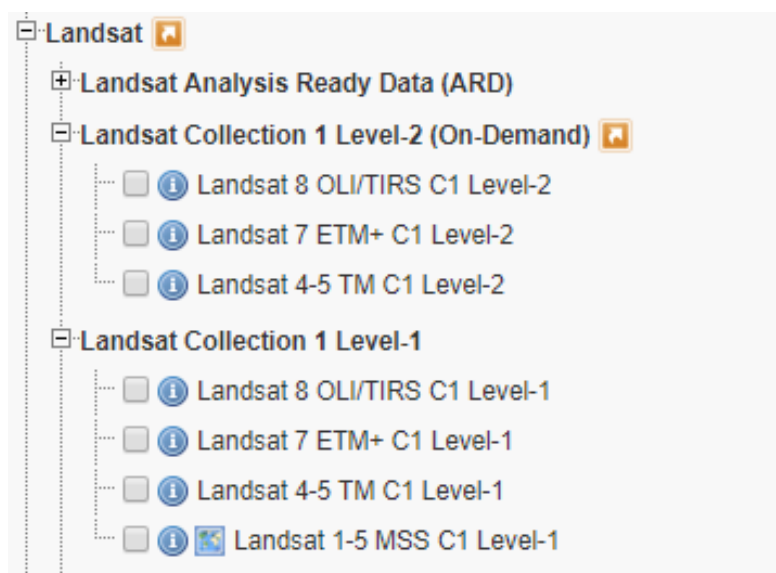


Figura 27 - Opções de Download da Série LANDSAT – Fonte: USGS

Como observado, as imagens vêm sendo disponibilizadas com correção geométrica, mais precisamente no caso do satélite Landsat, os dados já estão sendo disponibilizados ortorretificados pelo Serviço Geológico Norte Americano (USGS). A partir de AMARAL (2017); LOURENÇO (2016); ABREU (2018) observa-se que as tais imagens apresentam erros médios quadráticos à nível de subpixel, o que de acordo com Chen et al. (2012) são aconselháveis para a realização de detecção de mudanças. Por esse motivo as imagens não passaram por nenhuma outra correção geométrica, além das que foram realizadas pela USGS.

Em relação a correção atmosférica, num primeiro momento, foram adquiridas imagens já corrigidas atmosféricamente pela USGS, entretanto, ao fazer análise radiométrica nas mesmas, foram encontrados alguns problemas que poderiam ocasionar

dificuldades no processamento posterior. Por esse motivo optou-se por usar as imagens de Nível 1, sem correções atmosféricas e somente ortorretificadas.

### **3.2.2. Correção Atmosférica e Transformação TOA (Topo da Atmosfera)**

A correlação entre a energia refletida do alvo (a refletância) e a que chega no sensor apresenta limitações, uma vez que entre elas existe um meio extremamente dinâmico: a atmosfera. A atmosfera interage com a radiação eletromagnética, provocando significativas alterações no fluxo radiante proveniente do alvo (LATORRE et al., 2002).

As principais evidências desses efeitos sobre a imagem são a diminuição do brilho da superfície em regiões espectrais específicas e a presença de névoa, causando perda de nitidez nas regiões dos menores comprimentos de onda. (LATORRE et al., op. cit.). Outro problema é a redução da possibilidade de detecção de pequenos objetos dentro da cena, ou de diferenciação entre objetos que apresentem pequenas variações na intensidade de sinal (NOVO, 2010). Tais alterações são, na verdade, um persistente problema na análise de dados por sensoriamento remoto.

Segundo Novo (2010), uma das formas de minimizar efeitos da atmosfera nas imagens orbitais é a correção atmosférica. Esse processo é importante em vários casos, principalmente quando é necessário conhecer a refletância, emitância ou retroespalhamento do objeto em estudo, para poder usar estes valores em modelos empíricos ou teóricos ou quando é necessário usar algoritmos que se baseiem em operações aritméticas entre bandas (elaboração de índices normalizados e na comparação de imagens de datas diferentes).

Sendo a atmosfera terrestre um sistema complexo e extremamente dinâmico, que muda espacialmente e sazonalmente, é fundamental conhecer sua composição, suas propriedades e seu dinamismo (LATORRE et al., 2002). Por isso, a correção da imagem precisa ser baseada em modelos matemáticos, onde as variáveis desse modelo são os parâmetros atmosféricos obtidos em relação a hora e data de passagem do satélite, por meio de estações meteorológicas.

Atualmente existem diversos modelos disponíveis capazes de amenizar os efeitos da atmosfera nas imagens de satélite. Esses modelos objetivam a estimação da interação entre a radiação eletromagnética e a atmosfera, através conversão dos números digitais em quantidades ou parâmetros físicos como a radiância e a reflectância. (NASCIMENTO, 2006).

De acordo com LATORRE et al. (2002), os métodos de correção atmosférica podem ser divididos em dois grupos: os métodos alternativos e os métodos físicos. Os primeiros se utilizam exclusivamente de informações intrínsecas à própria imagem, já para os físicos é fundamental o conhecimento das características da atmosfera no momento do imageamento, e também do processo de interação da superfície com a radiação e a atmosfera.

Os modelos físicos são baseados em transferências radiativas, método esse que necessita ser alimentado por muitos parâmetros o que lhe confere um caráter de complexidade e alta acurácia (LATORRE et al., 2002). Os modelos mais conhecidos e usados de transferência radiativa são o MODTRAN (Moderate Resolution Transmittance), presentes nas extensões FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) e ATCOR (Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery); 5S (Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum), na extensão SCORADIS e o 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) (LOURENÇO, 2016).

Nesse trabalho optou-se que a correção atmosférica seria executada no software *FOCUS* do *PCI Geomatica 2017* que para a correção atmosférica o software incorpora o modelo ATCOR (Atmospheric and Topographic Correction) desenvolvido pelo Centro Aeroespacial Alemão (DLR). O funcionamento dessa extensão é relativamente simples, mas é necessário alimentar o aplicativo com uma série de quesitos como zênite solar, azimute solar, Gain, Offset e etc, que estão disponíveis no metadado do arquivo.

De acordo com ABREU et al. (2015) a execução de qualquer tarefa no *PCI Geomatica* se torna mais simples ao convertermos as imagens para o formato nativo do software (.pix), assim ele reconhece todas as informações de metadado automaticamente as preenche, agilizando o processo. Outra vantagem do uso do software *PCI* é a possibilidade de transformação dos valores das imagens de *Digital Number* para

Refletância do topo da Atmosfera (TOA Reflectance -Top of Atmosphere Reflectance), o que se faz necessário para estudos com fins de comparação espectral e validação da correção atmosférica (PONZONI, 2007) (Figura 28).

Dessa forma, as 56 imagens foram convertidas para o formato (.pix), foram transformadas pra TOA e corrigidas atmosféricamente.

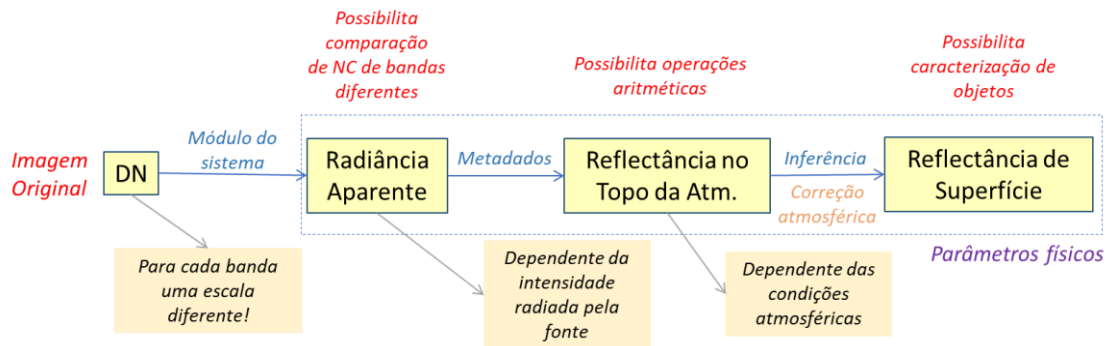


Figura 28 - Fases da Conversão Radiométrica e Correção Atmosférica

No software PCI essas informações se apresentam numa primeira “Caixa de opções” que é a única para a conversão dos dados pra TOA (Figura 29). Como as imagens já se encontravam em formato nativo do software todas as informações foram preenchidas automaticamente, como já dito.

Figura 29 - "Caixa de Opções 1" – Fonte: PCI Geomatica

Para a correção atmosférica são necessários outros parâmetros além desses, ligados a inferências da atmosférica na área da imagem. A primeira “caixa de opção” dessa fase é a de Mascaras e Remoção de Nevoa. As máscaras são formas de evitar a influência da água e de nuvens nas correções, já a remoção de névoa é uma limpeza da imagem para o aumento de nitidez da mesma. Para esse trabalho não foi necessário o uso das máscaras, logo todas elas foram omitidas, e as imagens adquiridas não possuíam uma quantidade de nevoa considerável para a aplicação do segundo método, logo ele também não foi empregado (Figura 30).

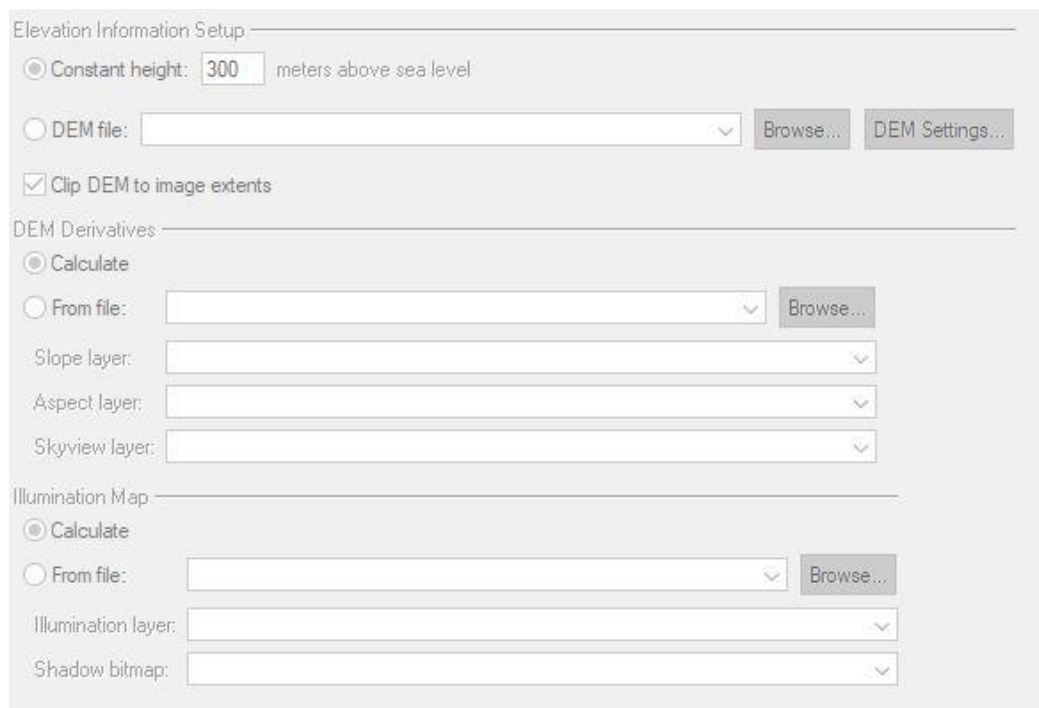
The image shows a software interface for atmospheric correction, titled "Caixa de Opções 2". It is organized into three main sections: Cloud Masking, Water Masking, and Haze Removal.   
1. **Cloud Masking:** The first radio button is selected: "Compute using reflectance in the blue band (or green if blue is unavailable)". Below it are three sliders: "Seed" set to 26, "Lowest" set to 20, and "Dilation" set to 2 pixels. There is also a "Settings..." button. The other two radio buttons, "Import from file:" and "Omit", are unselected.   
2. **Water Masking:** The first radio button is selected: "Compute using reflectance in the NIR (0.8um) and SWIR (1.6um) bands". Below it are two sliders: "Highest in NIR" set to 5 and "Highest in SWIR" set to 3. The other two radio buttons, "Import from file:" and "Omit", are unselected.   
3. **Haze Removal:** A checkbox labeled "Perform Haze Removal" is checked. Below it are two sliders: "Haze cover percentage" set to 50 and "Apply haze correction for bands under" set to 0.85 micrometers.

Figura 30 - "Caixa de Opções 2" – Fonte: PCI Geomatica

Na terceira etapa do processo são necessárias variáveis de altitude do terreno da imagem. Essa variável é bem complexa para se fazer inferência pois normalmente não é uma condição homogênea na imagem, principalmente para a área de estudo, caracterizada por diversas serras e maciços.

No software *PCI* são dadas duas opções para as inferências dessa variável. Um MDE do próprio programa que estima a altitude média da imagem e a coloca como uma constante ou, a opção de entrada com um MDE, onde cada área da imagem terá um valor diferente retirado desse MDE. Para esse trabalho foi usado a primeira opção onde as

constantes foram embasadas no MDE interno ao programa e os valores são preenchidos automaticamente (Figura 31).



*Figura 31- "Caixa de Opções 3" - Fonte: PCI Geomatica*

Para cada uma das 7 cenas que cobrem o estado foi usado o mesmo valor de altitude em todas as datas.

Por fim, é necessário preencher a última etapa a partir também de inferências, as condições atmosféricas para a criação de uma atmosférica teórica. Essas condições são dadas a partir das opções de cobertura do solo e de condição climática, onde todas foram colocadas como rural, pois é a uso classe predominante nas imagens, em verões de média latitude. E além dessas também é necessário de preencher uma visibilidade constante da imagem (Figura 32).

No que tange a visibilidade, PIMENTA et al., 2013 coloca que no ATCOR 2, a variável que mais interfere nos produtos finais da correção atmosférica é a visibilidade, sendo, portanto, um parâmetro mais sensível e que exige maior atenção. Ainda no artigo os autores evidenciam que as inferências com base no SPECTRA do software ERDAS, os valores de visibilidade próximos ao estimado não mudam as curvas espectrais. Desse modo, o mesmo foi realizado para as imagens Landsat no PCI, onde o SPECTRA calcula



a visibilidade para a cena usando pixels de Vegetação Escura. Tais pixel foram definidos com base no NDVI e refletância de topo da atmosfera na faixa vermelha. Os valores deram sempre próximos de 30 km, e esse valor foi usado como base para todas as imagens.

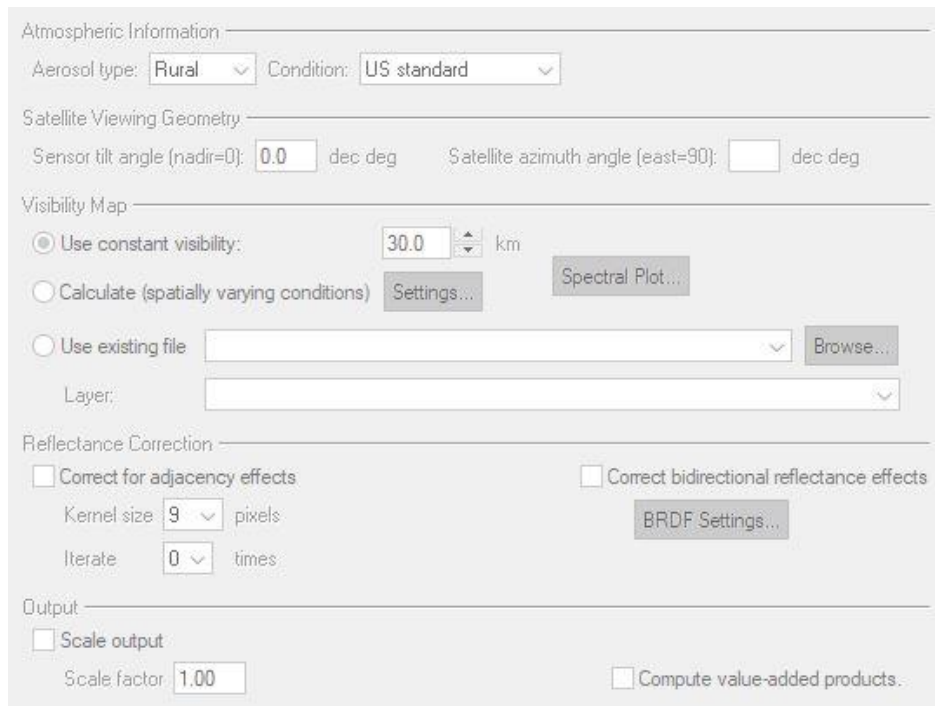


Figura 32 - "Caixa de Opções 4" – Fonte: PCI Geomatica

Com isso nessa etapa foram geradas 112 imagens, sendo 56 imagens na conversão para TOA e as outras 56 imagens da correção atmosférica.

### 3.2.3. Normalização Radiométrica

Quando a detecção de mudanças é feita de forma integrada, baseada em imagens de duas ou mais datas, uma pode ter respostas radiométricas diferentes ao longo do tempo, mesmo pertencendo a uma mesma classe. Isso ocorre devido a vários fatores, entre os quais, de acordo com PAOLINI et al. 2006 estão: as diferenças na resposta radiométrica relativa entre os sensores; mudanças na calibração do sensor de satélite ao longo do tempo (envelhecimento); diferenças nos ângulos de iluminação e de observação; variação de efeitos atmosféricos; refletância; topografia e; mudanças

reais na refletância alvo.

Para minimizar esses efeitos, tem-se a normalização radiométrica de imagens, considerada uma etapa do pré-processamento importante, que objetiva conseguir um comportamento uniforme no que diz respeito à resposta espectral de áreas invariantes no tempo. Por sua natureza deve ser aplicada antes da realização de análises de monitoramento de índices radiométricos, dentre outras aplicações (CANTY et al., 2004).

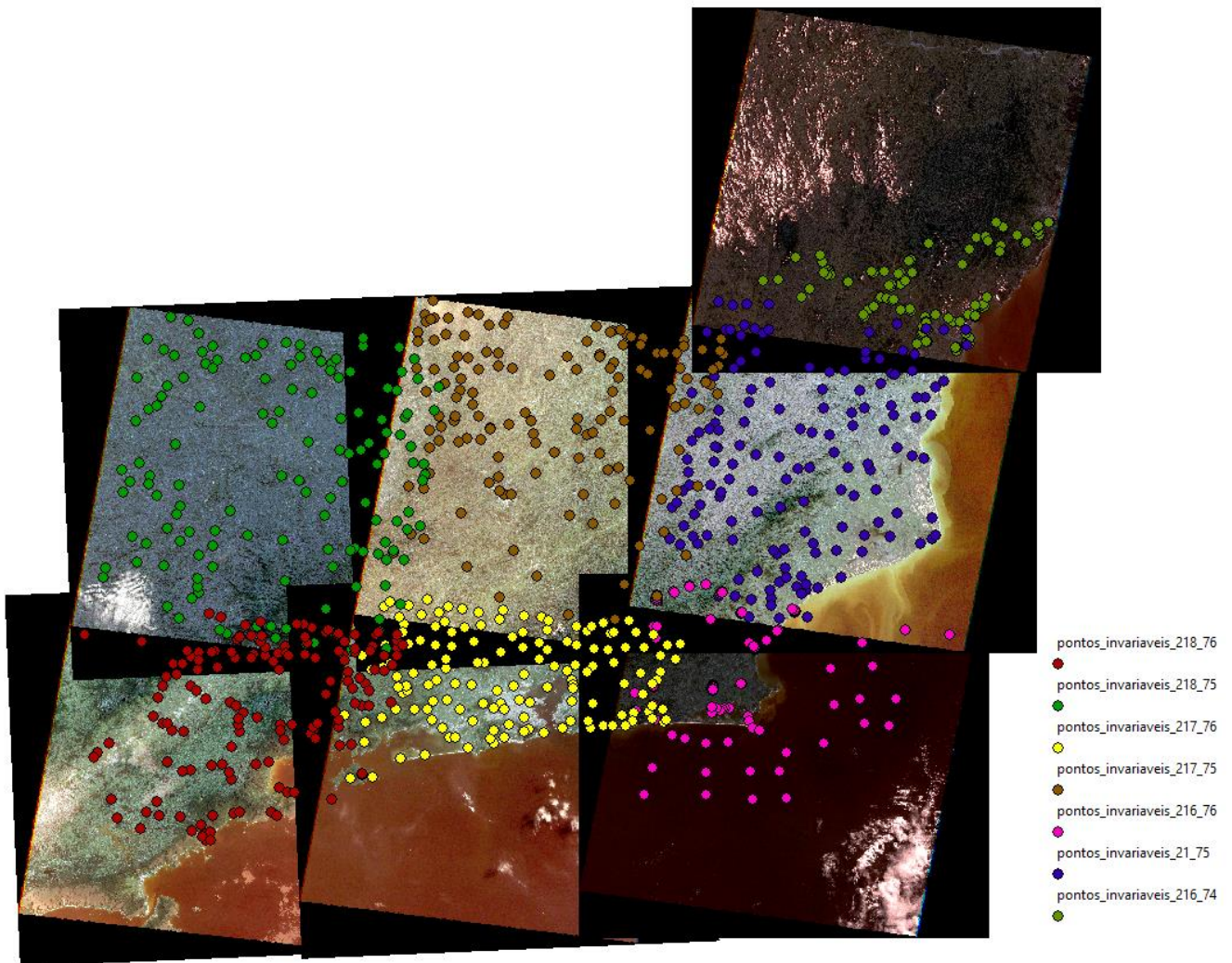
De acordo com CRONEMBERGER (2014) o ato de normalizar radiometricamente duas imagens de datas distintas, tem como objetivo compatibilizar as amplitudes dos valores de reflectância da superfície ou níveis de cinza dos elementos dessas imagens em cada banda espectral de uma série multitemporal.

Hall et al. (1991) apresenta a técnica com o nome de Retificação Radiométrica, feita a partir de um conjunto de pontos invariantes ao longo do tempo entre a imagem referência e a imagem a ser normalizada, onde a partir disso é determinados os parâmetros de uma regressão linear através dos mínimos quadrados em que o ajuste entre a imagem de referência e as imagens a serem normalizadas segue a seleção manual de pontos pseudo-invariantes (Pseudo-invariant Features – PIFs) (NIELSEN et al., 1998; CANTY et al., 2004).

Em síntese, matematicamente, o processo de normalização radiométrica é uma técnica de calibração relativa que consiste na regressão linear entre imagens multiespectrais em uma série temporal em relação a uma imagem de referência. Para tanto, são selecionados PIFs, ou seja, pixels cuja resposta espectral variou pouco ou se manteve constante em todas as imagens da série multitemporal (MALUF ET AL., 2015; CANTY et al., 2004; FERNANDES. P. J. F. et al., 2016).

Segundo WECKMÜLLER (2018), a coleta dos PIFs pode ser feita de duas maneiras: Geração de pontos aleatórios - sendo escolhidos aqueles que possuem menor diferença entre si e apontam para possíveis áreas estáveis ou; a coleta de pelo menos trinta pontos invariantes por classe, manualmente, que represente toda a heterogeneidade da classe e da cena. Para esse trabalho foram selecionados 1050 PIFs (claros e escuros) para a realização de uma regressão linear de todas as cenas que compõem o estado do Rio de Janeiro, o que resultou em aproximadamente 150 pontos

por cena. Esses PIFs foram selecionados a partir de análise visual de invariância de resposta radiométrica, no programa *ArcMap 10.3* (Figura 33).



*Figura 33 - Distribuição dos PIFs*

Além dos PIFs, se faz necessária a escolha de uma imagem de referência para cada cena. Tal escolha foi feita a partir da análise da correção atmosférica, comparando as imagens TOA com as corrigidas atmosféricamente. Os gráficos podem ser vistos no ANEXO 1, onde todas as imagens de referência estarão marcadas.

As imagens escolhidas para cada cena podem ser vistas na tabela apresentada na Figura abaixo. (Figura 34)

CENA	ANO DE REFERÊNCIA
216_74	1990
216_75	2010
216_76	1995
217_75	2005
217_76	1990
218_75	2000
218_76	1985

*Figura 34 - Ano de Referência das cenas*

Com isso, a normalização radiométrica foi realizada no software *R*, através de um código desenvolvido por FERNANDES et al. (2017). Esse código exige a organização da série temporal em uma pasta para cada data, onde além da imagem referência e a imagem a ser normalizada, há o arquivo de PIFs daquela cena no formato shapefile como dados de entrada. Desta maneira, o código normaliza em pares de imagens, desenvolvendo uma equação de regressão linear para cada ano da série temporal, levando-se em conta a mesma imagem referência. Os dados de saída são a imagem normalizada e um gráfico entre esta e a imagem referência para análise de qualidade dos resultados.

Três opções de normalização foram testadas (chamadas aqui de NORM 1, NORM 2 a segunda e por fim NORM 3). Na primeira (NORM 1), a normalização foi realizada diretamente nas imagens brutas, sem correção atmosférica ou conversão para refletância aparente (TOA). A NORM2 diz respeito aos resultados da normalização aplicada nas imagens corrigidas atmosféricamente. Por fim, na NORM 3 foram usadas as imagens convertidas para TOA, como pode ser observado na Figura 35. Cabe destacar que a imagem de referência e os pontos foram os mesmos para as três opções.

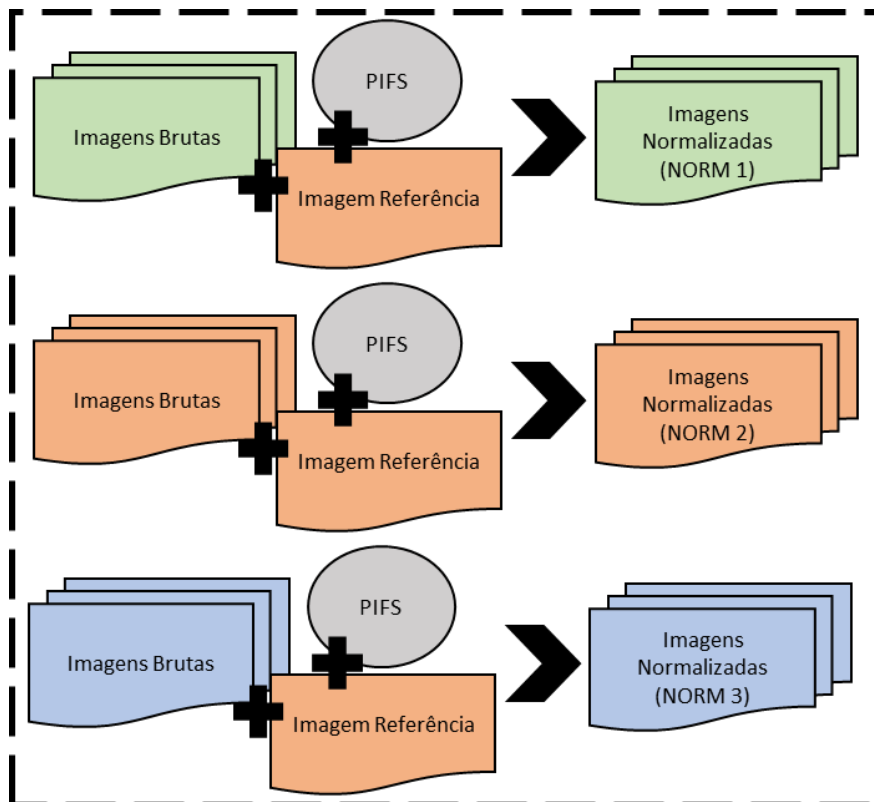


Figura 35 - Esquematização dos métodos de normalização

### 3.2.4. Mosaicagem e Equalização

Segundo WOLF E DEWITT (2000), quando uma única imagem não abrange toda uma área de estudo, um mosaico deve ser realizado, esses mosaicos são construídos a partir de um bloco de imagens com superposição, as quais são devidamente aparadas e unidas.

Como vimos anteriormente, são necessárias sete imagens Landsat para cobrir o estado do Rio de Janeiro, o que nos traz a necessidade de realização do mosaico e, junto com ele, de uma equalização na união das imagens. Essa equalização nada mais é do que uma readequação do histograma da imagem.

O Mosaico e a Equalização das Imagens foram feitas no *PCI Geomatica* usando o produto da normalização de melhor qualidade. No software *PCI* a extensão que realiza a mosaicagem, o *OrthoEngine*, possibilita a realização de mosaicos automáticos, com linhas de corte automáticas e, com o mínimo de alteração radiométrica possível nas imagens. Tais características de mosaico visam não comprometer as análises futuras e

nem correção já feitas, como o caso da correção atmosférica e a normalização radiométrica.

Foram inseridas as 48 imagens normalizadas e mais as 8 imagens de referência para a criação do mosaico data a data. A mosaicagem automática do software já une todas as bandas em um único processamento, o que facilita o processamento (Figura 36).

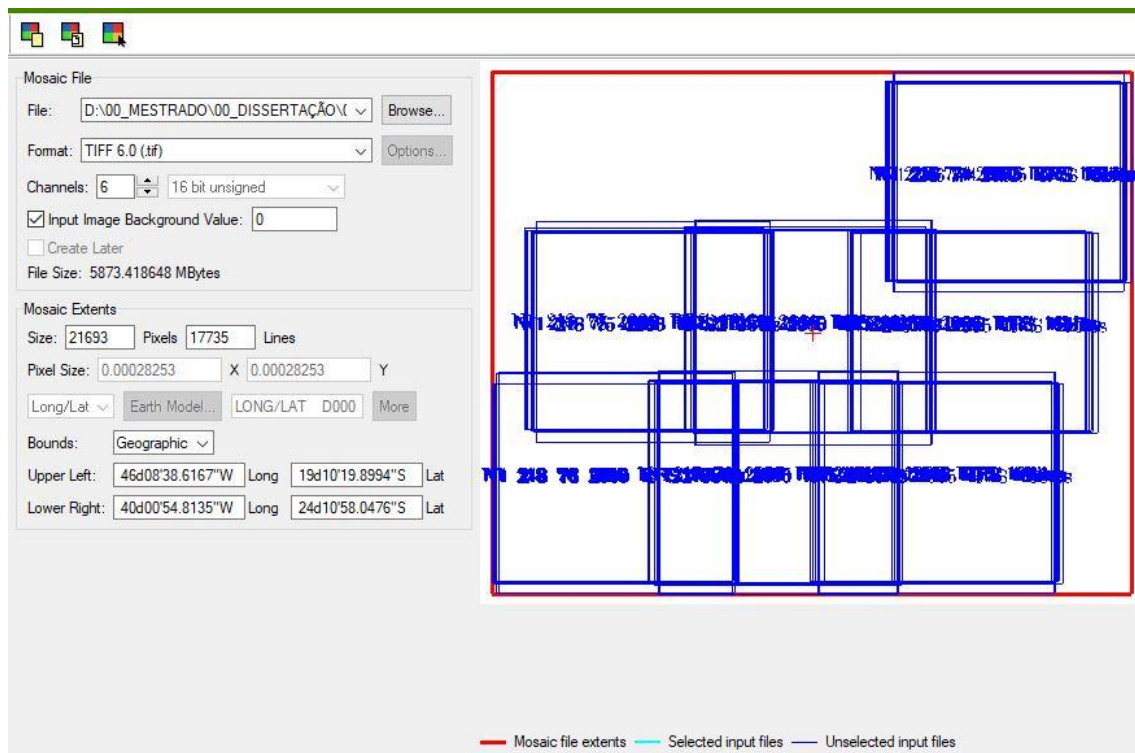


Figura 36 - Mosaicagem no PCI Geomatica – Fonte: PCI Geomatica

Quando passamos para a fase de mosaico, duas opções são importantes quando geramos mosaicos automáticos, as linhas de corte entre as sobreposições de imagens vizinhas (cutlines) e a equalização do mosaico ou o balanceamento de cores.

No PCI as duas etapas podem ser escolhidas pelo usuário, nesse trabalho em todos processamentos de mosaicagem foram usados o balanceamento de cor por agrupamento ou Bundle e a geração de Cutlines pela diferença relativa mínima (Figura 37).

O método de equilíbrio de cores Bundle é recomendado para a maioria dos mosaicos de imagem. Ele usa duas etapas principais para equilibrar o mosaico geral. A primeira etapa calcula as estatísticas de todas as áreas de imagem sobrepostas após a

remoção automática de anomalias nos dados, como nuvens, neve e assim por diante. Um ajuste de cores é aplicado globalmente para minimizar as diferenças gerais entre todas as áreas sobrepostas. Isso ajusta a média, o brilho e o contraste, no fim algumas pequenas diferenças na sobreposição de áreas que não foram removidas permanecerão; no entanto, haverá menos do que originalmente.

Para as cutlines, a diferença relativa mínima coloca as linhas de corte em áreas onde há a menor quantidade de diferença nos valores de gradiente entre as imagens.

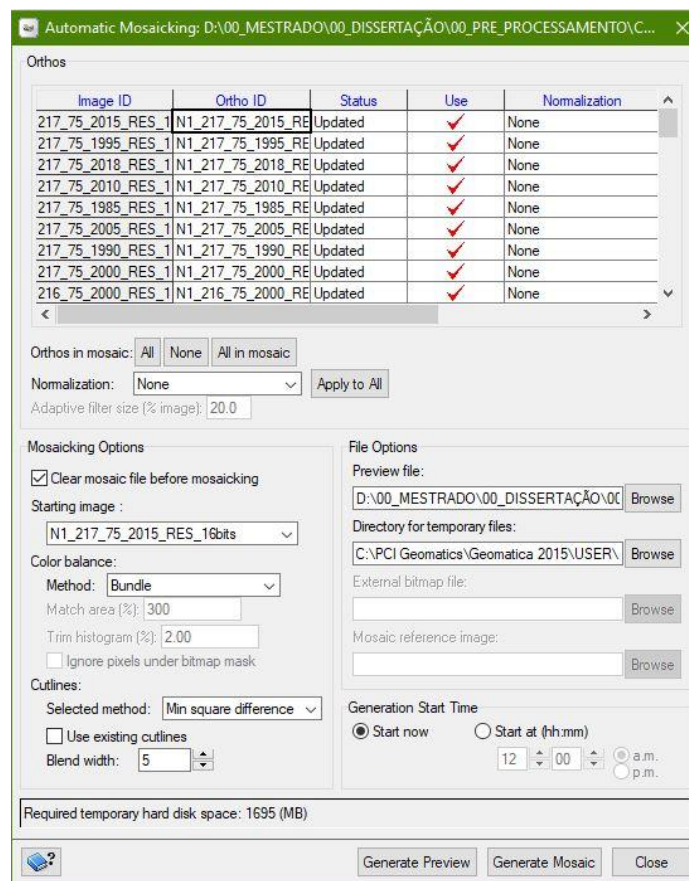


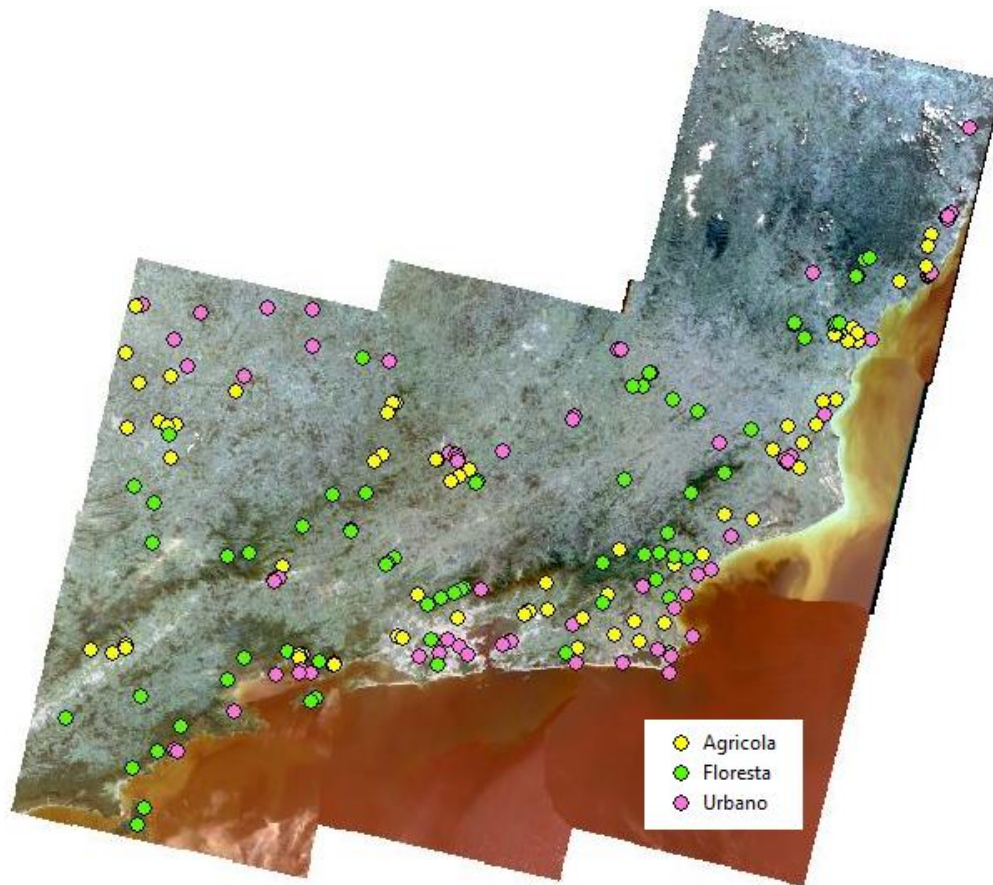
Figura 37 - "Caixa de variáveis" para a mosaicação

Por fim, ao final dessa etapa passamos de 56 imagens para 8 mosaicos que representam o recorte espacial e temporal por inteiro do trabalho.

### 3.2.5. Validação

Para a validação de todos os processos realizados nesse capítulo, foram

necessários a coleta de 30 pontos divididos igualmente nas classes Gramíneas/Áreas Agrícolas, Florestas e Áreas Urbanas. Esses quarenta pontos foram coletados em cada cena que contempla área de estudo, assim totalizando 210 pontos. Como esses pontos precisam estar preparados para a validação tanto da correção atmosférica, normalização radiométrica e para a equalização, todos os pontos coletados são invariantes dentro do recorte temporal adotado, assim poderiam ser usados para a validação das três etapas (Figura 38).



*Figura 38 - Pontos de Validação*

A partir dos pontos foram extraídos os valores da radiometria dos pixels correspondentes e para a análise e a construção de gráficos foi feita a média entre os valores de pontos da mesma classe, assim dando origem a um único valor médio para cada processamento que pode ser analisado.



### 3.3. Resultados e Discussões

Em cada uma das etapas do pré-processamento, os processos resultaram em muitos produtos. Para entendermos os resultados e explicita-los de maneira objetiva, serão apresentados os mais relevantes.

Primeiramente, a correção atmosférica deu origem a uma gama de 56 imagens que foram comparadas com as imagens brutas e com as imagens convertidas para TOA. Para exemplificar o resultado dessa etapa temos a comparação entre a imagens referentes a cena 217\_75, para o ano de 2010, que foi o ano de referência para a normalização radiométrica. Assim, na Figura 39 podemos ver os gráficos das três imagens (imagem bruta, TOA e corrigida atmosféricamente) feitos a partir da média de pontos de áreas agrícolas, florestas e áreas urbanas.

Os dados apontam que a absorção foi corrigida nas bandas do infravermelho. Tal correção é crucial na geração dos índices radiométricos que serão necessários nesse trabalho. Outra característica que pode ser observada nos gráficos é que o espalhamento na banda azul também foi corrigido.

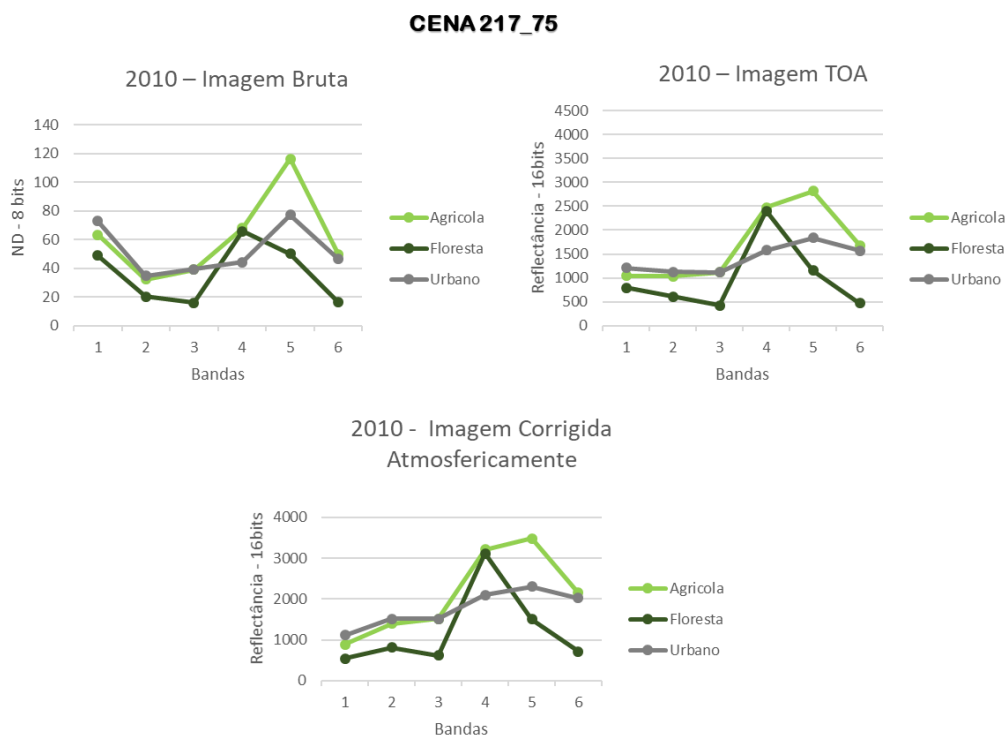


Figura 39 - Gráficos de validação da Correção Atmosférica, ano de 2010: CENA 217\_75

Importante salientar ainda o quanto a conversão para TOA é importante para o ajuste da curva e para a comparação das imagens corrigidas e não corrigidas, já que as imagens brutas do sensor TM estão em 8 bits, enquanto os valores do PCI pra as correções e conversão saem em 16bits. E os gráficos mostram ainda que só a conversão para TOA, já traz uma melhoria considerável para as curvas espectrais dos alvos.

Analisando as correções feitas a partir das imagens OLI, o espalhamento das bandas do visível na imagem bruta são corrigidos já na conversão para TOA e mais precisamente a do azul são corrigidas na correção atmosférica. Todos os gráficos podem ser vistos no ANEXO 1 ao fim da dissertação.

Após a correção atmosférica foi realizada a normalização. Dois conjuntos de gráficos são apresentados aqui, neles é possível verificar as curvas dos alvos já selecionados como alvos invariantes, para todos os anos em análise. Além disso, foram feitas comparações dessas curvas entre as imagens TOA, corrigida atmosféricamente (COA) e para as três normalizações realizadas.

O primeiro conjunto de gráficos na Figura 40 nos mostra os resultados dos processamentos da CENA 216\_76, nele observa-se a quão necessária é a normalização radiométrica para os estudos integrados de detecção de mudanças. As imagens TOA e COA têm curvas de pontos invariantes que não são semelhantes, tendo desvios em diversas bandas que somente o processo de normalização atenua.

A normalização radiométrica apresenta resultados expressivos de conjunção das curvas das imagens normalizadas para a curva da imagem de referência, não só nas áreas de cobertura florestal, mas também nas amostras de áreas agrícolas e áreas urbanas.

Do mesmo modo, verifica-se o quanto as curvas ficaram bem ajustadas à imagem de referência, e o quanto essa imagem de referência corresponde à realidade do alvo.

O primeiro conjunto de gráficos foi escolhido porque, além de representar muito bem as melhorias da normalização, mostra que nesse caso, as diferentes normalizações apresentaram resultados próximos, com diferença na casa de dezenas apenas, o que configura pouca mudança nos resultados dos métodos.

### CENA216\_76

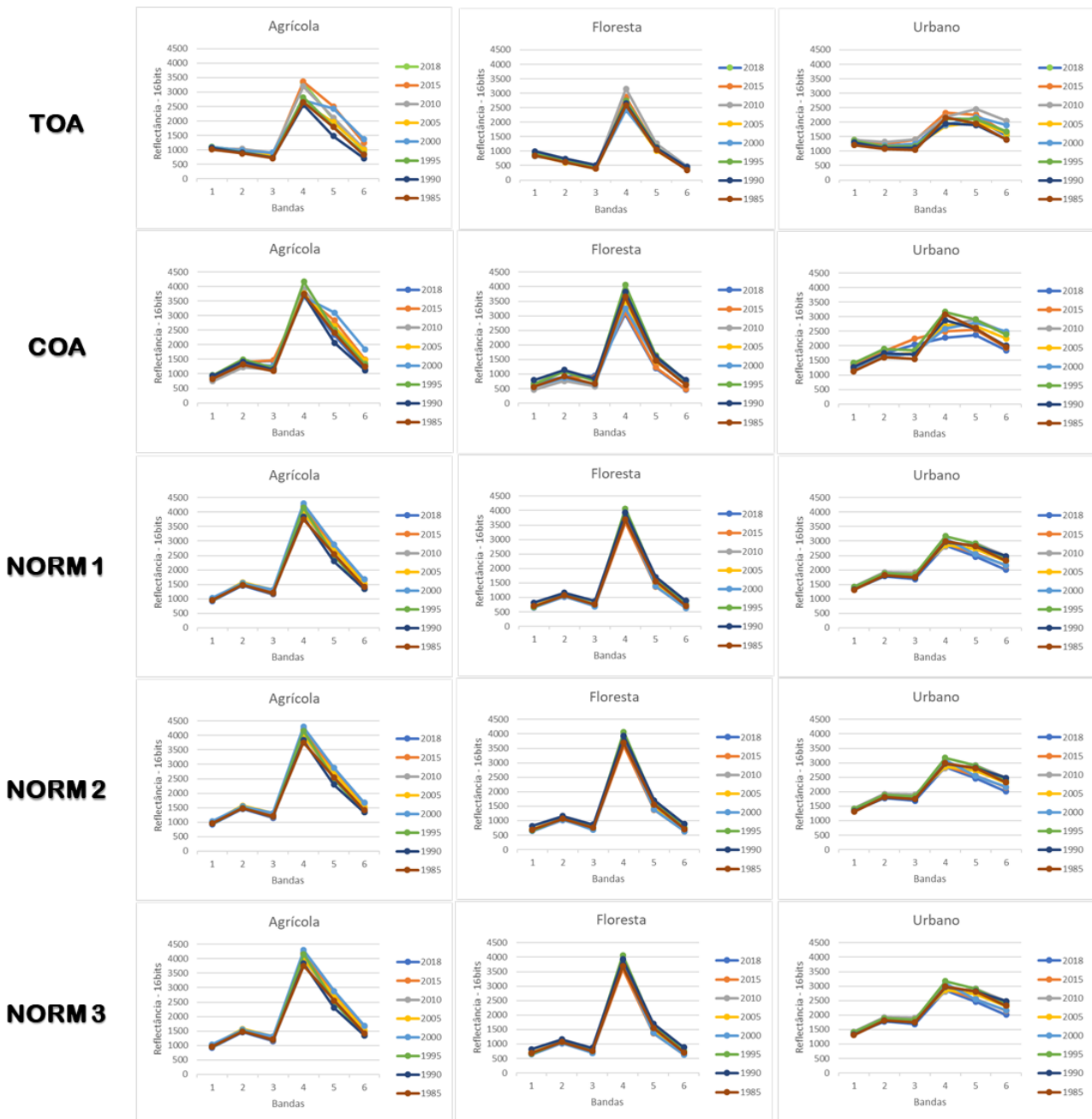


Figura 40 - Gráficos de Comparação de Ajustamento de Curvas: CENA 216\_76

O segundo conjunto de gráficos, apresentado na Figura 41, diz respeito aos pontos da CENA 218\_75, e ratificam a importância da normalização, com resultados ainda melhores na semelhança das curvas espectrais entre as datas.

Nesse segundo conjunto de gráficos, diferente do primeiro, é possível perceber o quanto os métodos de normalização podem dar resultados diferentes. O método de

normalização que usa a imagem bruta (NORM 1) deu melhores resultados que o método com as imagens corrigidas atmosféricamente e o método com o uso das imagens convertidas pra TOA.

### CENA218\_75

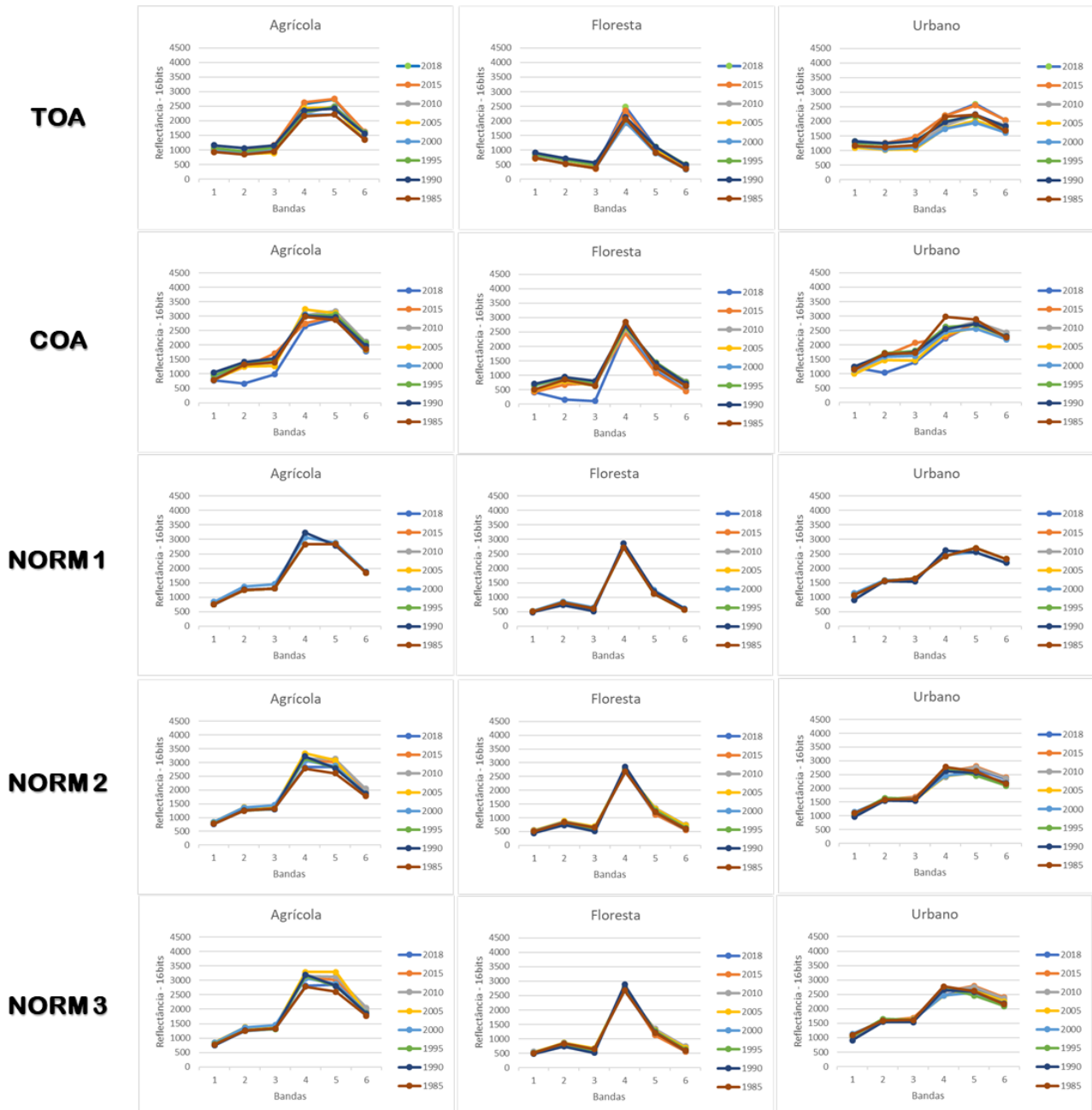


Figura 41- Gráficos de Comparação de Ajustamento de Curvas: CENA 218\_75

Com todas as análises, apresentadas aqui e no ANEXO 2, é possível verificar um certo padrão. Na maioria das cenas os métodos de normalização deram resultados

semelhantes, com as curvas dos alvos bem encaixadas e poucas mudanças. Já nos casos em que os resultados de normalização não foram semelhantes todos apresentaram padrão geral igual ao apresentado na cena 218/75, onde o método NORM1 foi mais eficaz que os demais.

Desse modo duas respostas são dadas: (1) Não é necessário fazer a correção atmosférica de todas as imagens para a realização da normalização radiométrica, somente uma é suficiente, esta serve de imagem de referência e todas as outras podem estar no nível de processamento entregue pela USGS. (2) Como o método NORM 1 foi o que ajustou as curvas em todas as cenas, seus produtos foram escolhidos para servirem de matéria prima para a mosaicagem e equalização.

Validada e escolhida a melhor normalização e feita a mosaicagem e equalização a partir dessas imagens, passa-se a validação final dos 8 mosaicos para entender se a mosaicagem não muda as curvas bem encaixadas da normalização radiométrica bem-sucedida que podem ser vistos nas Figuras 42, 43 e 44.

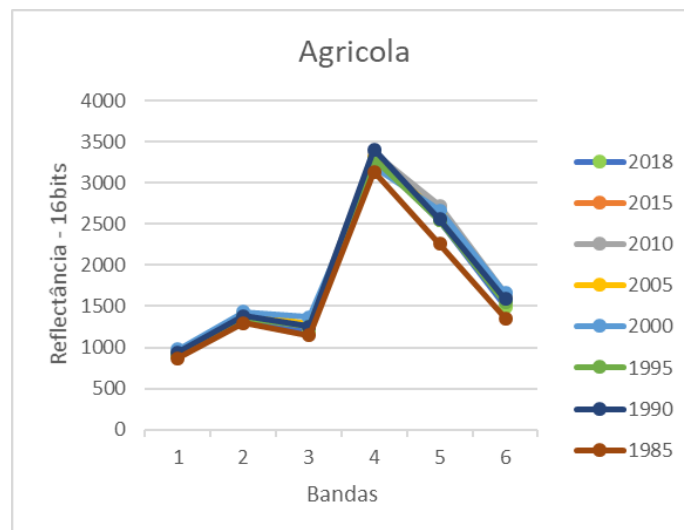


Figura 42 - Gráfico de Validação Radiométrica do Mosaico - Classe: Agrícola

Analisando gráfico por gráfico das curvas dos 210 pontos invariáveis em todo mosaico, para cada classe, temos que cobertura que nos trouxe melhor resultado a partir desse pré-processamento é a cobertura florestal, assim como vimos nas validações da normalização radiométrica onde ela foi a curva que deu mais ajustamento entre os anos, continuou assim depois do mosaico.

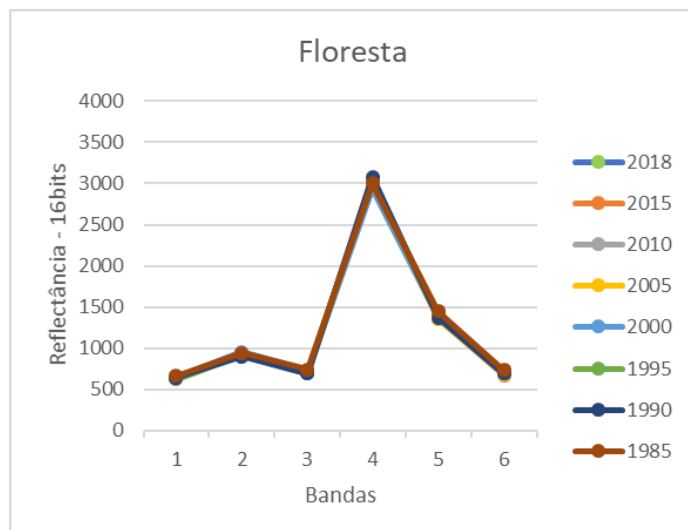


Figura 43- Gráfico de Validação Radiométrica do Mosaico - Classe: Floresta

Já as coberturas agrícolas e urbanas se mantiveram como na normalização radiométrica, tendo pequenas variações. Essas variações continuaram aparecendo nas bandas do infravermelho, mas mesmo nelas as curvas ficaram mais próximas do que a hipótese de usar imagens brutas ou somente com a correção atmosférica.

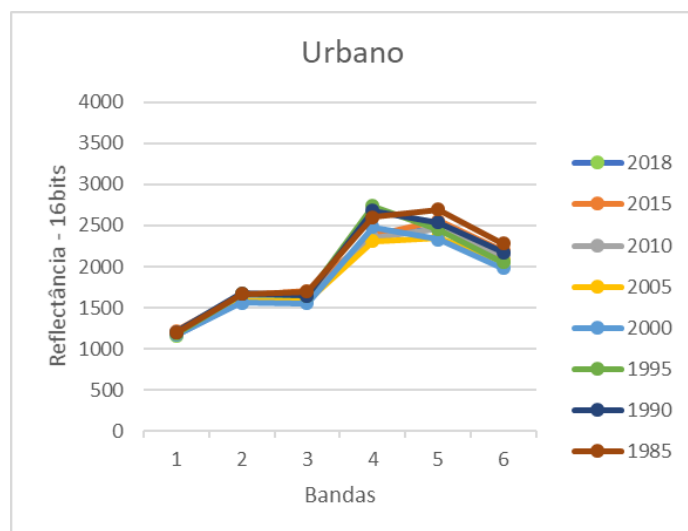
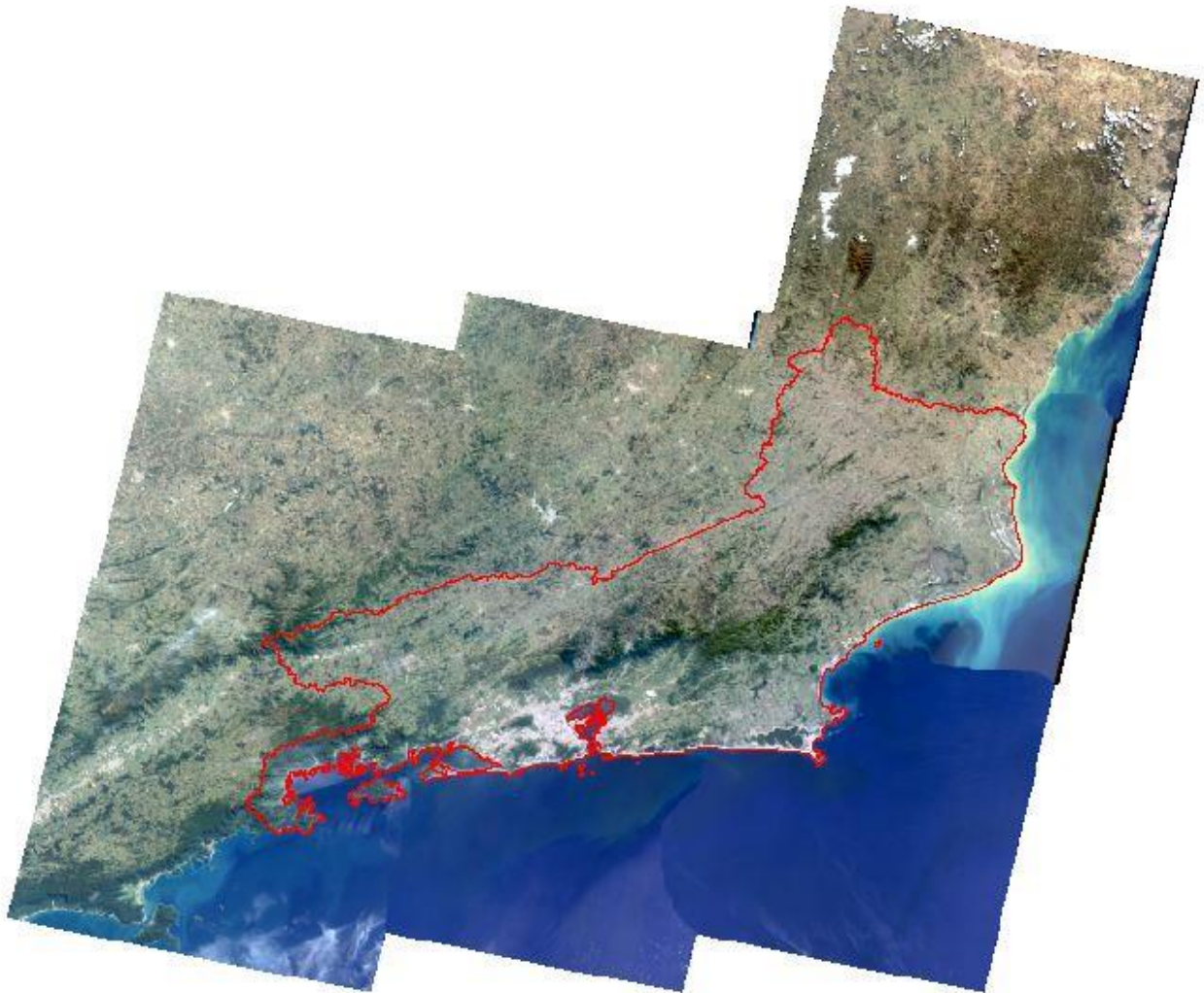


Figura 44- Gráfico de Validação Radiométrica do Mosaico - Classe: Urbano

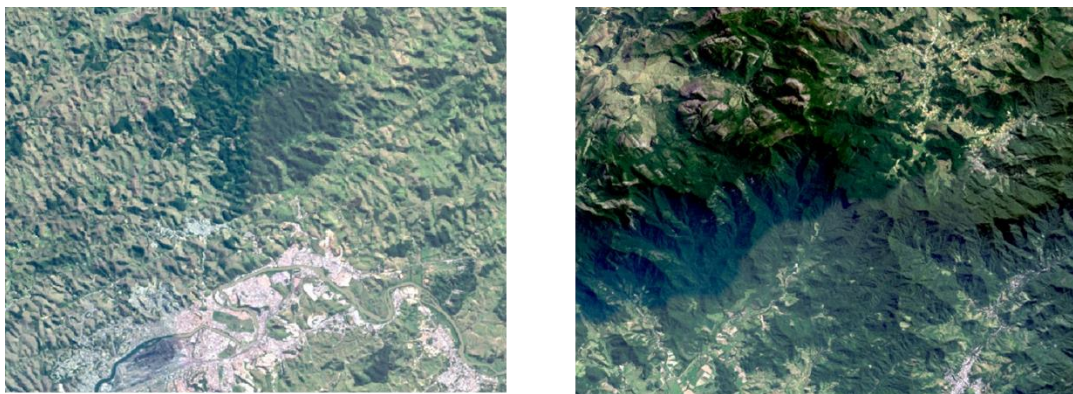
Dessa forma em questões de variações multitemporais os mosaicos não alteraram os processos precedentes.

Os desafios dos mosaicos continuam sendo a equalização entre as imagens. O balanço de cor para uma visualização homogênea do recorte temporal ainda é um desafio que precisa ser melhor explorado, na Figura 45 vemos o mosaico do ano de 2015, que apresentou bons resultados espectrais, mas ainda com ruídos devido as diferenças entre as cenas para um grande recorte como o da área de estudo. Todos os outros mosaicos podem ser vistos no ANEXO 3 no fim da dissertação.



*Figura 45 - Mosaico - ANO de 2015*

Para exemplificar melhor, foram trazidas um conjunto de imagens apresentadas na Figura 46 que mostram o desbalanço de cores do mosaico nas linhas de corte, que fica ainda mais expressivo nas áreas agrícolas, mas que também aparecem em áreas de vertentes montanhosas e na coloração da floresta.



*Figura 46 - Áreas de Linha de Corte do Mosaico*

### 3.4. Conclusão

Ao fim desse capítulo podemos concluir através dos resultados apresentados que o pré-processamento de imagens é muito importante quando falamos de estudos multitemporais. Sem essa etapa as análises feitas podem ser incoerentes, tanto por problemas geométricos, como por questões radiométricas relacionadas as imagens.

No âmbito radiométrico, as imagens ainda necessitam de bastantes cuidados antes de passarmos para o PDI propriamente dito, mas que depois de todas as etapas que foram realizadas nesse capítulo, as imagens tornam-se bem adequadas para análises multitemporais, mas que essas etapas ainda requerem aprimoramento, principalmente no método de mosaicagem, que é uma etapa muito complexa e de difícil realização, principalmente no balanceamento de cores, para uma adequada equalização.

Esse pré-processamento mostrou o quão demorado é a fase de preparação dos dados, o que nem sempre é feito devido ao gasto de tempo, mas como demonstrado e explicitado aqui é a forma mais segura de se iniciar processamentos digitais.

Os resultados obtidos foram considerados promissores, embora ainda haja necessidade de aperfeiçoar algumas etapas desse pré-processamento radiométricos. Todos os mosaicos se apresentaram espectralmente semelhantes o que é um grande avanço para esse estudo. Os maiores problemas ainda se encontram nas áreas agrícolas principalmente nas bandas de ondas mais longas, que ainda é o grande desafio tanto da normalização, quando da equalização.



## DESCRITORES DINÂMICOS E ABORDAGEM HÍBRIDA PARA ESTUDOS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS

### 4.1. Introdução

A dinâmica presente no espaço geográfico, é pautada muitas vezes em práticas não sustentáveis de uso dos recursos naturais, tende a provocar alterações ambientais complexas, levando a degradação da paisagem e de ecossistemas.

De acordo com MENKE et al. (2009), uma das mais modernas ferramentas utilizadas para o monitoramento ambiental são os produtos de sensoriamento remoto. Ferramentas que permitem, por exemplo, análises quantitativas das alterações na paisagem ocasionadas pelos diferentes padrões de uso e ocupação da terra ao longo do tempo, mais conhecidas como a detecção de mudanças.

Como já descrito no Capítulo 1, a detecção de mudanças é o processo de identificação de diferenças no estado de um objeto ou fenômeno, observando-o em momentos diferentes (SINGH, 1989). Esse método é considerado uma forma de precisa identificação e de compreensão das alterações das características da superfície terrestre. De acordo como LU et al. (2010) a detecção de mudanças fornece diversas informações que são uteis para a análise espaço-temporal de uma área, são elas: (1) os quantitativos e as taxas de área modificada; (2) distribuição espacial das mudanças; (3) trajetórias das mudanças; e (4) precisão avaliativa da detecção de mudanças.

Ainda de acordo com mesmo autor um projeto que visa detectar as mudanças possui três etapas: (1) o pré-processamento de imagem, abordado no capítulo anterior; (2) seleção de procedimentos adequados para implementar análises de detecção de mudanças e; (3) avaliação de precisão da própria detecção. Os dois últimos serão os desafios desse capítulo.

Os diversos métodos de detecção de mudança são agrupados em sete categorias segundo LU et al. (2010) são elas a Álgebra, a Transformação, a Classificação, os

Modelos Avançados, as Abordagens com Sistemas de Informação Geográfica, a Análise Visual e por fim os Outros Modelos. O nível de complexidade de cada técnica de detecção está ligado a seu recorte temático, espacial e temporal.

Assim esse capítulo tem como objetivo a identificação de algoritmos de detecção de mudanças a partir de métodos híbridos de detecção.

## 4.2. Materiais e Métodos

A partir dos 8 mosaicos criados no capítulo anterior foi realizada a metodologia desse capítulo. Primeiramente a criação de descritores dinâmicos e uma classificação de legenda simples de mudança e não mudança a partir de métodos híbridos e pôr fim sua validação a partir de uma análise estatística.

De forma sucinta o método está sendo mostrado no Fluxograma apresentado na Figura 47 que se encontra abaixo

Devido aos complexos padrões de mudanças na paisagem, e seus registros espectrais, selecionar um algoritmo adequado para uma análise espaço-temporal específica não é tarefa simples. Algumas técnicas, como a diferenciação de imagens, podem fornecer informações sobre mudança / não mudança ou padrões simples, enquanto outras técnicas, como a comparação de classificações temáticas pode fornecer uma matriz completa de trajetórias de mudança (LU et al. 2010).

A abordagem escolhida para esse trabalho foi a de Classificação, onde a técnica específica é a de classificação híbrida, que consiste no uso de atributos tanto do pixel como do objeto geográfico - associado a Classificação Orientada a Objetos Geográfico (VICENS et al., 2016). Por conta do uso de valores extraídos dos pixels, será necessário também o uso de técnicas da abordagem da Álgebra de Imagens para a criação de descritores temporais que melhor se ajustem a legenda dinâmica usada.

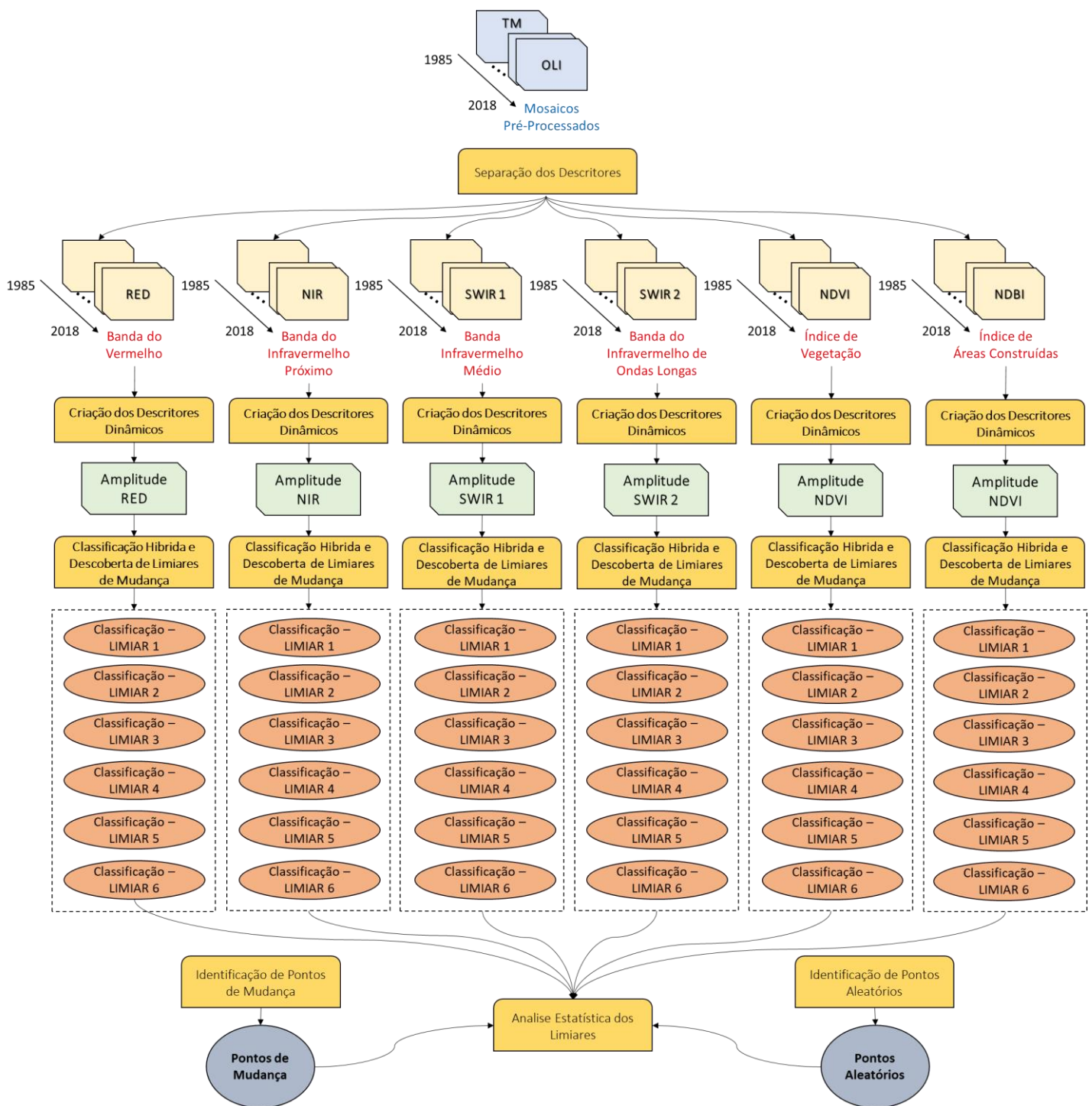


Figura 47 - Fluxograma Metodológico de Análise de Descritores Dinâmicos

#### 4.2.1. Descritores Dinâmicos de Mudança

Interpreta-se como descritor dinâmico, a variável que consegue descrever a dinâmica da cobertura de modo que possamos entender suas transformações ao longo do tempo, como por exemplo a dinâmica urbana ou a dinâmica dos oceanos. Unindo essa

ideia ao sensoriamento remoto podemos conceber que os descritores dinâmicos são as variáveis que nos indicam a dinâmica de alvos a partir de suas características espectrais ao longo do tempo.

Assim, pode-se haver descritores dinâmicos de diferentes conjunturas, mas que precisam de uma componente temporal intrínseca a ele. Essa componente temporal pode ser dada pela aritmética básica entre as imagens de uma mesma área em momentos diferentes, como soma ou divisão da resposta dos pixels dessas mesmas imagens. Essas variáveis podem ser simples como as próprias bandas espectrais das imagens ou mais complexas como os índices radiométricos.

#### 4.2.1.1. Índices Radiométricos

Os índices radiométricos são medidas capazes de identificar e realçar em imagens de satélites determinados tipos de informações, tais como áreas edificadas, cobertura vegetal, cursos d'água, solo exposto, entre outros, além da normalização contribuir na redução de ruídos e efeitos de iluminação (FRANÇA et al., 2012). Esses índices também fornecem parâmetros capazes de detectar e separar alvos compostos de materiais diferentes. Muitos deles foram criados para fins distintos e específicos. Para esse trabalho os índices radiométricos calculados são os índices normalizados de vegetação e de áreas construídas, respectivamente, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Figura 48), como seu próprio nome diz, é um índice extraído pela razão entre bandas, cujo objetivo é destacar a vegetação e as possíveis diferenças espectrais dessa classe. Para isso, há a utilização de uma banda no espectro do visível (o vermelho) e uma outra no espectro do infravermelho. O NDVI varia de -1 a 1, onde os valores positivos crescentes indicam aumento da vegetação verde, e os negativos indicam as superfícies sem vegetação (FRANÇA et al., 2012).

$$NDVI = \frac{\text{Infravermelho Proximo} - \text{Vermelho}}{\text{Infravermelho Proximo} + \text{Vermelho}}$$

Figura 48 - Fórmula do NDVI

Já o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI), que está apresentado na Figura 49, é um índice radiométrico desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas, tendo como base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio. (FRANÇA et al., 2012).

$$NDBI = \frac{\text{Infravermelho Medio} - \text{Infravermelho Proximo}}{\text{Infravermelho Medio} + \text{Infravermelho Proximo}}$$

*Figura 49 - Fórmula do NDBI*

Pelo exposto, os referidos índices foram escolhidos por sua sensibilidade a duas classes muito contrastantes espectralmente e, prioritárias para se estudar a dinâmica de remanescentes florestais da Mata Atlântica.

#### **4.2.1.2. Álgebra de Imagens Digitais**

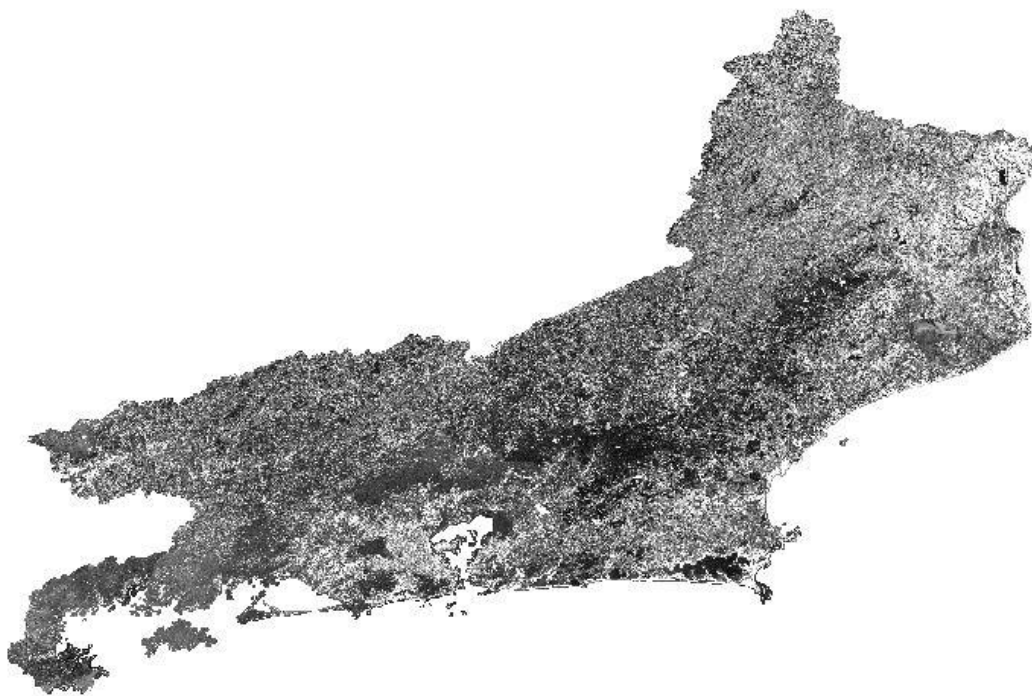
A álgebra de imagens digitais como uma forma de criação de algoritmos de detecção de mudanças se apresenta de acordo com LU et al. (2010) pela aritmética de imagens, regressão de imagens, razão de imagens, aritmética de índices de radiométricos, análise de mudança de vetor (CVA) e subtração de fundo. Esses algoritmos são relativamente simples, fáceis de implementar e interpretar.

A Aritmética básica de bandas ou índices radiométricos é uma formulação algorítmica de processamento de imagens que pode apresentar resultados expressivos. Considerado um processo bastante rápido para ajustar e suavizar imagens muito ruidosas ou ainda, para se obter realces de toda a área de uma imagem ou de alvos específicos.

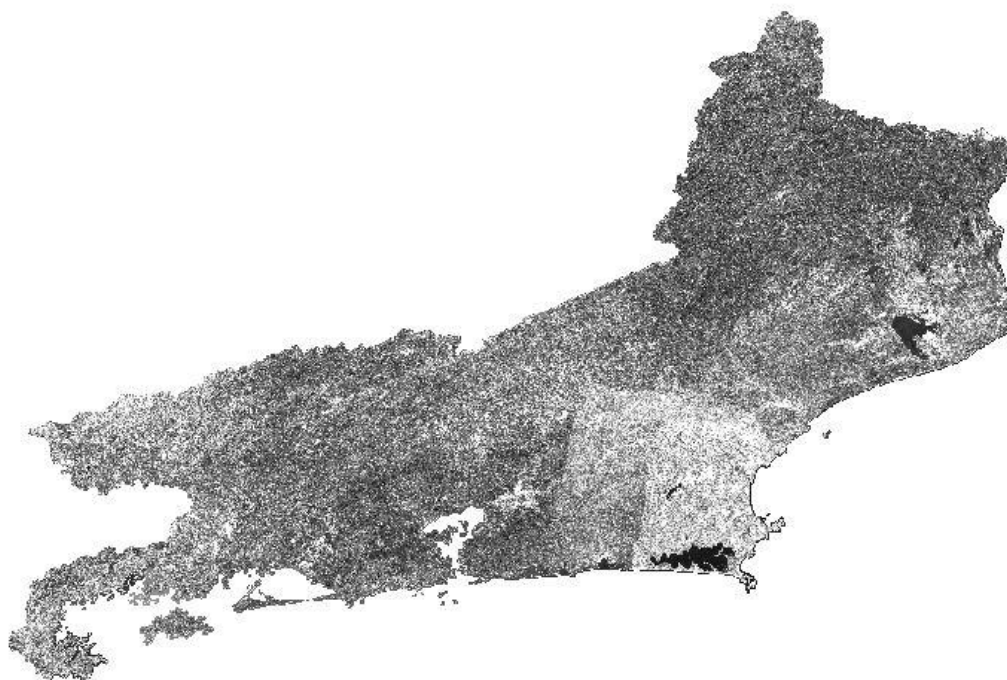
As operações aritméticas realizam um processamento de transformação dos dados a partir da combinação de imagens, como resultado tem-se uma nova imagem diferente das imagens de entrada. O processo de transformação é executado pixel a pixel por meio de uma regra matemática pré-definida envolvendo, normalmente, no mínimo duas bandas do mesmo sensor ou bandas de datas de aquisição diferentes. Dependendo da operação, ela se apresenta como um recurso para reduzir o número de imagens, o que é uma vantagem em termos de armazenamento e processamento.

Para fins de descritores dinâmicos, a subtração de imagens é uma operação de grande recurso prático, que pode também se apresentar como a amplitude de imagens quando os intervalos de observação da paisagem são maiores que dois momentos distintos, já que a amplitude é uma medida de dispersão que nos dá a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo num conjunto de imagens.

Com isso a partir das bandas do Vermelho (RED), Infravermelho Próximo (NIR) e as duas bandas do Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR 1 e SWIR 2), e também a partir dos índices radiométricos NDVI e NDBI dos oito mosaicos foram criadas as amplitudes para cada uma das bandas e índices na ferramenta *Cell Statistics* no *ArcMap 10.5*. Essa amplitude foi calculada de pixel a pixel para cada imagem, registrando a diferença entre os maiores e menores valores (de cada pixel ao longo do tempo), dando origem a seis descritores dinâmicos que a partir de seus valores podem representar as dinâmicas do recorte espacial durante todo o recorte temporal de estudo. Para melhor exemplificar como os descritores dinâmicos funcionam, as Figuras 50 e 51 representam a imagem gerada com os cálculos da amplitude da banda do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente. Todos os outros descritores se encontram no ANEXO 4 ao final dessa dissertação.



*Figura 50 - Amplitude da Banda do Vermelho*



*Figura 51- Amplitude da Banda do Infravermelho Próximo*

Nas duas figuras, os valores escuros representam os valores mais baixos (próximos a 0) e podem ser interpretados como áreas de não mudança, já os valores mais claros representam as áreas de mudança.

Pode-se observar também que a amplitude criada a partir do infravermelho próximo sofreu problemas causados possivelmente pela construção dos mosaicos do capítulo anterior, o que pode arretar alguns problemas nos resultados desse descritor.

#### **4.2.2. Abordagem híbrida - do Pixel ao Objeto**

Com os descritores dinâmicos devidamente construídos, passou-se para a fase de classificação digital onde se utilizou o software *eCognition Developer* um software consagrado pela sua diversidade de opções em projetos usando GEOBIA (Classificação baseadas em Objetos Geográficos). Na abordagem GEOBIA, a classificação baseada em objetos traz vantagens em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagens (por pixel), justamente pela consideração das regiões de pixels, ao invés de pixels isolados. Deste modo, descreve-se cada região de acordo com as características do objeto

como área, altura, largura, densidade, altura da borda, textura, relações entre objetos vizinhos, entre outros (HAY & CASTILLA, 2008). Através do GEOBIA, obtém-se um aumento significativo no número de variáveis que podem ser consideradas na classificação, pois esta não se fundamenta exclusivamente em informações espectrais.

A abordagem de classificação híbrida, consiste no uso de produtos provenientes de álgebra dos pixels das imagens originais, para a construção de objetos geográficos a partir de uma segmentação única, onde esses objetos herdam as características das imagens processadas no nível do pixel. Essa abordagem se caracteriza pela vantagem de termos adoção de diferentes atributos dos objetos da imagem e dos realces de descritores espectrais que auxiliam na extração de informações para a construção de modelos de classificação. Nesse caso a criação dos objetos geográficos foram realizadas somente pelas imagens realçadas desses descritores gerados.

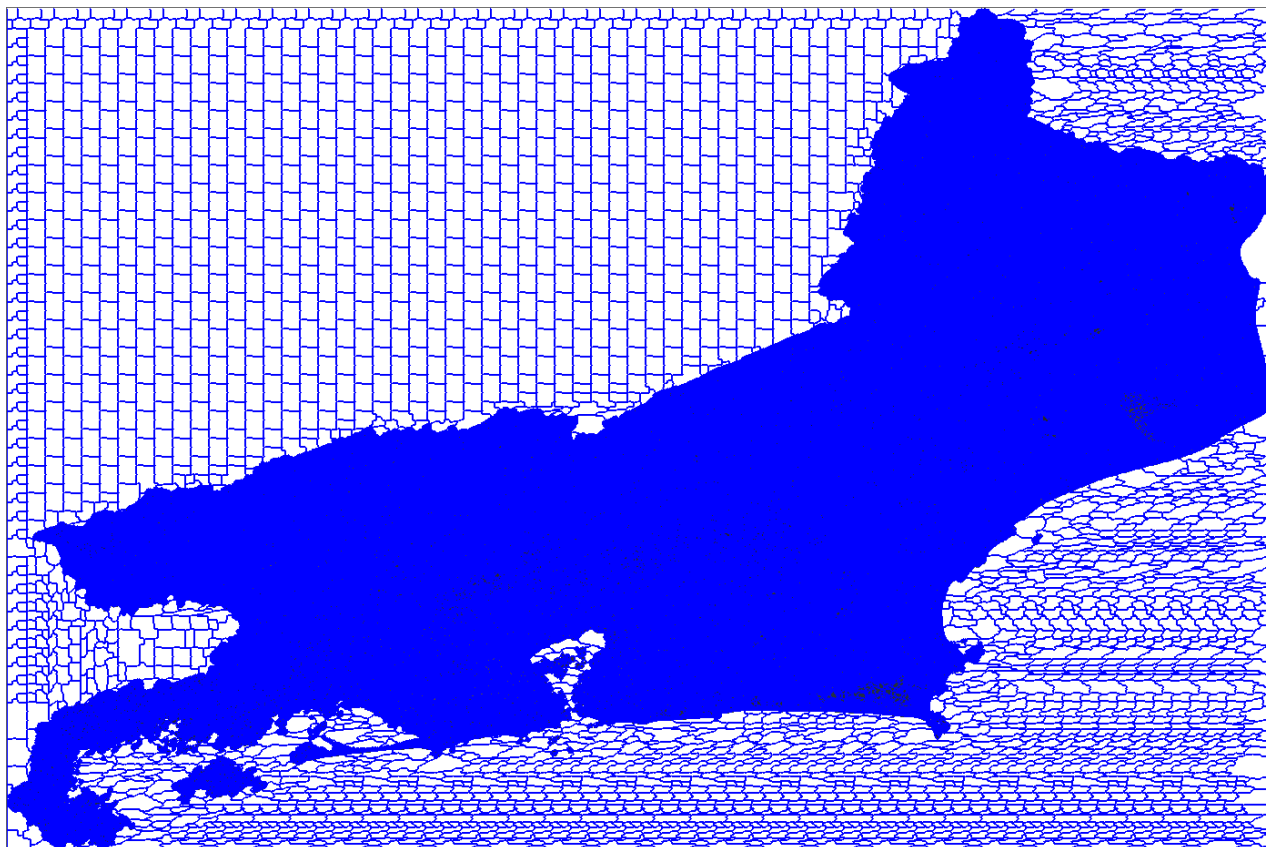
Nesse trabalho foram inseridos no programa as seis imagens de amplitude para a realização do processamento e classificação, além dos mosaicos de 1985 e 2018 para análises visuais.

#### 4.2.2.1. Segmentação Multitemporal

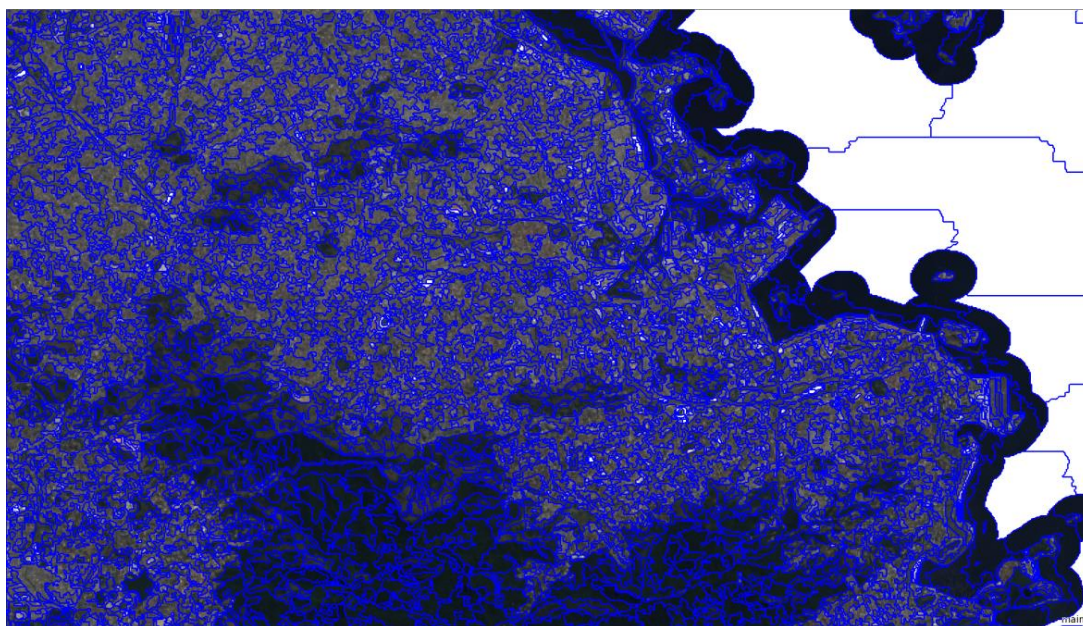
No *eCognition* a forma de criação dos objetos geográficos é a segmentação. Essa é um processo que subdivide uma imagem em agrupamentos de pixels constituintes que chamamos de segmentos. O nível de abrangência e de detalhe que os segmentos de um projeto devem ter está ligada ao problema a ser resolvido (GONZALEZ & WOODS, 2000). Uma segmentação é adequada a um projeto quando os objetos de interesse tiverem sido isolados em segmentos homogêneos.

A segmentação foi feita considerando as imagens amplitudes inseridas e a partir do algoritmo *Multiresolution Segmentation* com os parâmetros: fator de escala 40, forma 0.1 e compacidade 0.5. Os resultados foram alcançados de forma heurística e comparados a partir de avaliação visual (Figura 52 e 53).





*Figura 52 - Exemplo da Segmentação em toda área de estudo*



*Figura 53 - Exemplo da segmentação em parte da área de estudo*

Para a análise da segmentação considerou-se não só objetos distintos no espaço, mas também no tempo. Visto que esta análise é aplicada espaço-temporalmente. Em

outras palavras, como foram usadas imagens da amplitude dos índices e das bandas ao longo do tempo o que se segmenta são objetos diferentes ao longo do espaço e do tempo, só se fazendo realmente útil para classificações multitemporais. Assim os objetos criados a partir da segmentação tem como característica a dinâmica dos oito intervalos de tempos estudados, além dos descritores adicionados.

### 4.2.3. Análise Exploratória de Descritores Dinâmicos

Como o objetivo desse capítulo é identificar e entender como cada descritor se comporta como um algoritmo de detecção de mudança, uma chave de interpretação mais simples foi construída dando origem a duas classes. Assim, num primeiro momento o objetivo era a identificação de classes de MUDANÇA e NÃO MUDANÇA, onde se propôs de forma heurística e exploratória, fazer a descoberta do melhor descritor e limiar de mudança para a área de estudo de modo geral, ainda sem considerar o objeto de estudo que é a floresta.

Nessa análise exploratória, para cada descritor foram impostos seis limiares que classificariam as mudanças, sendo a não-mudança atribuída às áreas não classificadas. Os 6 limiares, apresentados na figura 54, são um conjunto resultante da consideração de limiares propostos por AMARAL (2017); ABREU (2018), além de novos limiares próximos para a exploração de novos testes.

A partir disso foram geradas 36 classificações com as classes especificadas acima, que tinha como objetivo a identificação de mudanças abruptas da paisagem, como o desmatamento, expansão urbana entre outras. (Figura 54).

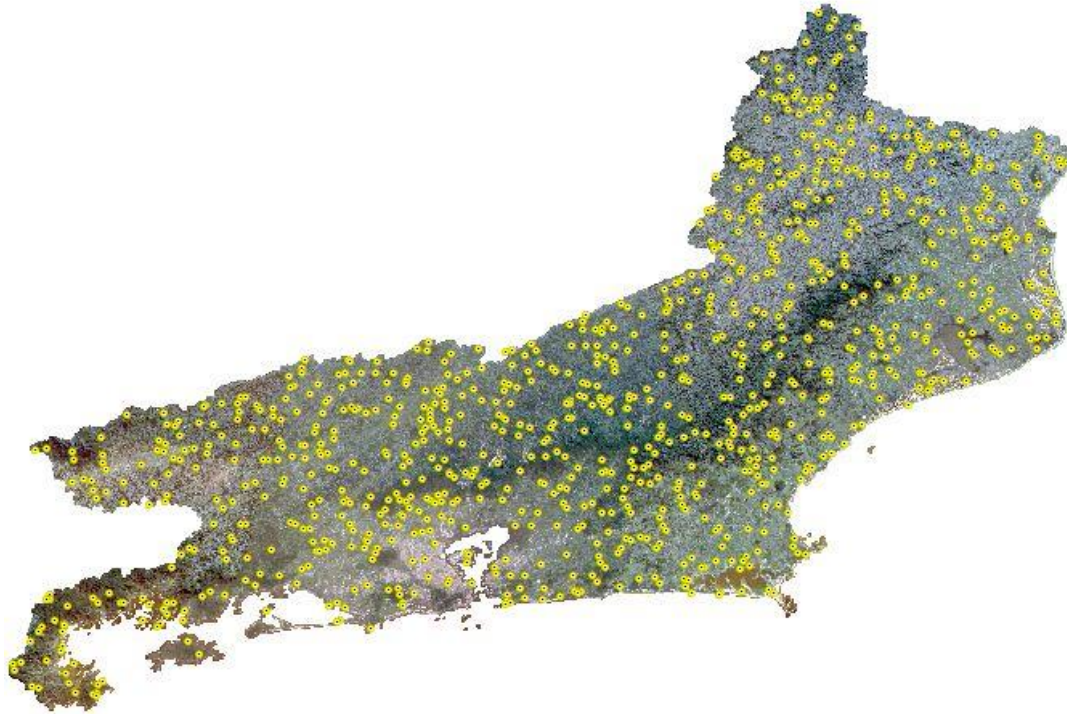
Podemos observar que todos os limiares são relativamente, dentro dos seus valores de amplitude, próximos de 0, já que hipoteticamente uma imagem que não sofreu mudanças durante um período de tempo deve ter respostas espectrais semelhantes ou idênticos em todas as datas e assim suas diferenças necessariamente deveriam ser próximas de 0. E nos índices radiométricos além de 0 essa diferença pode dar 2, devido aos valores negativos, logo nesses casos como mostrado na Figura 54, foram construídos dois modelos unidos.

O processo de verificação da exatidão das classificações de cada descritor foi realizado de duas maneiras. O primeiro foi através do método de pontos aleatórios para a análise quantitativa de acertos e erros para cada descritor. Ao todo foram gerados 1000 pontos (Figura 55) que foram identificados por análise visual dos mosaicos dos intervalos de estudo, como mudança ou não mudança.

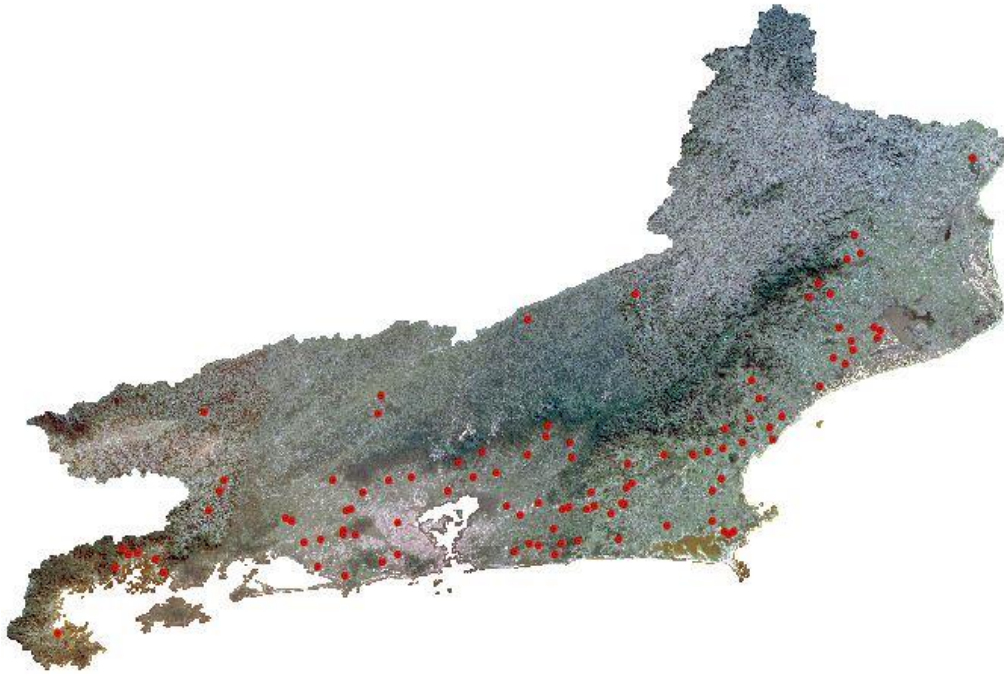
Amplitude NDBI	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIMIAR 1 - 0,3 &lt; Mudança &lt; 1,7</li> <li>LIMIAR 2 - 0,4 &lt; Mudança &lt; 1,6</li> <li>LIMIAR 3 - 0,5 &lt; Mudança &lt; 1,5</li> <li>LIMIAR 4 - 0,35 &lt; Mudança &lt; 1,65</li> <li>LIMIAR 5 - 0,42 &lt; Mudança &lt; 1,58</li> <li>LIMIAR 6 - 0,45 &lt; Mudança &lt; 1,55</li> </ul>	<p><b>Descritores feitos a partir de índices radiométricos normalizados possuem valores de 0 a 2</b></p>
Amplitude NDVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIMIAR 1 - 0,3 &lt; Mudança &lt; 1,7</li> <li>LIMIAR 2 - 0,4 &lt; Mudança &lt; 1,6</li> <li>LIMIAR 3 - 0,5 &lt; Mudança &lt; 1,5</li> <li>LIMIAR 4 - 0,32 &lt; Mudança &lt; 1,68</li> <li>LIMIAR 5 - 0,35 &lt; Mudança &lt; 1,65</li> <li>LIMIAR 6 - 0,37 &lt; Mudança &lt; 1,63</li> </ul>	
Amplitude NIR	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIMIAR 1 - 1000 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 2 - 1300 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 3 - 1400 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 4 - 1500 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 5 - 1600 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 6 - 2000 &lt; Mudança</li> </ul>	
Amplitude RED	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIMIAR 1 - 500 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 2 - 750 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 3 - 800 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 4 - 850 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 5 - 900 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 6 - 950 &lt; Mudança</li> </ul>	<p><b>Descritores feitos a partir de bandas espectrais possuem valores de 0 a 56536</b></p>
Amplitude SWIR 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIMIAR 1 - 1000 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 2 - 1100 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 3 - 1200 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 4 - 1300 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 5 - 1400 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 6 - 1500 &lt; Mudança</li> </ul>	
Amplitude SWIR 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>LIMIAR 1 - 1000 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 2 - 1100 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 3 - 1300 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 4 - 1500 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 5 - 1550 &lt; Mudança</li> <li>LIMIAR 6 - 1600 &lt; Mudança</li> </ul>	

*Figura 54 - Limiares de Mudança*

Já o segundo método de validação desses descritores foi a identificação e coleta de pontos de mudança em toda a imagem, foram coletados 50 pontos de desmatamentos e 50 pontos de regeneração a partir da análise visual dos mosaicos (Figura 56).



*Figura 55- Pontos Aleatórios para Validação*



*Figura 56 - Pontos de Mudança para Validação*

Mesmo que trabalhoso, optou-se por dois métodos de validação em virtude do receio de que o primeiro método mascarasse os resultados da validação pela predominância de áreas de não mudança no recorte de estudo. Dessa forma, o uso concomitante do método por pontos aleatórios e por pontos já identificados como mudança, dá a segurança no estabelecimento do melhor descritor, sendo este aquele que apresentar a melhor porcentagem para os dois métodos de validação.

Ao fim desse processo de coleta e identificação dos pontos, estes foram comparados com as classificações geradas pelos descritores e seus respectivos limiares. Para a melhor resposta, como dito acima, foi estabelecido que o melhor descritor seria aquele que apresentasse: i) a média entre a porcentagem de acertos gerados pelos pontos aleatórios e os pontos de mudança e; ii) o menor desvio padrão entre os resultados dos dois métodos.

### **4.3. Resultados e Discussões**

Os valores encontrados na análise exploratória são explicitados abaixo pelas Figuras 57, 58, 59, 60, 61 e 62 que são tabelas contendo tanto o valor em porcentagem de acertos dos dois métodos de validação, sua média aritmética e seu desvio padrão.

Sintetizando a análise temos marcados em amarelo os melhores limiares para cada um dos descritores e em verde o melhor limiar do melhor descritor considerando a média e desvio padrão entre todos os outros.

Limiares	Pontos -Aleatórios (%)	Pontos -Mudanças (%)	Média (%)	Desvio Padrão
RED - Limiar 1	70,9	86,0	78,4	10,7
RED - Limiar 2	92,8	69,0	80,9	16,8
RED - Limiar 3	94,5	66,0	80,2	20,1
RED - Limiar 4	95,7	62,0	78,8	23,8
RED - Limiar 5	96,7	54,0	75,3	30,2
RED - Limiar 6	97,5	51,0	74,2	32,9

*Figura 57- Valores Estatísticos RED*

Limiares	Pontos -Aleatórios (%)	Pontos -Mudanças (%)	Média (%)	Desvio Padrão
NIR - Limiar 1	62,4	69,0	65,7	4,7
NIR - Limiar 2	81,2	40,0	60,6	29,1
NIR - Limiar 3	85,2	37,0	61,1	34,1
NIR - Limiar 4	89,1	28,0	58,6	43,2
NIR - Limiar 5	96,8	10,0	53,4	61,4
NIR - Limiar 6	97,3	10,0	53,6	61,7

*Figura 58 - Valores Estatísticos NIR*

Limiares	Pontos -Aleatórios (%)	Pontos -Mudanças (%)	Média (%)	Desvio Padrão
SWIR 1 - Limiar 1	56,7	91,0	73,8	24,3
SWIR 1 - Limiar 2	65,8	87,0	76,4	15,0
SWIR 1 - Limiar 3	73,4	83,0	78,2	6,8
SWIR 1 - Limiar 4	81,1	77,0	79,1	2,9
SWIR 1 - Limiar 5	87,0	73,0	80,0	9,9
SWIR 1 - Limiar 6	91,1	66,0	78,5	17,7

*Figura 59 - Valores Estatísticos SWIR1*

Limiares	Pontos -Aleatórios (%)	Pontos -Mudanças (%)	Média (%)	Desvio Padrão
SWIR 2 - Limiar 1	77,2	82,0	79,6	3,4
SWIR 2 - Limiar 2	84,1	78,0	81,1	4,3
SWIR 2 - Limiar 3	91,6	67,0	79,3	17,4
SWIR 2 - Limiar 4	95,9	52,0	73,9	31,0
SWIR 2 - Limiar 5	96,4	48,0	72,2	34,2
SWIR 2 - Limiar 6	96,7	45,0	70,8	36,5

*Figura 60 - Valores Estatísticos SWIR2*

Limiares	Pontos -Aleatórios (%)	Pontos -Mudanças (%)	Média (%)	Desvio Padrão
NDBI - Limiar 1	67,4	90,0	78,7	16,0
NDBI - Limiar 2	90,4	68,0	79,2	15,8
NDBI - Limiar 3	97,3	46,0	71,6	36,3
NDBI - Limiar 4	82,5	82,0	82,3	0,4
NDBI - Limiar 5	92,3	66,0	79,1	18,6
NDBI - Limiar 6	94,0	57,0	75,5	26,1

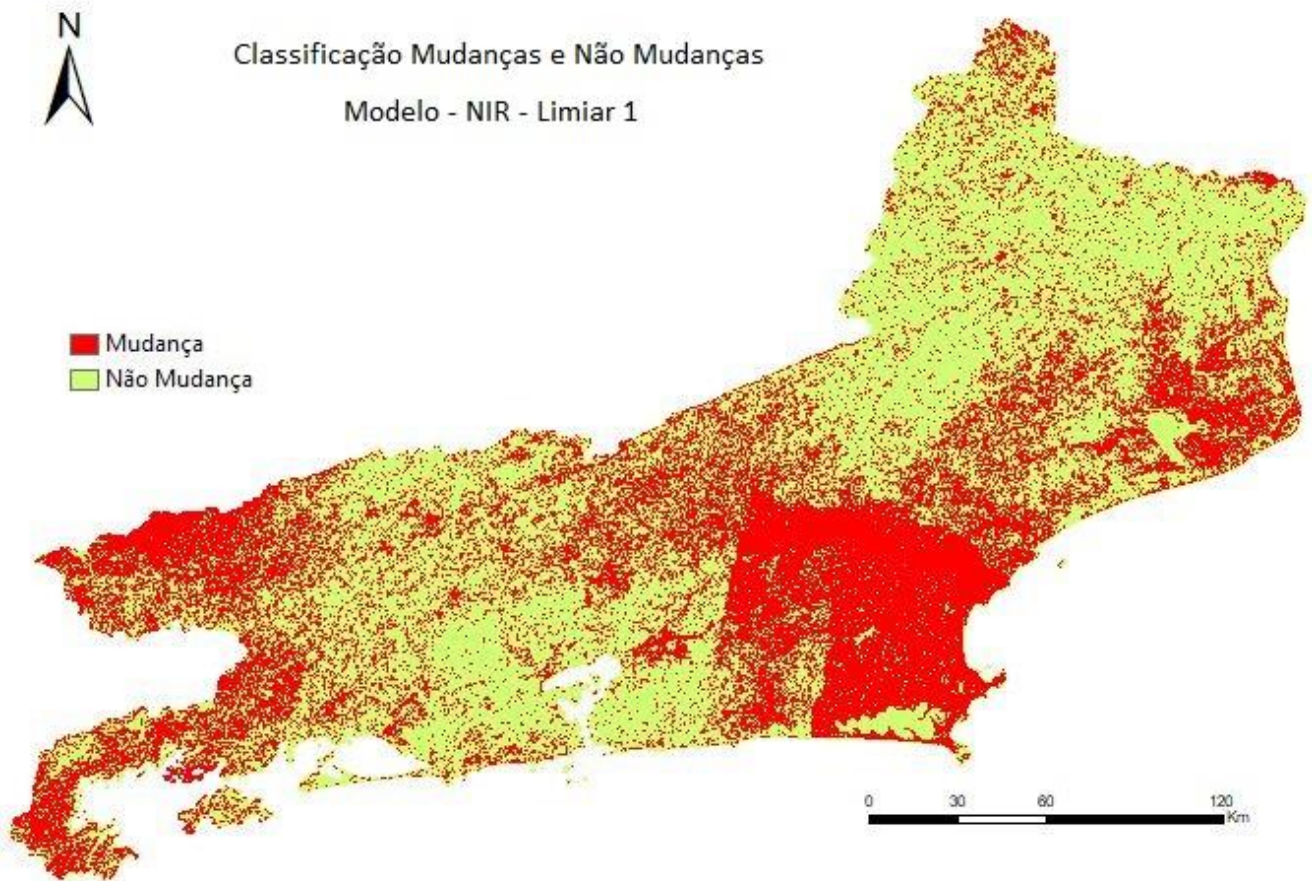
*Figura 61- Valores Estatísticos NDBI*

Limiares	Pontos -Aleatórios (%)	Pontos -Mudanças (%)	Média (%)	Desvio Padrão
NDVI - Limiar 1	90,5	73,0	81,7	12,3
NDVI - Limiar 2	96,4	49,0	72,7	33,5
NDVI - Limiar 3	98,5	19,0	58,7	56,2
NDVI - Limiar 4	92,6	64,0	78,3	20,2
NDVI - Limiar 5	94,7	60,0	77,3	24,5
NDVI - Limiar 6	95,5	57,0	76,2	27,2

*Figura 62 - Valores Estatísticos NDVI*

Começando pelo descritor de pior resultado, a análise deixou claro a fragilidade do infravermelho próximo (NIR) sozinho como um descritor dinâmico. Por diversos motivos esse descritor não se mostrou eficaz na detecção de mudanças. Primeiro pela sua alta sensibilidade a pequenas mudanças na coloração de áreas vegetadas, sejam elas florestas ou gramíneas/áreas agropastoris, e como mais de 80% do estado responde por áreas desse tipo, suas áreas de mudança foram superestimadas, trazendo assim resultados bem ruins para a detecção de mudanças abruptas. Segundo é que esse descritor como já mostrado foi o que mais sofreu com a construção dos mosaicos o que podemos observar pela análise visual na Figura 63 que foi uma das causas para valores percentuais tão baixos.

Abaixo foram inseridas um conjunto de figuras representativas, onde a primeira é a do limiar do descritor NIR com o melhor resultado (LIMIAR 1), e três recortes comparativos: o primeiro das áreas entre Saquarema e Araruama na Região dos Lagos; o segundo da Área de Planejamento 4 na capital do estado e; uma imagem das áreas próximas a represa do Funil em Resende (Figura 64, 65 e 66).



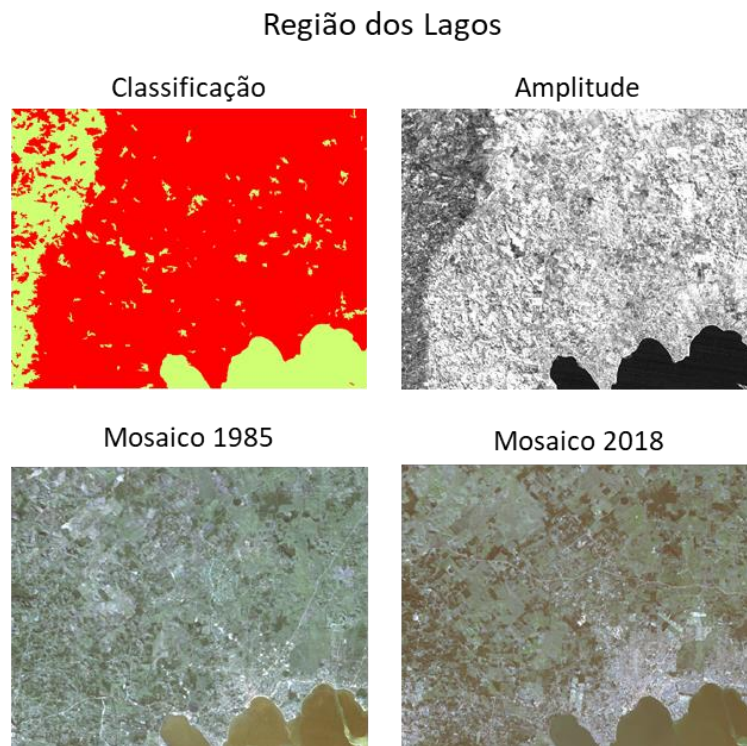
*Figura 63- Classificação de melhor limiar - Descritor NIR*

Através de análise visual verifica-se que para as três áreas exemplificadas, houve de maneira geral uma superestimação da mudança.

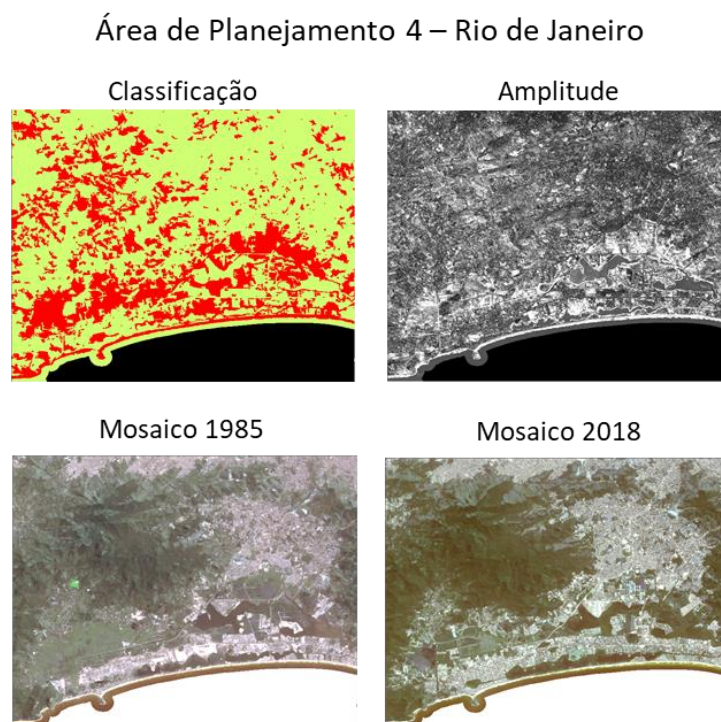
Mas além dos problemas causados pela construção do mosaico, podemos observar que nas áreas onde os resultados não foram induzidos por esse motivo também observamos alguns problemas. Na Figura 65 que mostra áreas da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro, percebe-se que as mudanças também foram superestimadas nas áreas do maciço da Pedra Branca por exemplo.



Por esse motivo esse descritor se torna pouquíssimo recomendado para detecções de mudanças, sejam elas para áreas agrícolas ou florestadas, seguindo o padrão apresentado em AMARAL (2017).

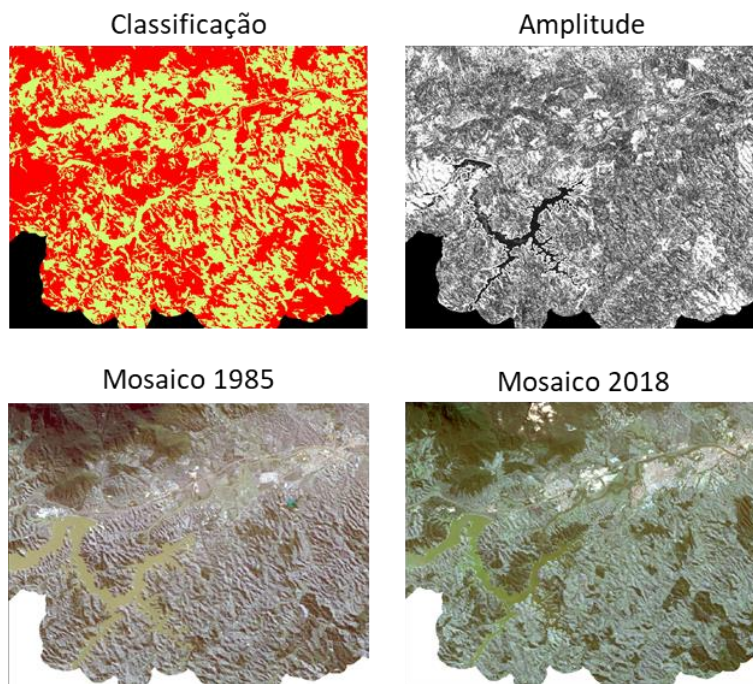


*Figura 64 - Área 1 de análise de classificação - Descritor NIR*



*Figura 65- Área 2 de análise de classificação - Descritor NIR*

## Resende e Barra Mansa



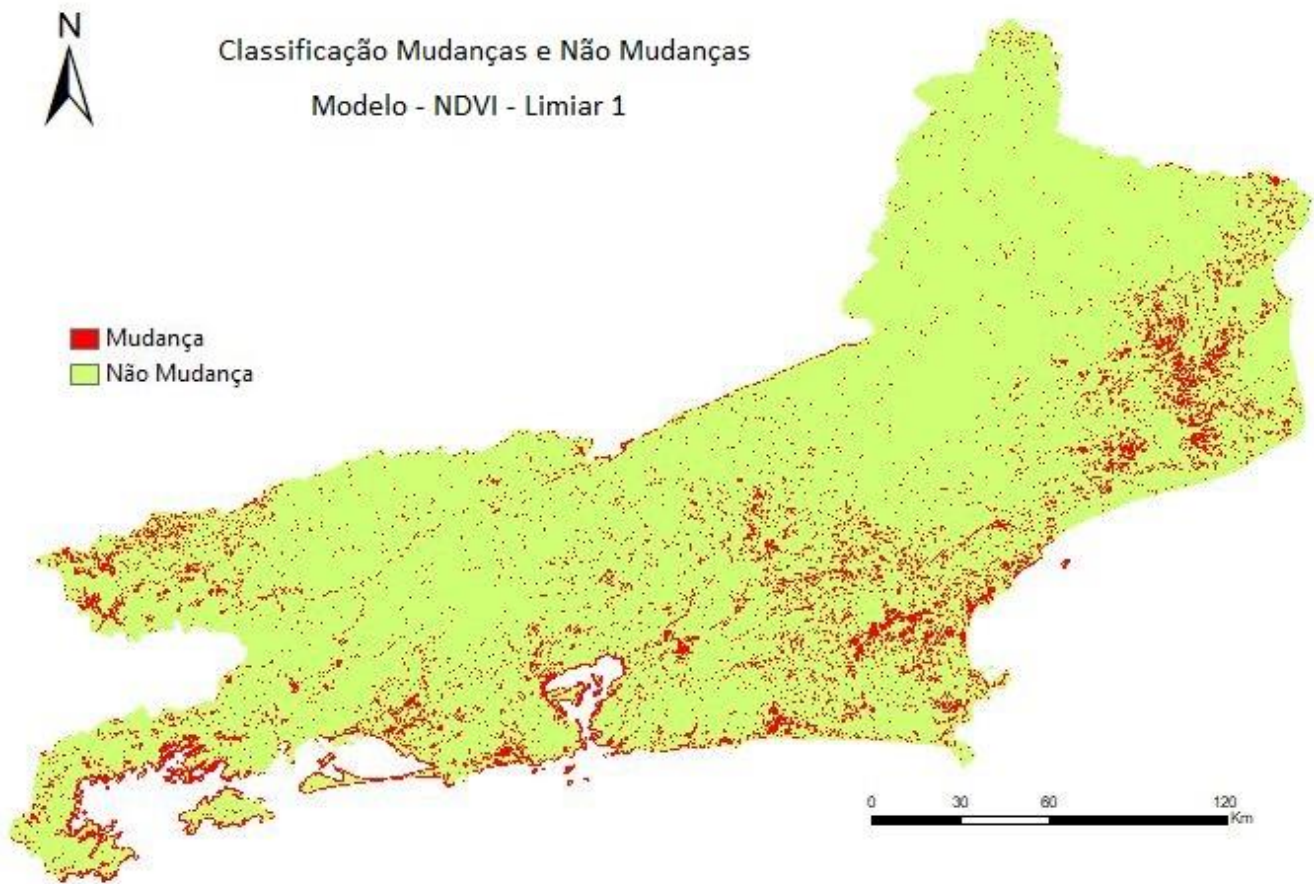
*Figura 66 - Área 3 de análise de classificação - Descritor NIR*

Em contrapartida, o descritor NDVI apresentou resultados muito bons e. Seus valores na validação foram muito bons principalmente quando falamos dos pontos aleatórios. Nesse caso o descritor prova o quão importante são os índices normalizados para a redução de ruídos causados por processamentos e, também mostra o quão importante foi o segundo método de validação para não haver um mascaramento de resultados.

De forma geral fazendo uma pequena análise espacial o NDVI como praticamente todos os outros descritores superestimou a legenda mudança nas áreas de gramínea/agropastoris devido, como o NIR, a mudança de coloração dessas áreas por diversos motivos que não caracterizam uma mudança de cobertura.

Além desse problema, o NDVI como, já esperado, superestima as áreas de mudança devido a sombreamento topográfico ou mudança de exuberância das áreas florestadas. Todos esses aspectos fazem com que ele não seja um bom descritor para se

trabalhar com as mudanças abruptas da floresta, mas sim mudanças cíclicas como exposição climática, degradação entre outras. (Figura 67)



*Figura 67- Classificação de melhor limiar - Descritor NDVI*

Essas características apontadas ficam claras quando observamos as imagens comparativas que foram inseridas, na mesma ordem e local como foram feitas para a análise do descritor NIR (Figuras 68, 69 e 70).

Nas Figuras 69 e 70 também podemos observar que a água foi classificada como mudança e na Figura 68 ela foi ficou com a classe oposta, isso mostra que os valores de NDVI durante os anos não se mantiveram ajustados. Esse problema pode ter sido causado pelos problemas no NIR ou simplesmente pelo não ajuste total na equalização durante o mosaico.

Mesmo possuindo bons resultados, o descritor NDVI não se mostrou adequado, de acordo com as análises visuais, para estudos de detecção de mudanças abruptas como

o desmatamento ou o reflorestamento por exemplo, mas pode ser bem explorado para em outras vertentes como a expansão urbana e as mudanças cíclicas das florestas.

### Região dos Lagos

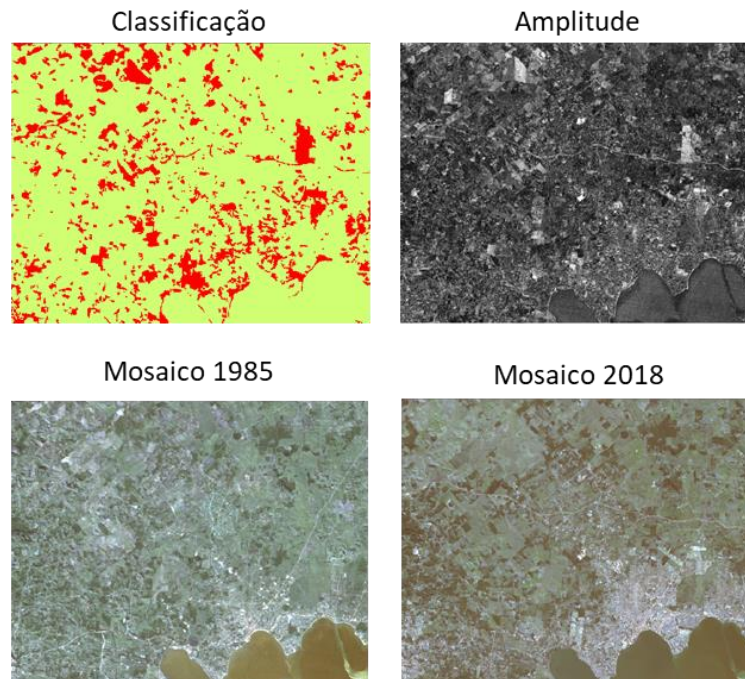


Figura 68 - Área 1 de análise de classificação - Descritor NDVI

### Área de Planejamento 4 – Rio de Janeiro

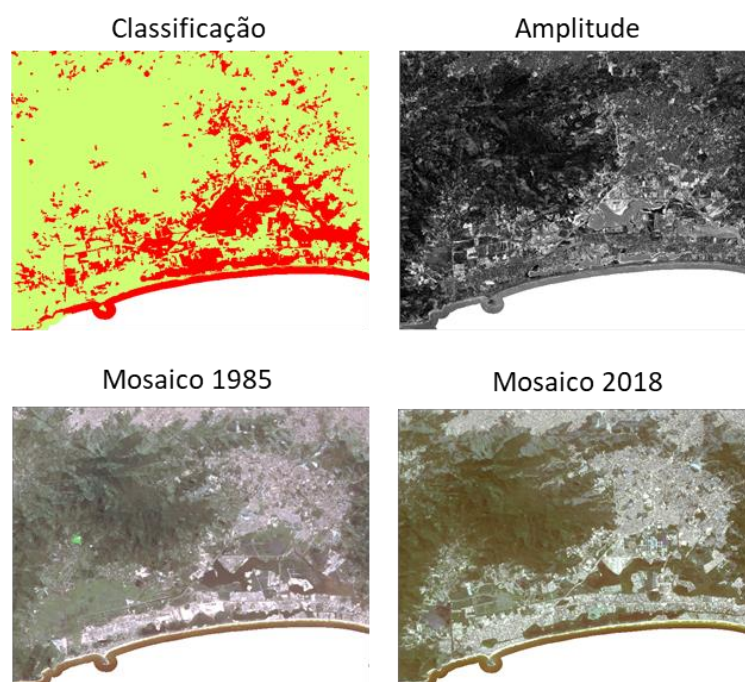


Figura 69 - Área 2 de análise de classificação - Descritor NDVI

## Resende e Barra Mansa

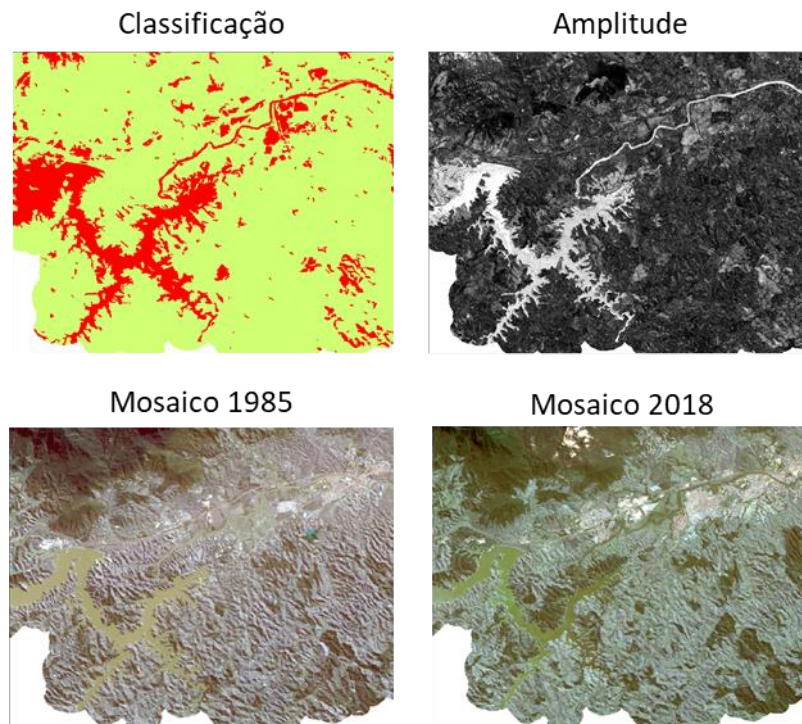


Figura 70 - Área 3 de análise de classificação - Descritor NDVI

Outro descritor que apresentou resultados satisfatórios foi o NDBI, além de ter tido o melhor limiar de mudança, todos os seus valores médios foram acima de 70%, o que identifica como ótimo descritor. Seu melhor limiar avaliado foi o que teve menor desvio padrão (0,4) entre todos os outros.

Fazendo a análise visual do resultado do seu modelo, apresentado na Figura 71, podemos observar que como o NDVI, o NDBI também superestima a classificação de mudança em áreas agrícolas ou de vegetação baixa, isso devido ao seu alto poder de realce para essas áreas como solo exposto por exemplo. Outra característica também igual ao do NDVI é o seu poder de diminuir os ruídos que poderiam ter sido causados pela banda do NIR.

Assim como em AMARAL (2015) e AMARAL (2017) o NDBI se comportou bem para a detecção de expansões urbanas e adensamento urbano ( Figura 72), mas além disso o descritor mostrou maior eficácia nas áreas que o NDVI. Como é possível ver na Figura 73, áreas de desmatamento e reflorestamento foram bem identificadas pelo

descriptor, o que o torna apropriado para um trabalho de monitoramento dos remanescentes florestais.

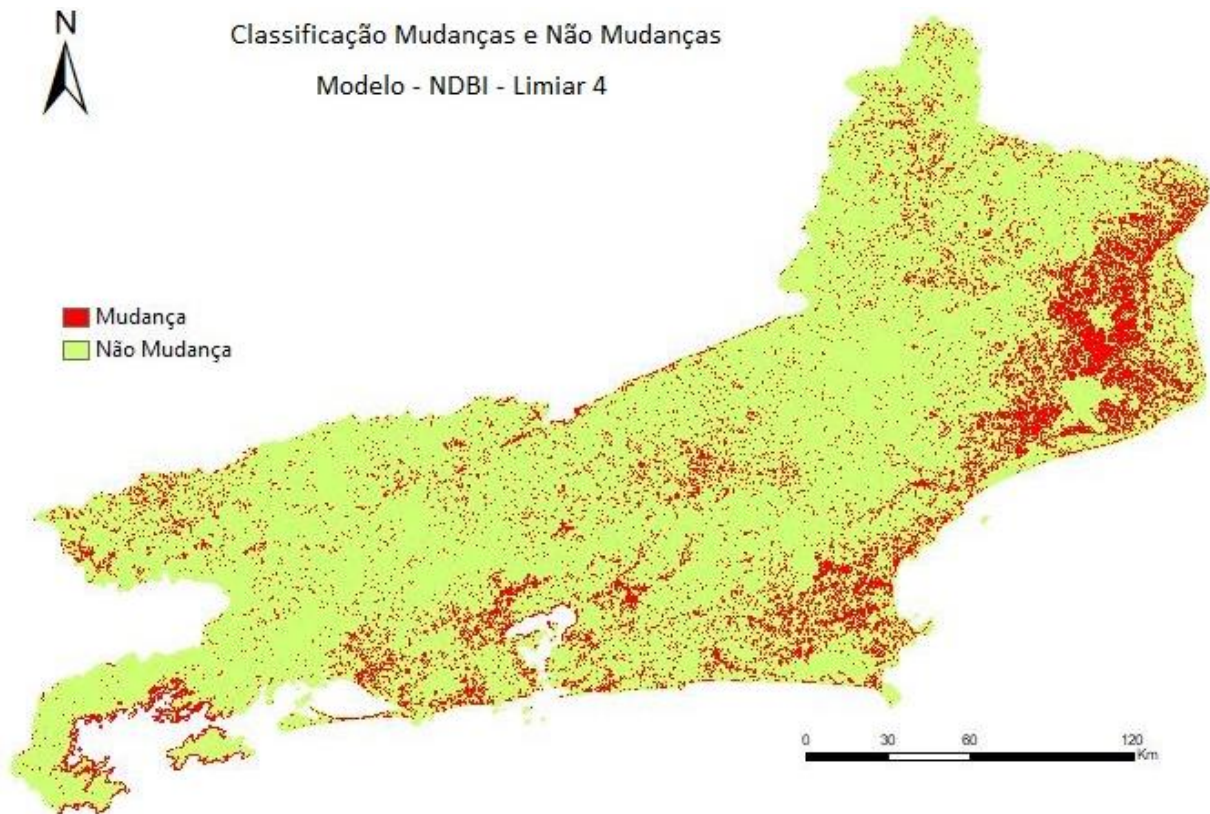


Figura 71 - Classificação de melhor limiar - Descritor NDBI

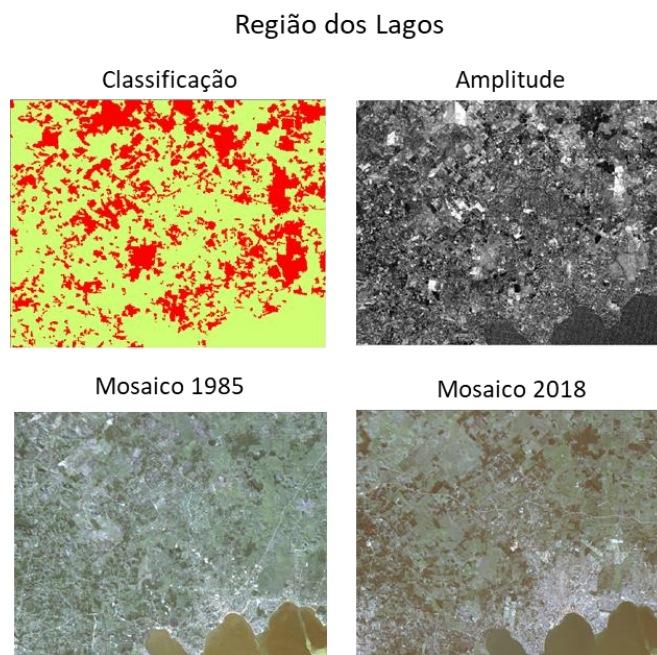


Figura 72- Área 1 de análise de classificação - Descritor NDBI

### Área de Planejamento 4 – Rio de Janeiro

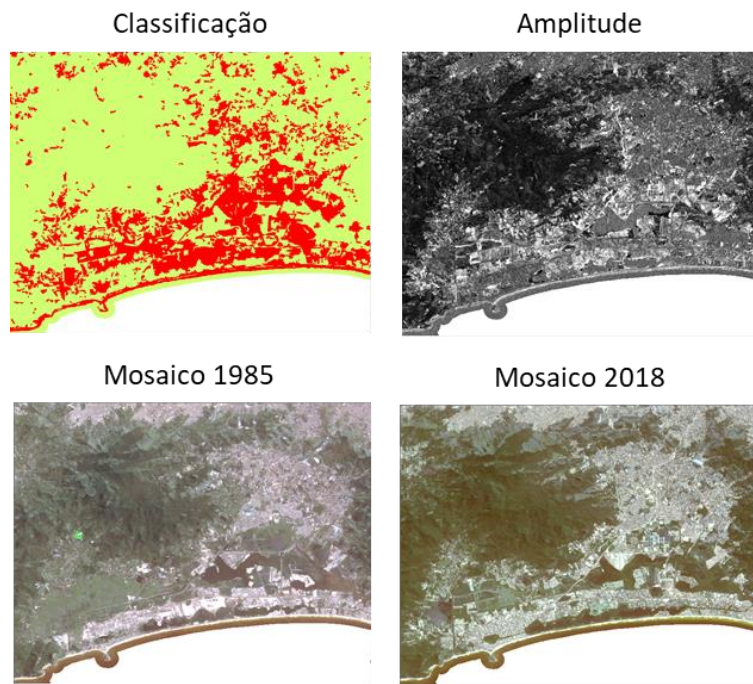


Figura 73 - Área 2 de análise de classificação - Descritor NDBI

### Resende e Barra Mansa

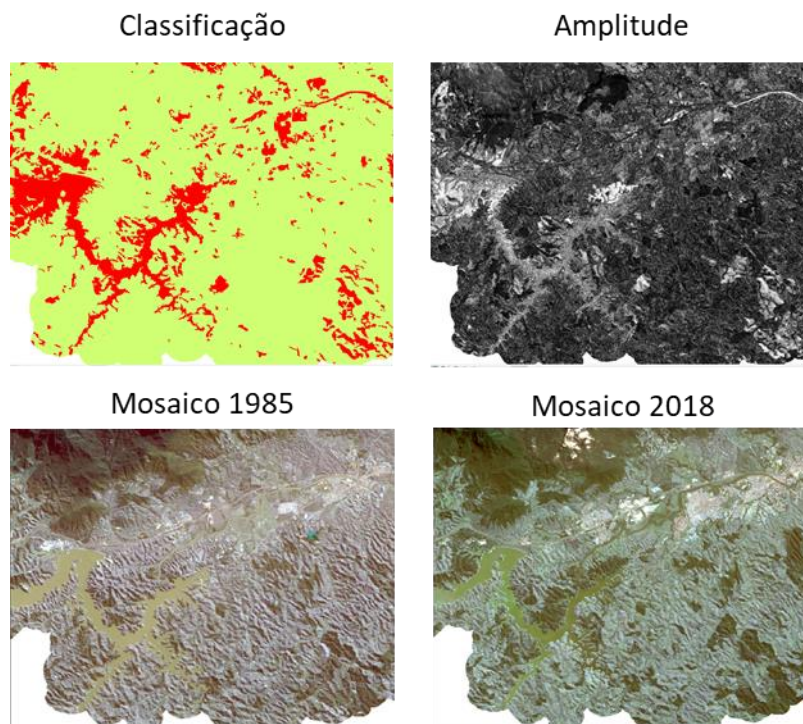


Figura 74 - Área 3 de análise de classificação - Descritor NDBI

O quarto descritor analisado é o RED, esse teve médios muito parecidos com o NDVI e o NDBI, mas com um desvio padrão bem maior, o que mostra que também é um descritor bom para a detecção e mudanças. A única diferença nos resultados estatísticos foi que para o seu melhor limiar o descritor respondeu muito bem para a validação dos pontos aleatórios, mas não muito bem para os pontos de mudança, aumentando assim seu desvio padrão, o que gera problemas para a natureza dessa pesquisa que tem como objetivo geral o monitoramento de objetos.

Quando passamos para as análises visuais (Figuras 75, 76, 77 e 78) verifica-se que o RED, diferente dos outros descritores, não superestima mudanças nas áreas agrícolas, mas também diferente dos outros, superestima as mudanças em áreas de solo exposto, como dunas e restingas

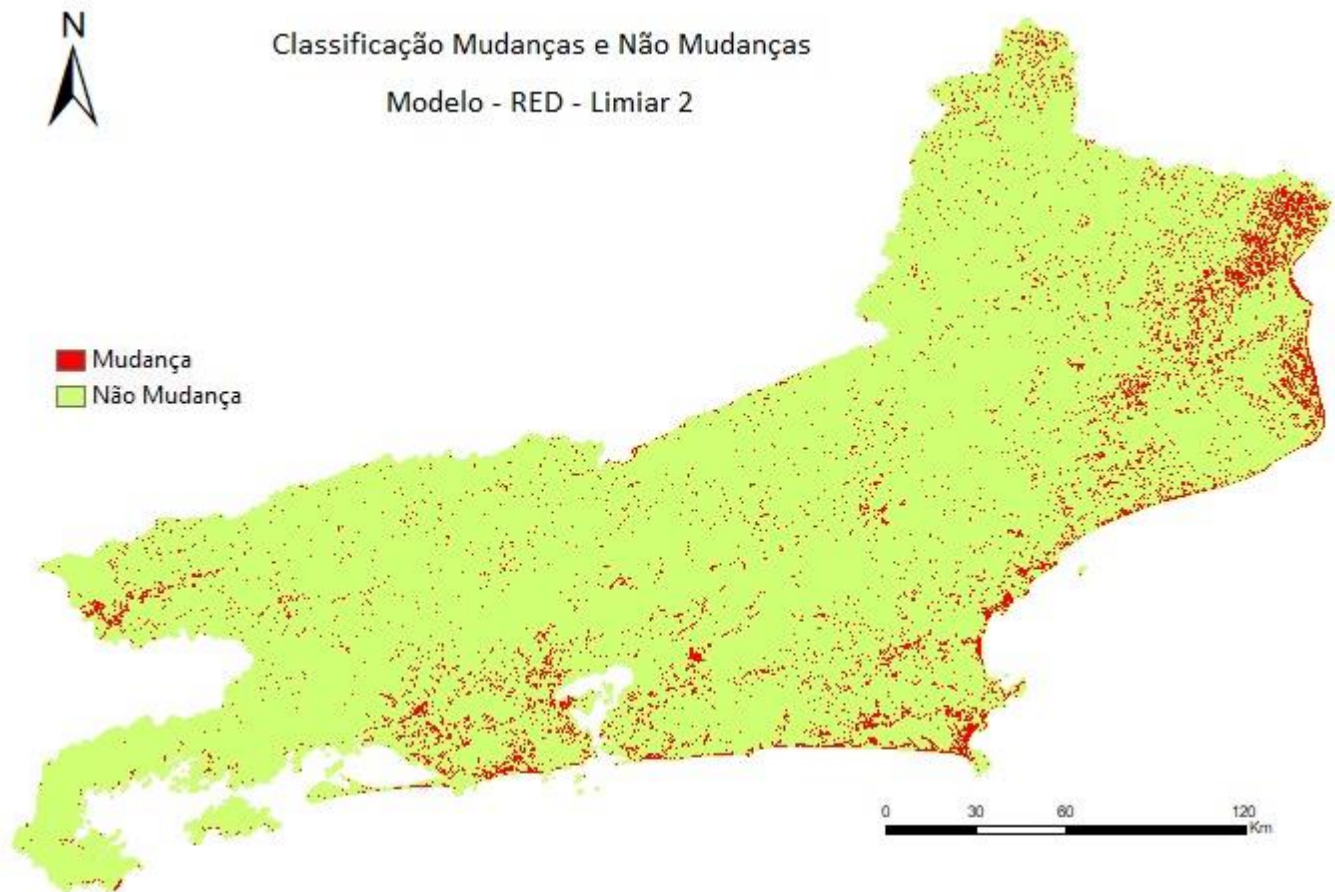
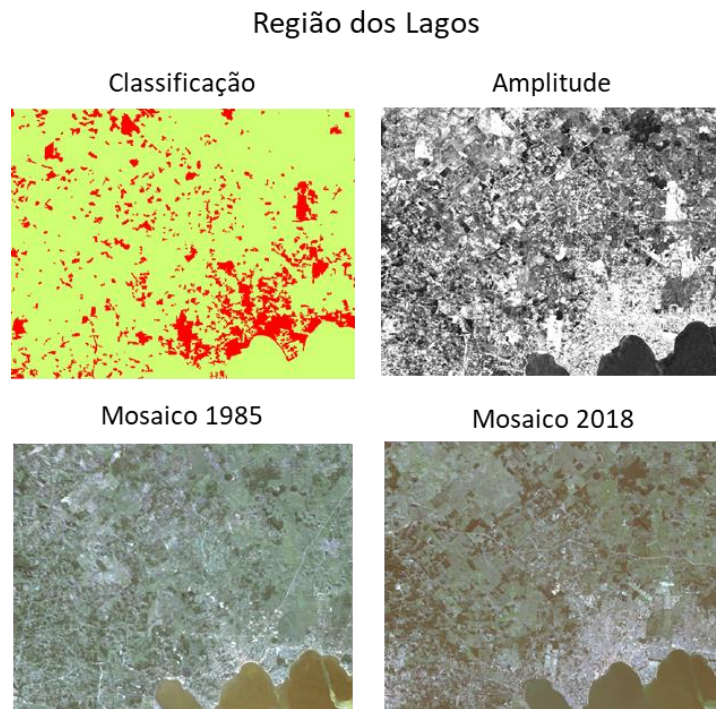


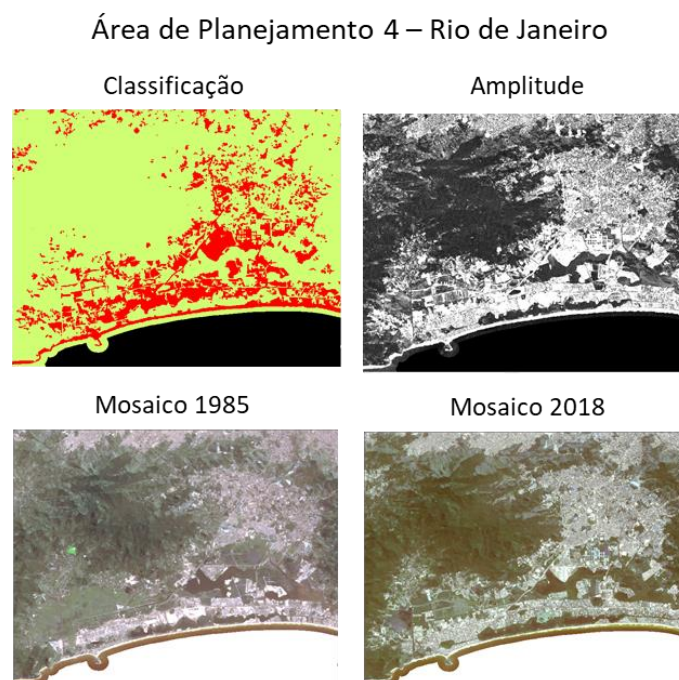
Figura 75 - Classificação de melhor limiar - Descritor RED



. Esse descritor se apresenta mais eficaz nas análises urbanas, em AMARAL (2017) verifica-se que a detecção de adensamentos e expansão urbana através do RED são impecáveis, mas para as desmatamento e reflorestamento o mesmo subestima as mudanças.

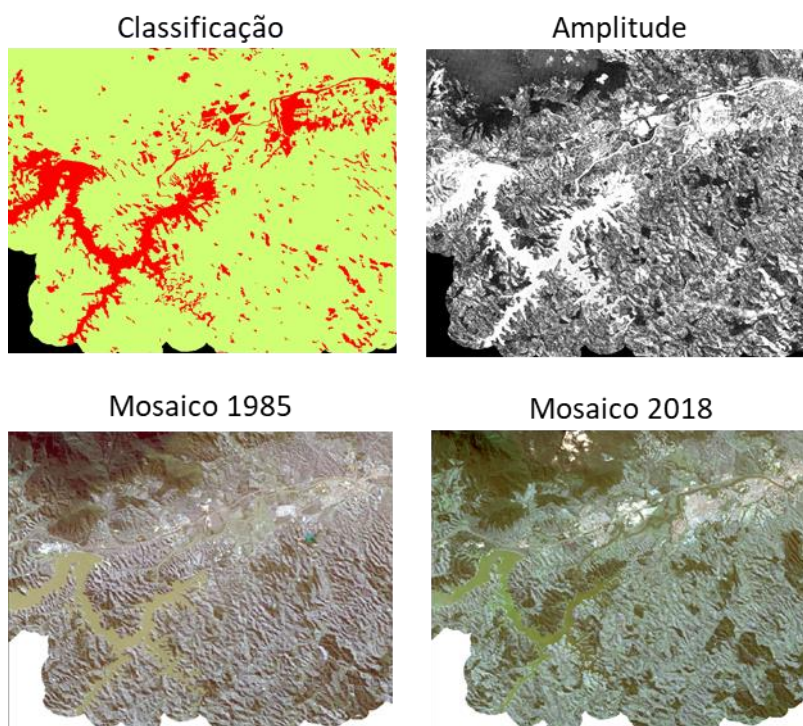


*Figura 76 - Área 1 de análise de classificação - Descritor RED*



*Figura 77- Área 2 de análise de classificação - Descritor RED*

## Resende e Barra Mansa

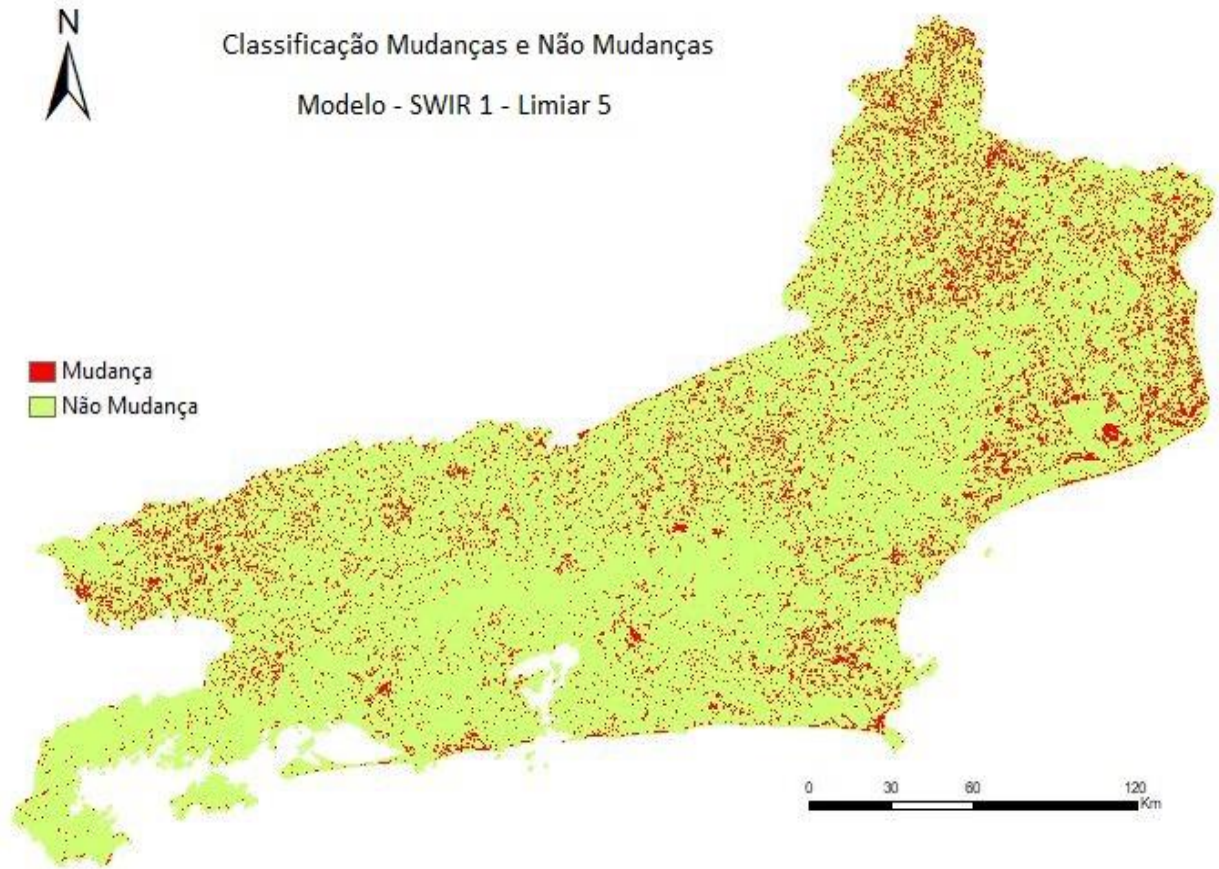


*Figura 78 - Área 3 de análise de classificação - Descritor RED*

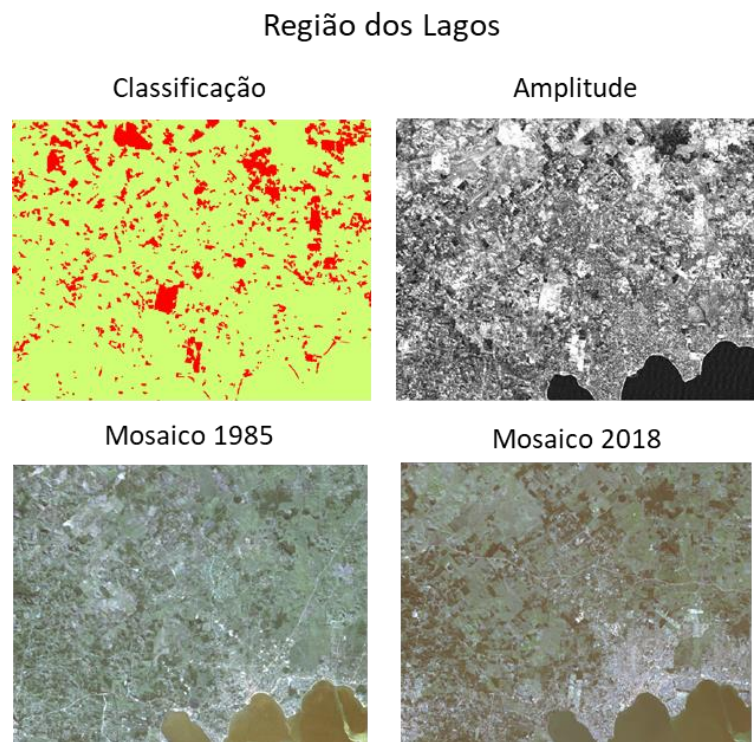
O SWIR 1 assim como o NDVI e NDBI alcançou resultados aceitáveis e desvio padrão baixo, o que significa uma estabilidade de erros na validação entre os pontos aleatórios e os pontos de mudança.

Na análise visual do descritor, feitas a partir das Figuras 79, 80, 81 e 82, pode-se verificar que esse descritor não superestima as mudanças em nenhuma área específica e é eficaz para análises de expansão e adensamento urbano. Outra potencialidade é que diferente do RED consegue identificar mudanças em áreas florestadas.

Um dos problemas observados nesse descritor são as mudanças em áreas de sombreamento, que gera erros devido a problemas de topografia entre as imagens. Nesse caso específico podemos ver na Figura 82 que essas classificações errôneas se dão em áreas de morrotes do Vale do Paraíba. Mas como o objetivo geral da pesquisa está focado nas áreas florestadas assim como o NDBI esse descritor é adequado para esses estudos e podemos comprovar isso somando tanto seus resultados estatísticos com as análises visuais realizadas.



*Figura 79 - Classificação de melhor limiar - Descritor SWIR 1*



*Figura 80 - Área 1 de análise de classificação - Descritor SWIR 1*

## Área de Planejamento 4 – Rio de Janeiro

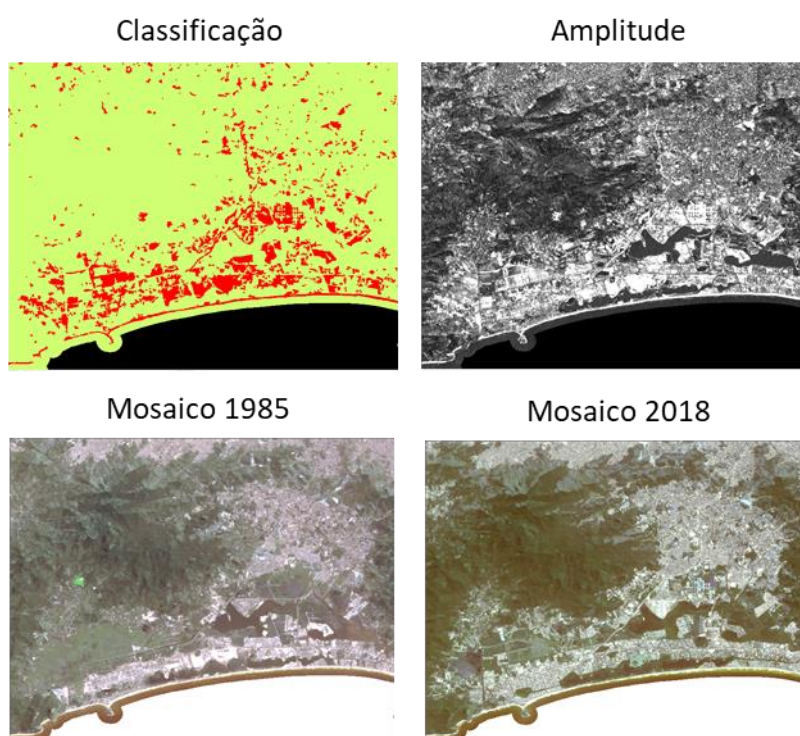


Figura 81- Área 2 de análise de classificação - Descritor SWIR 1

## Resende e Barra Mansa

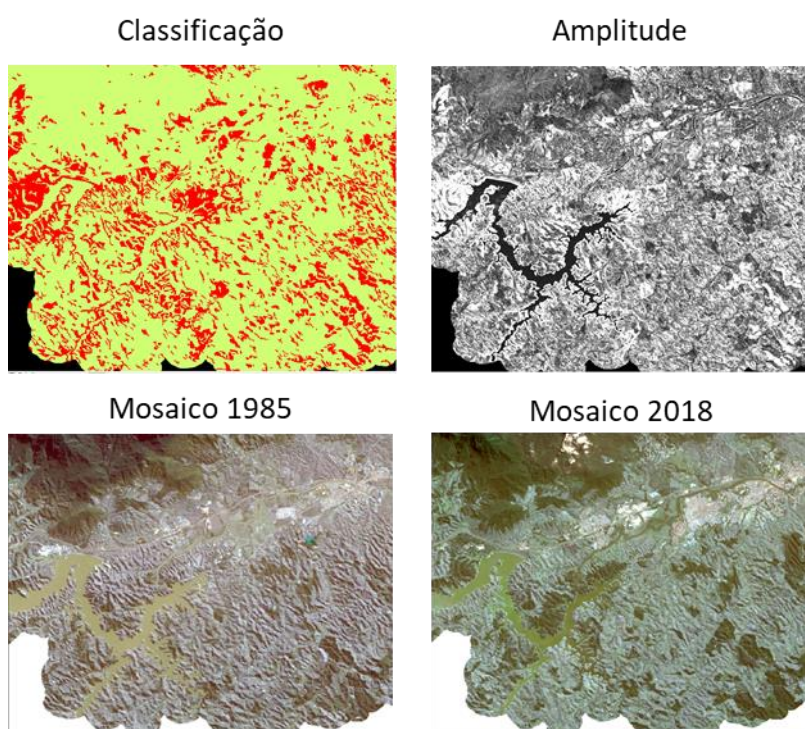


Figura 82 - Área 3 de análise de classificação - Descritor SWIR 1

Por fim o ultimo descritor é o SWIR 2, esse descritor teve resultados muito bons, com melhor limiar chegando a mais de 80% de acerto e baixo desvio padrão (4,3). Mas podemos observar também que seus outros limiares foram tiveram valores baixos, principalmente quando falamos dos pontos de mudança. Isso mostra que o limiar que responde da melhor forma é o único que pode ser usado para a detecção de mudanças, diferente do que vimos por exemplo no caso do NDBI.

Quando analisamos visualmente os resultados, os padrões são parecidos com os do NDBI por se superestimar as mudanças nas áreas de pastagem e agricultura, ser um ótimo descritor para estudos de adensamento e expansão urbana e retratar bem as mudanças nas áreas florestadas (como podemos ver na Figura 86 que mostra áreas de reflorestamento).

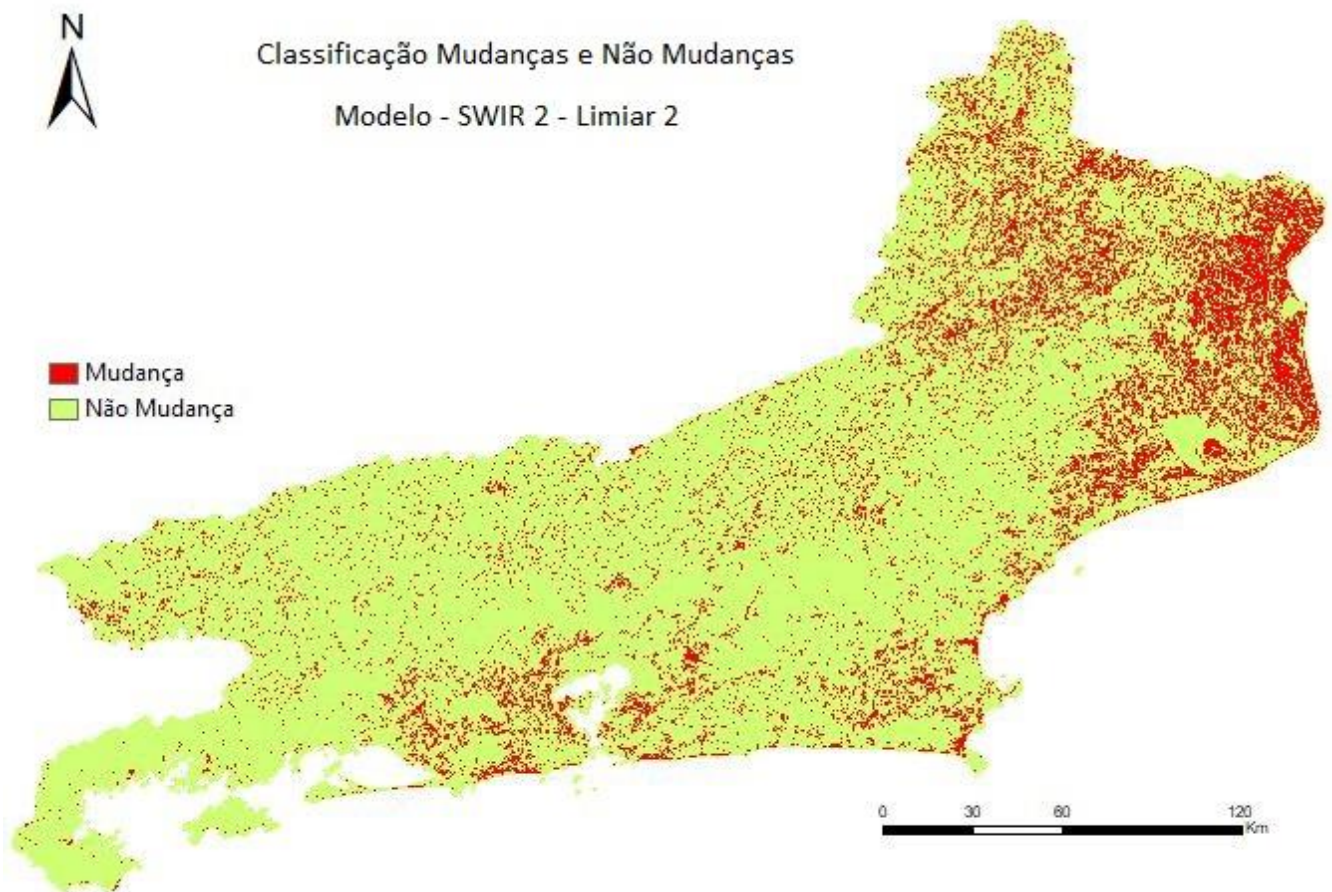
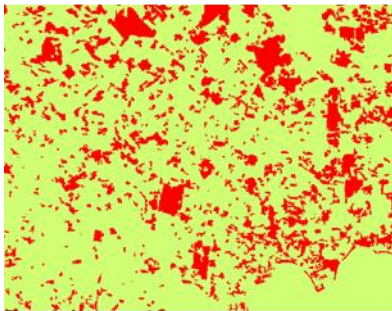


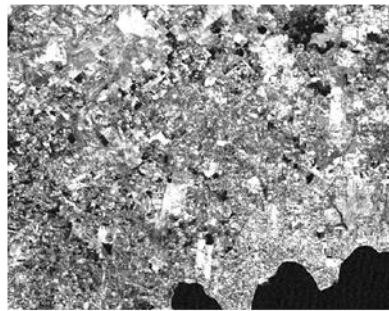
Figura 83 - Classificação de melhor limiar - Descritor SWIR 2

## Região dos Lagos

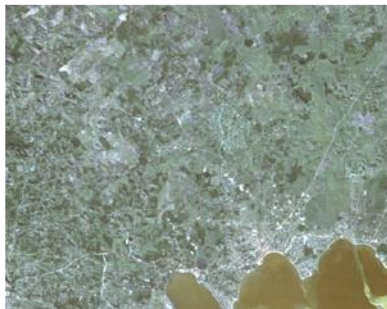
Classificação



Amplitude



Mosaico 1985



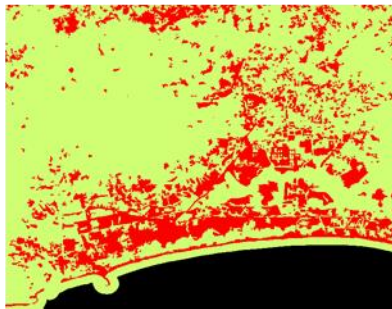
Mosaico 2018



Figura 84 - Área 1 de análise de classificação - Descritor SWIR 2

## Área de Planejamento 4 – Rio de Janeiro

Classificação



Amplitude



Mosaico 1985

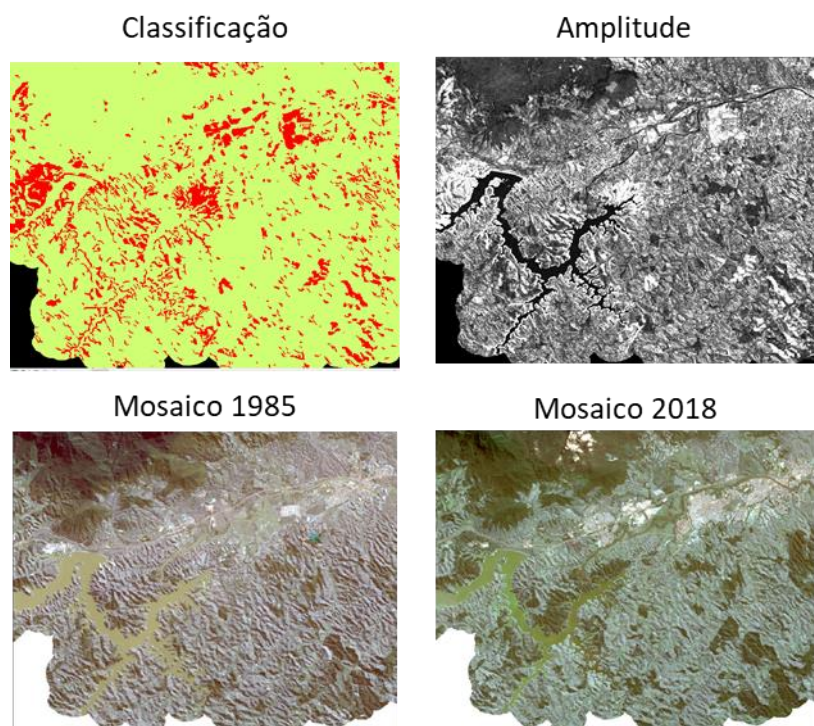


Mosaico 2018



Figura 85- Área 2 de análise de classificação - Descritor SWIR 2

## Resende e Barra Mansa



*Figura 86 - Área 3 de análise de classificação - Descritor SWIR 2*

As classificações dos outros limiares de cada descritor podem ser vistas no ANEXO 5 ao fim dessa dissertação

### 4.4. Conclusão

Conclui-se então dentre tantos modelos possíveis, o método de classificação por abordagem híbrida gera resultados bem satisfatórios e de processamento simples. Além disso, o uso de descritores dinâmicos para simplificar e diminuir o volume de dados foi de grande utilidade, dando origem a modelos de identificação de mudanças de diversos tipos advindos de diferentes bases, como as próprias bandas espectrais como foi o caso do RED, SWIR 1 e SWIR 2 como de índices radiométricos como foi o caso do NDBI e NDVI.

Entretanto, a presente pesquisa não esgota o campo de investigação de limiares e descritores para a detecção de mudança, faz-se necessário explorar mais limiares entre os descritores, buscando sempre resultados ainda melhores. Ao fim desse capítulo, tem-

se que para monitoramento de áreas florestadas os descritores do NDBI, SWIR 1 e SWIR 2 são o que melhor nos atendem para o estudo desse fenômeno, onde o melhor estatisticamente foi o NDBI.



# CAPÍTULO 5

## MODELAGEM DO CONHECIMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS EVOLUTIVAS DE ÁREAS FLORESTADAS

### 5.1. Introdução

Fragmentos florestais desempenham uma importante função de mantenedores da biodiversidade e devem ser considerados como elementos-chave no planejamento da conservação ambiental. Com as recentes transformações culturais e ambientais, bem como suas consequências antrópicas na paisagem, têm por base as mudanças de uso e cobertura da terra já essa seria a forma de expressão espacial da influência humana sobre a paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009). E isso traz à tona mudanças de paisagens naturais para ambientes altamente antropizados.

Estudos de mudanças na cobertura da terra vem sendo cada vez mais explorados, pois seus resultados são fundamentais para ações de planejamento e gestão do ambientais em diversas tipologias de paisagem. Eles contemplam a quantificação e localização de desmatamentos, urbanizações, antropizações, intensificações de cultivos, reflorestamentos, entre outros fenômenos de mudanças. (WECKMÜLLER E VICENS, 2018).

A necessidade de se entender a paisagem numa perspectiva temporal, levando em consideração níveis de intensidade e diferentes frequências nas mudanças no uso e cobertura da terra da mesma ao longo do tempo são de fundamental importância para o ordenamento ambiental e territorial no geral. De acordo com WECKMÜLLER & VICENS (2016) é importante que haja informações sobre a dinâmica pretérita da paisagem para o entendimento da degradação e estabilidade das mesmas e assim subsidiar tomadas de decisão de planejadores e gestores ambientais de forma que o ordenamento desse território seja bem embasado.

A partir disso surge o método das trajetórias evolutivas, onde o entendimento da história da cobertura da terra abre um horizonte maior de estudos e objetivos sobre a

degradação da paisagem e regeneração da paisagem ao longo do tempo e que possibilita ao pesquisador conhecer importantes informações sobre a paisagem, como por exemplo: a idade de uma pastagem e a classe que precedeu sua ocorrência; a intensidade de uma urbanização e em que classe o urbano se sobrepôs e a quem ele está impondo esta pressão; ou ainda o abandono de uma área de cultivo, ou o reuso da mesma depois de um longo período e o tempo de recuperação da mesma para uma vegetação secundária (WECKMÜLLER E VICENS, 2016).

BANSKOTA et al. (2014) destacam que, diferente da detecção de mudanças bitemporal ou até por métodos multitemporais simples, como é o caso realizado no capítulo 3, as trajetórias possibilitam entender a natureza das mudanças, assim como sua magnitude. O conhecimento destas trajetórias evolutivas pode servir como subsídio para os órgãos tomadores de decisão, pois estão diretamente relacionados com o grau de transformação da paisagem, ou seja, o estado da mesma.

Os mapeamentos das trajetórias evolutivas possibilitam a aplicação em uma grande diversidade de objetivos devido à sua natureza interdisciplinar. Estudos de mudanças na vegetação, como supressões e regenerações, como também em ambientes urbanos, áreas agrícolas, entre outras. (WECKMÜLLER E VICENS, 2018).

Dessa forma esse capítulo tem como objetivo o entendimento da dinâmica da cobertura vegetal do estado do Rio de Janeiro a partir das trajetórias evolutivas das mesmas, passando pelo método de mapeamento e de análise dessas coberturas e finalizando os objetivos dessa dissertação.

## **5.2. Materiais Métodos**

A partir das conclusões do Capítulo anterior, onde analisou-se diversos descritores dinâmicos para o mapeamento de mudanças, usaremos o melhor descritor encontrado na ocasião para a continuação do trabalho e iniciar a análise das trajetórias evolutivas. O melhor descritor encontrado depois da análise tanto estatística quanto visual foi o NDBI, com um limiar de mudança de 0,35 e 1,65, dando origem a classificação de mudança já mostrada.

Criou-se a partir dos mesmos mosaicos usados pra criação das imagens amplitudes, novas imagens realçadas, mas agora imagens diferenças para cada intervalo de tempo. Essas imagens foram modeladas a partir novamente de uma abordagem híbrida para o atendimento da legenda proposta. Dessas imagens foram realizadas classificações bi temporais durante as partes do recorte temporal do estudo usando o descritor do NDBI e seu limiar mencionado anteriormente. Essas informações são mostradas de forma resumida no fluxograma presente na Figura 87.

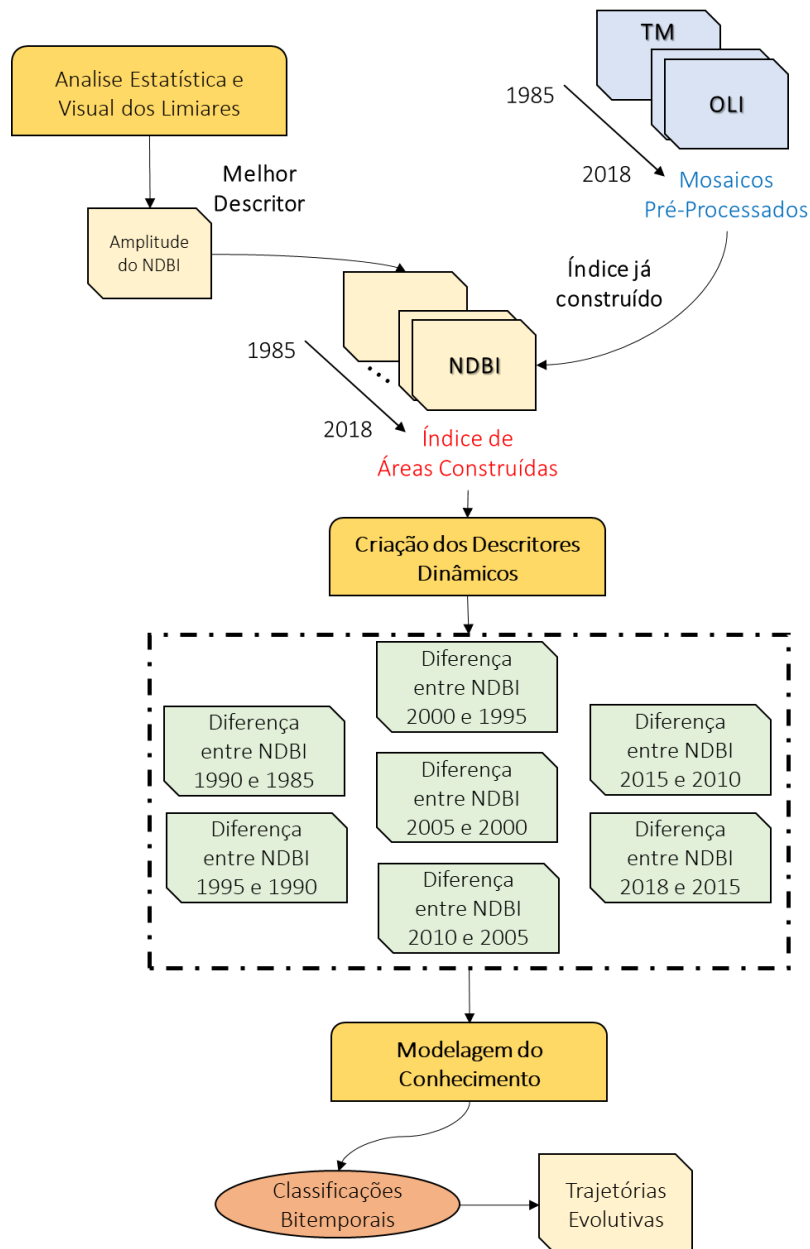
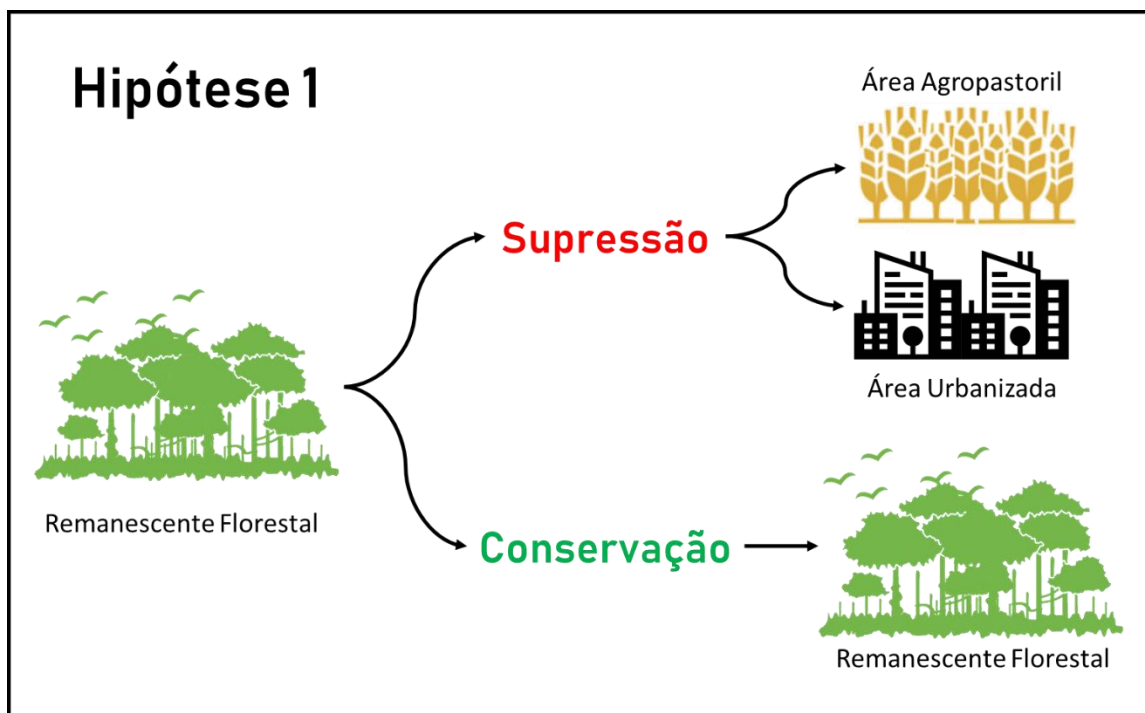


Figura 87- Fluxograma Metodológico da Análise e Construção das Trajetórias Evolutivas

### 5.2.1. Legendas Dinâmicas da Mata Atlântica

Criou-se duas hipóteses de trajetória dos remanescentes florestais se pensarmos em comparações bi temporais. A primeira hipótese é aquela onde o remanescente, a área florestada, pode sofrer uma perturbação causada por origem antrópica, ou até mesmo ser totalmente retirada para a introdução de outra cobertura do solo ou que essa mancha florestal de manteve. Respetivamente foram criadas as legendas supressão e conservação para as dinâmicas apresentadas nessa primeira hipótese. (Figura 88)



*Figura 88 - Legenda Dinâmica - Hipótese 1*

Ainda nessa primeira hipótese entendemos como supressão a entrada de áreas antrópicas no lugar da mancha florestal, onde essas áreas antrópicas podem ser consideradas, áreas urbanizadas, áreas agropastoris, mineração ou quaisquer atividade exercida pelos seres humanos.

A segunda hipótese sugere que áreas que possuem funções antrópicas anteriormente, passam a ser áreas com vegetação de floresta ou tendendo a se tornar uma floresta, casos de vegetação secundária. (Figura 89).

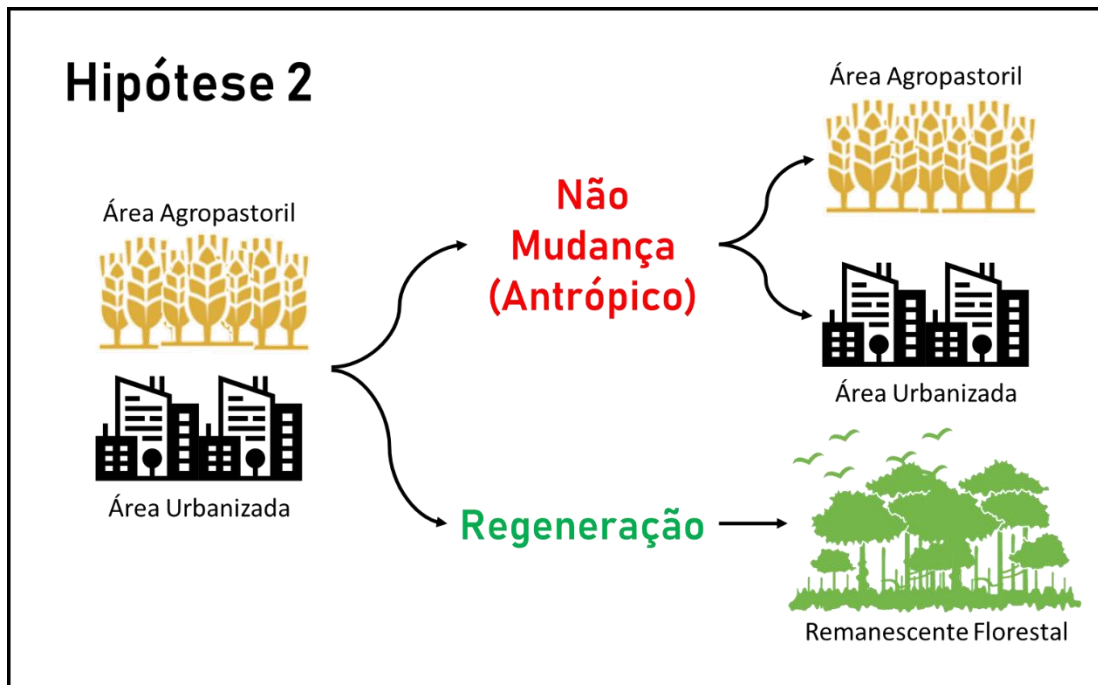


Figura 89 - Legenda Dinâmica - Hipótese 2

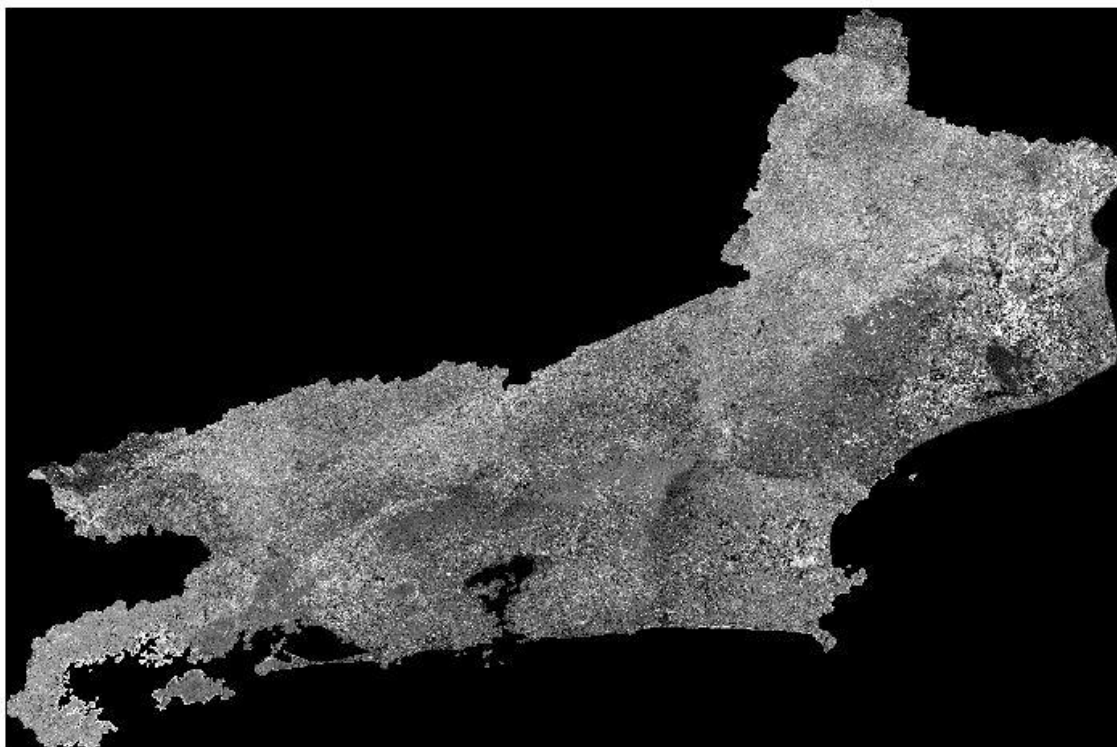
### 5.2.2. Diferenciação de Imagens

Para se efetivamente identificar espectralmente as legendas propostas foi necessário a criação de novas imagens, dessa vez, ao invés da amplitude, as diferenças entre cada intervalo de estudo.

Assim como a amplitude, essa diferença também foi calculada de pixel a pixel entre a imagem do período mais recente pela imagem do período antigo, então por exemplo a diferença entre os intervalos de 1985 e 1990 foi calculado da seguinte forma: Imagem 1990 subtraída pela Imagem 1985, e assim sucessivamente para todos os períodos dando origem a sete novas imagens.

Lembrando que todas essas imagens diferença foram realizadas somente para os valores de NDBI, que foi escolhido o descritor para esse capítulo. Na Figura 90 podemos ver o exemplo da Imagem diferença entre 1985 e 1990, nela tanto os valores mais claros, quanto os mais escuros simbolizam mudanças e os valores mais médios são áreas invariáveis.

Todos os outros descritores se encontram no ANEXO 5 ao final dessa dissertação.



*Figura 90 - Diferença do NDBI entre 1985 a 1990*

### **5.2.3. Classes Hierárquicas e Modelagem do Conhecimento**

Com as imagens diferença já produzidas, voltamos ao software *eCognition Developer* para a classificação. Novamente a abordagem adotada foi a híbrida, já que serão usadas imagens realçadas para a classificação além da classificação já obtida no capítulo anterior e dos objetos já estipulados pela segmentação também no capítulo 4.

Para que a metodologia se completasse foram necessárias ainda criações duas máscaras, uma de floresta e uma de água, para isso foram inseridas também no programa as imagens NDVI de todas as datas, NDWI e a NIR também de todas as datas. Dessa forma foi possível de modelar a água e a floresta a partir desses descritores.

O processo foi feito 7 vezes, dando origem a 7 projetos com os mesmas entradas, mesmas legendas e modelos e mesmas saídas. O decorrer do projeto se deu pela construção dos objetos pela segmentação, a modelagem do conhecimento e a pós classificação.

Para a criação dos objetos foi realizada o *Chessboard Segmentation* onde foi atribuído o shapefile dos objetos já construídos, de modo que a segmentação e consequentemente os objetos fossem idênticos aos já existentes e sem necessidade de se realizar uma nova segmentação.

A legenda utilizada para a classificação apresentada na Figura 91, diferente do capítulo 4 a legenda usada tem uma construção mais complexa já trazendo hierarquia entre classes e modelagens mais trabalhadas. A partir dos objetos criados e da legenda escolhida realizou-se a modelagem, primeiramente das classes mães, onde foi modelada as classes água e floresta e como a classe não modelada ou “classe not” ficou o outros.

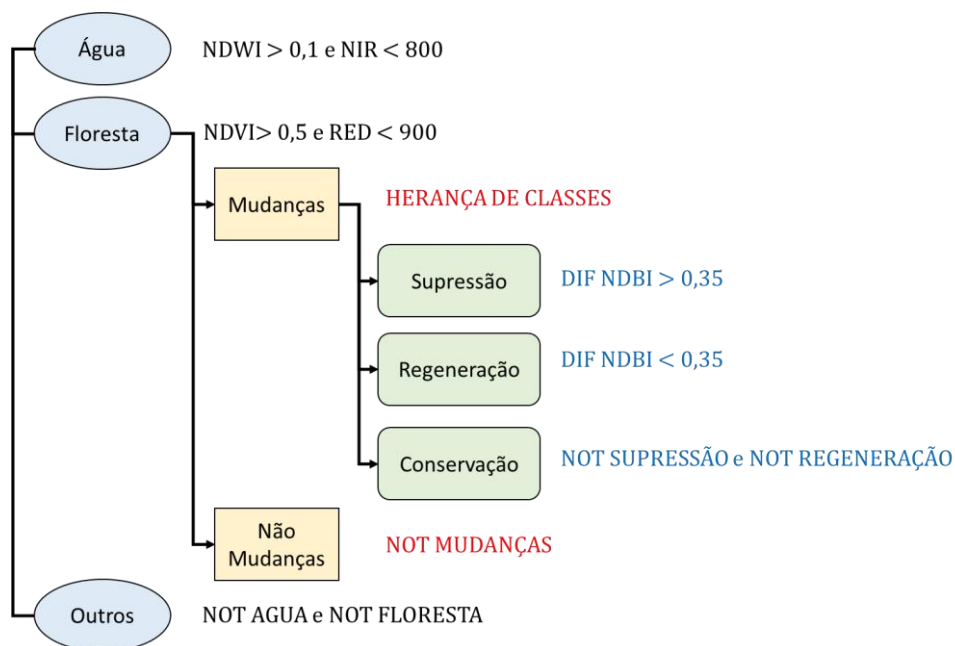


Figura 91 - Hierarquia e Modelagem das Classes

A água foi modelada a partir do NDWI criado a partir das bandas espectrais do Verde e do Infravermelho Próximo e pela banda do último sozinho de forma a equilibrar a modelagem, já a floresta foi modelada a partir também de dois descritores o NDVI, como já dito criado a partir das bandas do vermelho e do infravermelho e também a partir da primeira de forma a equilibrar a modelagem. Para a criação dessas modelagens foram usados os descritores dos dois anos de análise para cada projeto.

Modeladas a água e a floresta foi herdada a classificação do capítulo anterior com a modelagem do NDBI, onde foram classificadas as mudanças e as não mudanças.

Essa classificação foi herdada a pela moda mínima do seu *raster*, dando a modelagem a classe.

Por fim nas classes de mudanças foram modeladas a classe Supressão, Regeneração e Conservação, usando a imagem diferença de cada período e aplicando-se a modelagem onde os valores menores que -0,35 foram consideradas Regeneração e valores maiores que 0,35 são consideradas Supressão. Como a classe mudança é para todo recorte temporal, precisou-se modelar como o “not” a Conservação. As modelagens também podem ser vistas na Figura 91.

Foi realizada uma pós classificação, baseada em fusão dos objetos contínuos e generalizar todos os polígonos menores de 2 hectares a partir dos processos de *merge* e de *assignn class* no próprio software.

As sete classificações foram transformadas em polígonos, onde as supressões e regenerações foram validadas visualmente. Todos os polígonos foram validados de forma que não foi necessária a criação de pontos aleatórios, nem controlados para a validação, assim a confiabilidade dessa validação se torna maior.

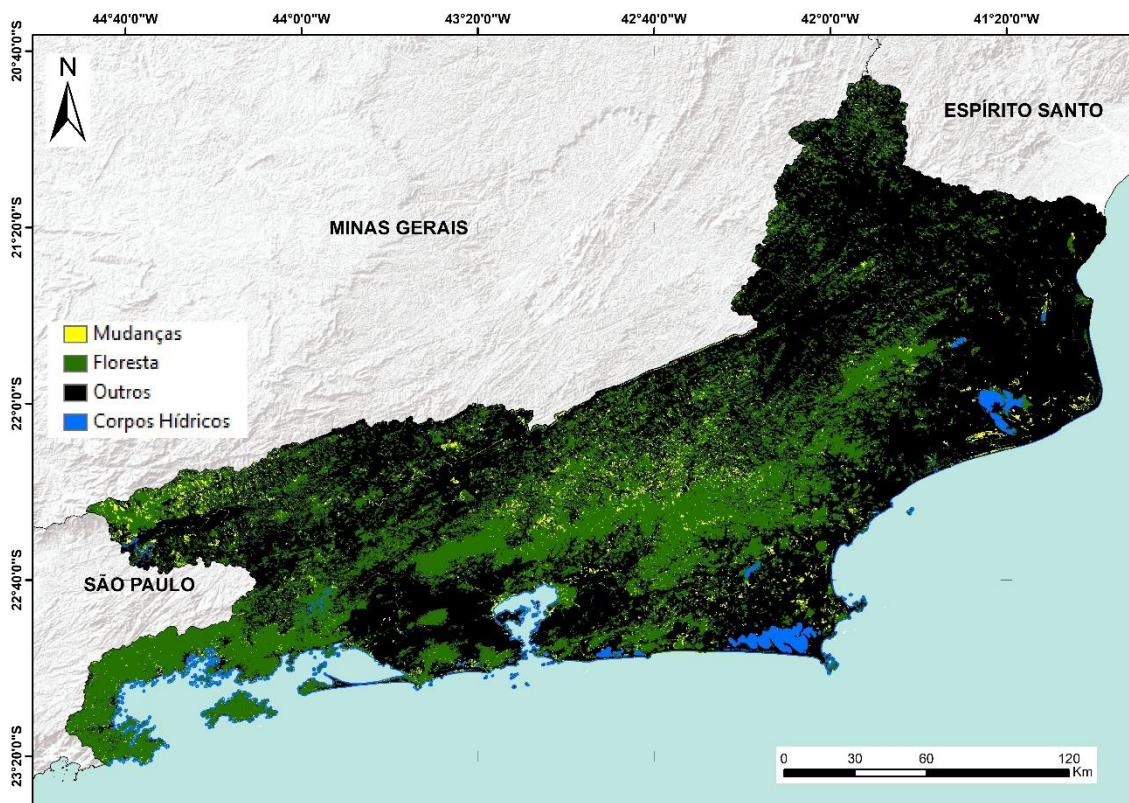
Após as classificações foram realizadas análises espaciais para o entendimento da dinâmica dos remanescentes florestais, caracterizando esses a partir das legendas dinâmicas criadas. Essa análise espacial foi realizada no *ArcMap 10.5* a partir de cruzamento entre todas as classificações. Essas trajetórias foram analisadas por Região Hidrográfica e com a dinâmica de criação de áreas protegidas para entender a gestão ambiental como acelerador ou modificador das mudanças.

### 5.3. Resultados e Discussões

O primeiro resultado obtido a partir da metodologia desse capítulo foi o melhor dimensionamento das mudanças para as áreas florestadas, já que anteriormente foram analisadas e validadas as mudanças em todas a coberturas. As mudanças ocorridas em áreas que estavam na máscara de floresta, nós da as possíveis dinâmicas no recorte temporal de estudo.



Houve mudanças em 7% da área florestada do estado de acordo com a modelagem realizada. Essas mudanças podem ser observadas na Figura 92 apresentada abaixo.



*Figura 92 - Mudanças em Áreas Florestadas de 1985 a 2018*

Com a modelagem completa foram obtidos os resultados bitemporais de mudanças, onde estas foram tipificadas como supressão ou regeneração. A primeira observação a ser feita é que os modelos criados a partir das imagens diferença não contemplam todas as mudanças observadas no modelo criado a partir da imagem amplitude. Com isso de forma preliminar já se entende que o uso dos mesmos limiares para a amplitude e para a diferença de modo como realizado nessa metodologia subestimam as mudanças ocorridas na área de estudo.

A validação dos polígonos pode ser observada nas tabelas apresentadas nas Figuras 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99 onde foram identificados os polígonos onde realmente a modelagem foi eficaz, classificando supressão e regeneração, mas também os polígonos que a modelagem foi atrapalhada por nuvens ou até mesmo que o modelo funcionou, mas as áreas não eram florestais.

<b>1985 a 1990</b>	
<b>TOTAIS</b>	
Polígonos (Número)	68
Supressão (%)	46%
Regeneração (%)	54%
<b>SUPRESSÃO</b>	
Polígonos (Número)	31
Supressão - Correta	35%
Nuvens	35%
Mudanças Não Florestais	10%
Erros	19%
<b>REGENERAÇÃO (%)</b>	
Polígonos (Número)	37
Regeneração - Correta	32%
Nuvens	14%
Mudanças Não Florestais	30%
Erros	24%
Acertos - Supressão	90%
Acertos - Regeneração	76%

*Figura 93 - Validação Polígonos de Mudança de 1985 a 1990*

<b>1990 a 1995</b>	
<b>TOTAIS</b>	
Polígonos (Número)	42
Supressão (%)	69%
Regeneração (%)	31%
<b>SUPRESSÃO</b>	
Polígonos (Número)	29
Supressão - Correta	38%
Nuvens	0%
Mudanças Não Florestais	28%
Erros	34%
<b>REGENERAÇÃO (%)</b>	
Polígonos (Número)	13
Regeneração - Correta	38%
Nuvens	15%
Mudanças Não Florestais	23%
Erros	23%
Acertos - Supressão	72%
Acertos - Regeneração	77%

*Figura 94 - Validação Polígonos de Mudança de 1990 a 1995*

Nos primeiros dois períodos de análise os resultados tanto de supressão quanto de regeneração ficaram acima de 70%, dando destaque a boa resposta do modelo para as áreas de supressão entre 1985 e 1990.

<b>1995 a 2000</b>	
<b>TOTAIS</b>	
Polígonos (Número)	54
Supressão (%)	69%
Regeneração (%)	31%
<b>SUPRESSÃO</b>	
Polígonos (Número)	37
Supressão - Correta	43%
Nuvens	11%
Mudanças Não Florestais	22%
Erros	24%
<b>REGENERAÇÃO (%)</b>	
Polígonos (Número)	17
Regeneração - Correta	12%
Nuvens	0%
Mudanças Não Florestais	24%
Erros	65%
Acertos - Supressão	78%
Acertos - Regeneração	35%

*Figura 95 - Validação Polígonos de Mudança de 1995 a 2000*

<b>2000 a 2005</b>	
<b>TOTAIS</b>	
Polígonos (Número)	76
Supressão (%)	12%
Regeneração (%)	88%
<b>SUPRESSÃO</b>	
Polígonos (Número)	9
Supressão - Correta	33%
Nuvens	0%
Mudanças Não Florestais	11%
Erros	56%
<b>REGENERAÇÃO (%)</b>	
Polígonos (Número)	67
Regeneração - Correta	46%
Nuvens	15%
Mudanças Não Florestais	27%
Erros	12%
Acertos - Supressão	89%
Acertos - Regeneração	88%

*Figura 96 - Validação Polígonos de Mudança de 2000 a 2005*

Os dois intervalos entre 1995 e 2005 já temos resultados mais prejudicados pelo uso de uma única modelagem. Os modelos de regeneração ente 1995 e 2000 não responderam bem aos limiares usados.

<b>2005 a 2010</b>	
<b>TOTAIS</b>	
Polígonos (Número)	53
Supressão (%)	47%
Regeneração (%)	53%
<b>SUPRESSÃO</b>	
Polígonos (Número)	25
Supressão - Correta	32%
Nuvens	4%
Mudanças Não Florestais	52%
Erros	12%
<b>REGENERAÇÃO (%)</b>	
Polígonos (Número)	28
Regeneração - Correta	79%
Nuvens	0%
Mudanças Não Florestais	14%
Erros	7%
Acertos - Supressão	48%
Acertos - Regeneração	93%

Figura 97 - Validação Polígonos de Mudança de 2005 a 2010

<b>2010 a 2015</b>	
<b>TOTAIS</b>	
Polígonos (Número)	97
Supressão (%)	61%
Regeneração (%)	39%
<b>SUPRESSÃO</b>	
Polígonos (Número)	59
Supressão - Correta	22%
Nuvens	0%
Mudanças Não Florestais	15%
Erros	63%
<b>REGENERAÇÃO (%)</b>	
Polígonos (Número)	38
Regeneração - Correta	71%
Nuvens	3%
Mudanças Não Florestais	13%
Erros	13%
Acertos - Supressão	85%
Acertos - Regeneração	87%

Figura 98 - Validação Polígonos de Mudança de 2010 a 2015

<b>2015 a 2018</b>	
<b>TOTAIS</b>	
Polígonos (Número)	80
Supressão (%)	11%
Regeneração (%)	89%
<b>SUPRESSÃO</b>	
Polígonos (Número)	9
Supressão - Correta	0%
Nuvens	22%
Mudanças Não Florestais	22%
Erros	56%
<b>REGENERAÇÃO (%)</b>	
Polígonos (Número)	71
Regeneração - Correta	46%
Nuvens	15%
Mudanças Não Florestais	27%
Erros	12%
Acertos - Supressão	78%
Acertos - Regeneração	88%

*Figura 99 - Validação Polígonos de Mudança de 2015 a 2018*

Por fim nos três últimos períodos temos resultados também bons entre 2010 e 2015 e entre 2015 e 2018, mas os resultados de supressão entre 2005 e 2010 não foram satisfatórios, mostrando que a modelagem usada não foi precisa para esse intervalo.

Observa-se também o quanto os polígonos de supressão e regeneração não possuem padrão em seu número total durante o recorte, somente no último período que os valores de supressão caem muito, logo os de regeneração se tornam a maioria expressiva.

Com o fim da análise estatística e com os polígonos que realmente representam áreas de mudança, pode-se analisar espacialmente as mudanças encontradas. Para melhor exemplificar os resultados, os polígonos de regeneração e supressão foram simplificados e transformados em pontos e exemplos foram pegos para cada intervalo de tempo para mostrar alguns desses polígonos.

Como dito esses mapas foram criados divididos por RH para regionalizar as áreas de mudança e assim melhor entender as faixas de localização de cada tipologia dessas mudanças.

O primeiro mapa, apresentado na Figura 100, nos traz os pontos de supressão e regeneração entre 1985 e 1990. Pode-se observar que o modelo pegou poucas mudanças para esse período. A maioria das mudanças ocorrem nas RHs III e IX.

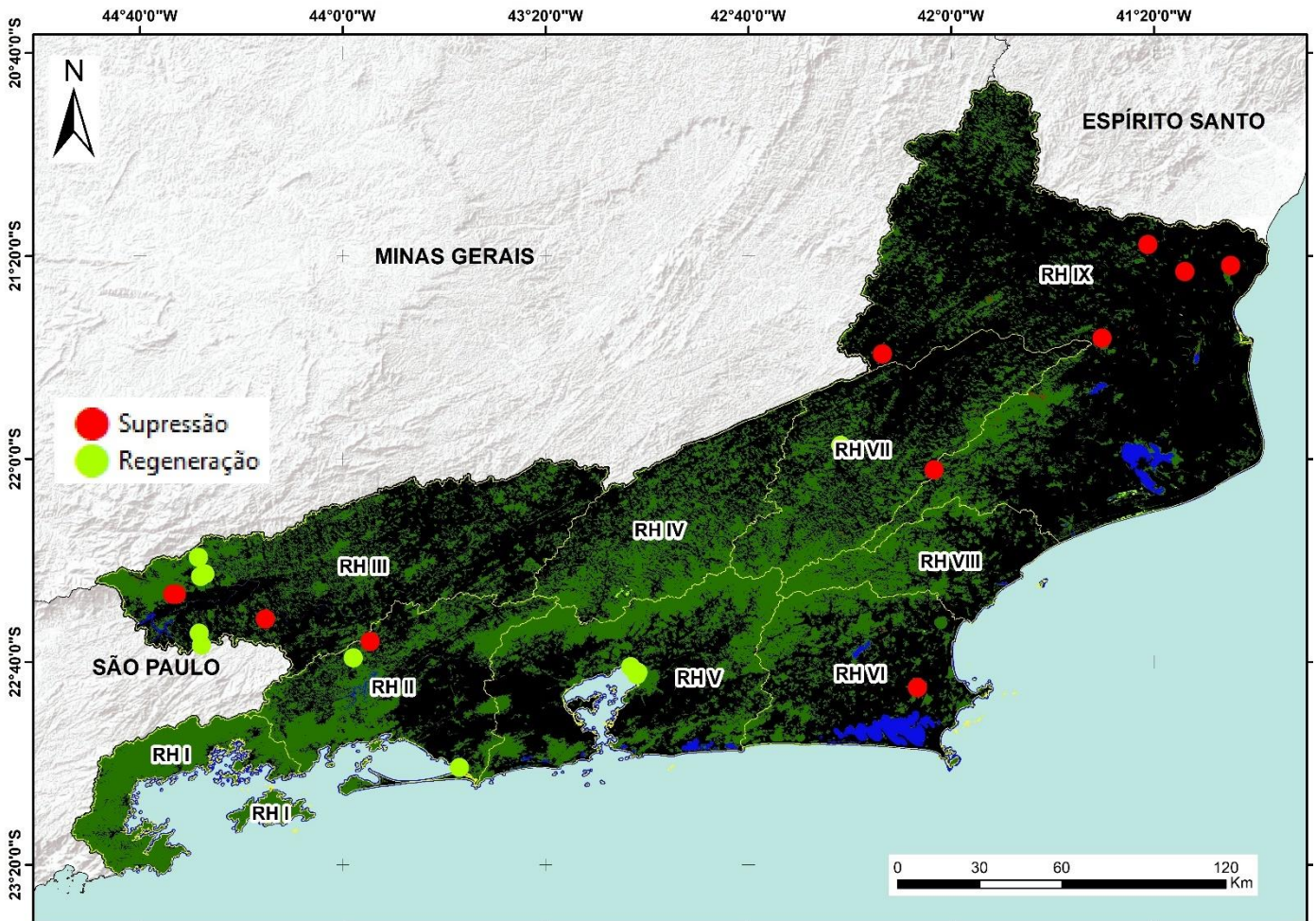
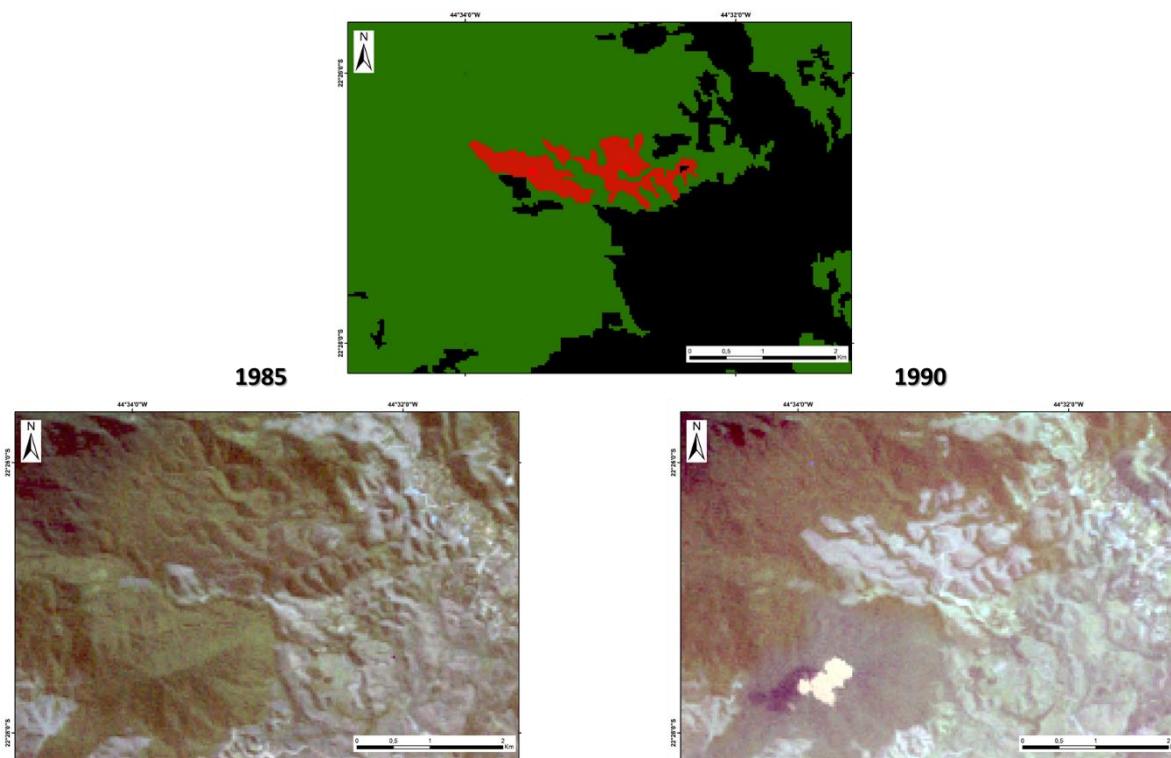


Figura 100 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 1985 e 1990

Na Figura 101 podemos ver como o modelo pegou perfeitamente uma mudança na borda do maciço do Itatiaia próximo a Resende, os contornos foram bem precisos, o que demonstra uma vantagem desse modelo. Nessa mesma imagem também podemos observar como a classificação de área florestada ficou bem fiel a realidade, mesmo sendo feita com a base de imagens de diferentes anos.

Observa-se também que a grande maioria dos pontos de desmatamento são em áreas planas, só excluindo o ponto entre a RH VII e RH IX que está em uma área de grande declividade e o ponto da Figura 100 que está no pé de uma colina. E que as áreas

de regeneração são em sua maioria áreas de plantio de eucalipto e de recuperação de manguezais.



*Figura 101 - Polígono de Desmatamento próximo a Resende no pé do Maciço do Itatiaia*

O segundo mapa representa as mudanças entre 1990 e 1995, e assim como no mapa anterior foram identificadas poucas mudanças corretas com o modelo (Figura 102). Nele podemos observar o mesmo padrão nos pontos de supressão em relação ao relevo nas áreas de ocorrência que vimos no primeiro mapa, onde a maioria desses pontos ocorrem em locais menos declivosos. Outra observação muito importante é da equivalência de algumas áreas de regeneração nesse mapa com as áreas de Supressão do mapa anterior, o que caracteriza áreas de plantio florestal, como eucalipto por exemplo.

Na Figura 103 podemos ver uma dessas áreas de regeneração que sofreram supressão no primeiro período e que nesse mapa já aparece regenerado.

Nessa classificação a maior parte das áreas que sofreram supressão são de florestas, pequenos polígonos que foram degradados ou totalmente desmatados, somente o ponto mais a oeste presente na RH III é corte de silvicultura.

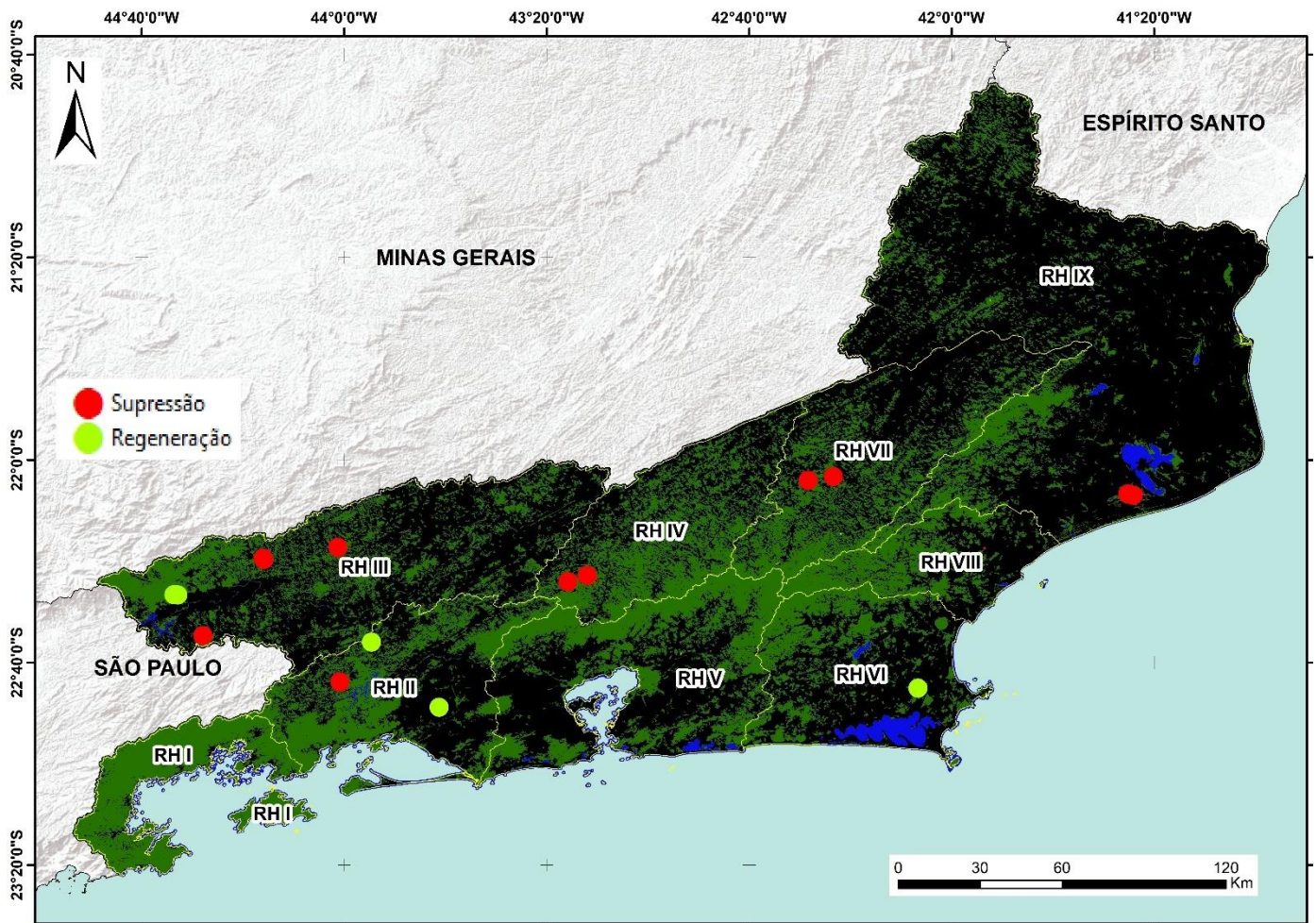


Figura 102 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 1990 e 1995

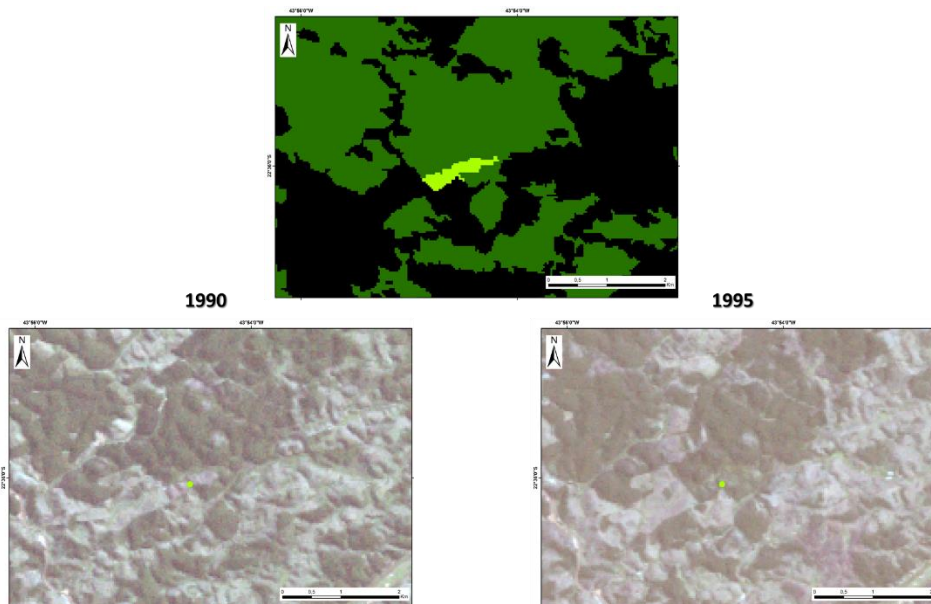


Figura 103 - Polígono de Regeneração ao norte da RH II



O terceiro período representado em mapa foi o do intervalo entre 1995 a 2000 apresentado na Figura 104, que nos mostra uma maior concentração de áreas de supressão na parte leste do estado, mais precisamente na RH VI e RH IX, novamente em áreas de baixa declividade e que sofreram rápida antropização e expansão urbana.

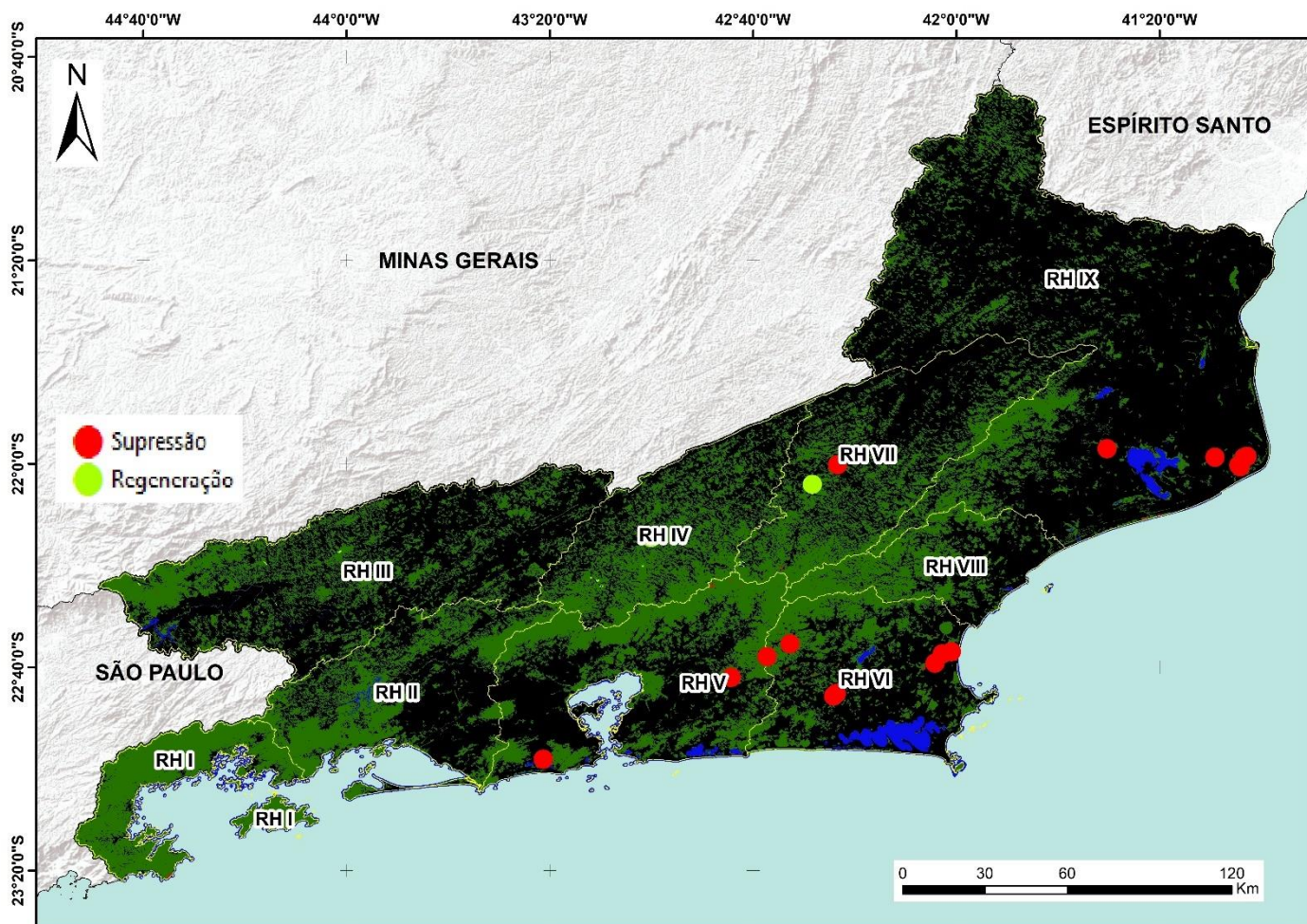
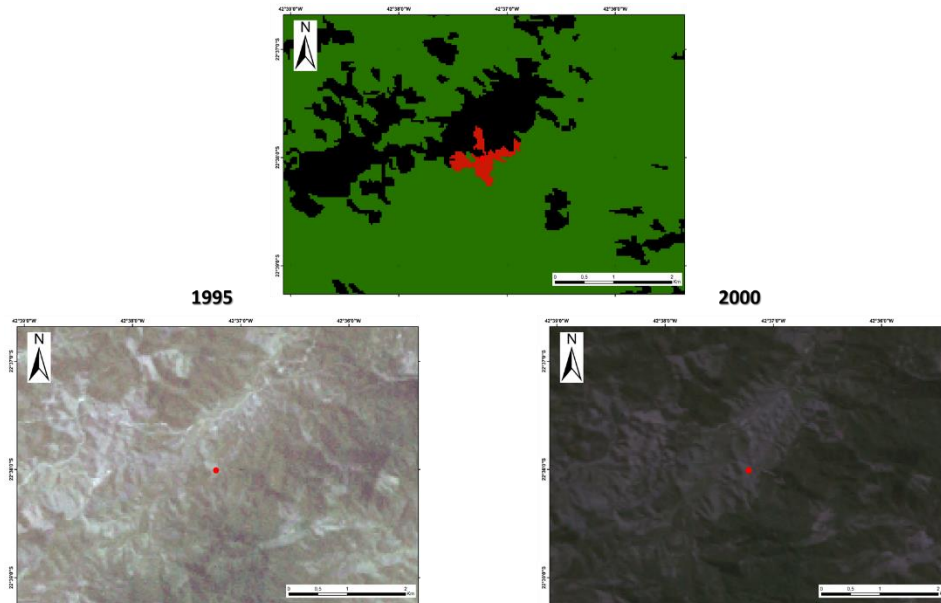


Figura 104 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 1995 e 2000

Podemos observar pela Figura 105 que realmente esse polígono foi uma área de supressão de floresta, esse mesmo padrão não se altera para o ponto vizinho. Já nas áreas da RH VI e IX próximas ao litoral, são supressão causadas por corte de silvicultura. Na RH V temos um ponto de supressão de vegetação de mangue próximo a Barra da Tijuca, esse ponto é onde foi construída mais tarde a Vila Pan-americana para os Jogos de 2007.

Um único ponto de regeneração correto foi identificado pelo modelo, esse ponto é de uma área que no primeiro momento era muito degradada e se tornou uma área de que parece ser de vegetação mais fechada.



*Figura 105 - Supressão Florestal no oeste da RHVI*

No mapa representativo do intervalo entre 2000 e 2005, apresentado na Figura 106, temos um número maior de regenerações focadas nas RHs IX e III, na última a maioria dos pontos se dá por plantio de silvicultura, já na primeira são áreas que eram degradadas no primeiro momento e se transformaram em uma vegetação mais robusta.

Na Figura 107 vemos o exemplo do plantio de silvicultura estabelecido no sudoeste da RH III, uma das áreas mais dinâmicas desde o início da análise. Nesse exemplo em especial vemos alguns problemas de contorno nos polígonos. Duas questões podem estar ligadas a isso: A primeira é não junção dos polígonos de regeneração o que faz com que alguns eles possam ser generalizados na modelagem e o a segunda questão é a não detecção do modelo para essas áreas.

Ainda nesse intervalo observamos três pontos de supressão florestal dois na RH III e um na RH IV, o mais a oeste na RH III é um desmatamento florestal no pé do maciço do Itatiaia, já o segundo ponto da RH III é uma supressão próximo ao Rio Paraíba do Sul também de mata.

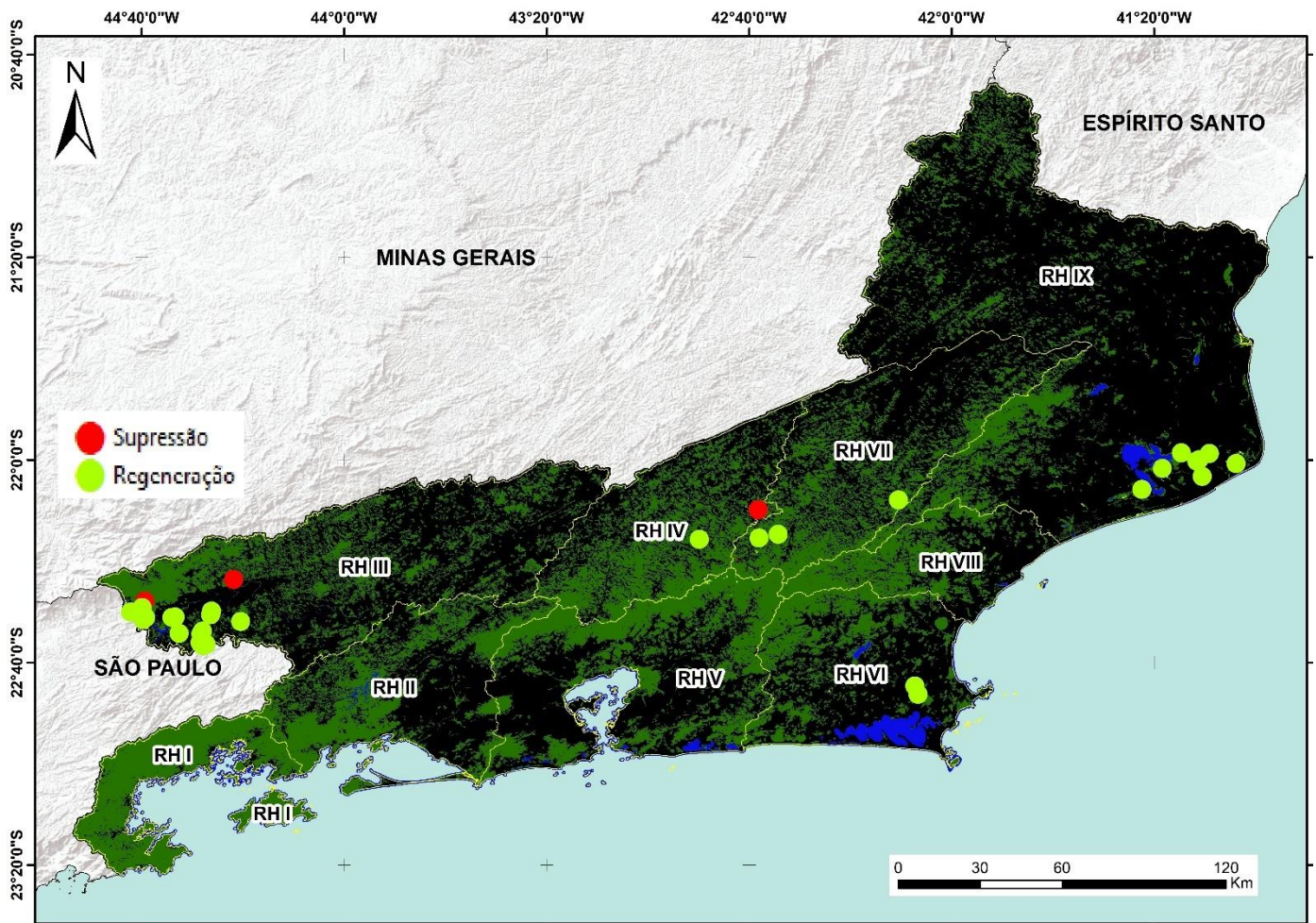


Figura 106 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 2000 a 2005

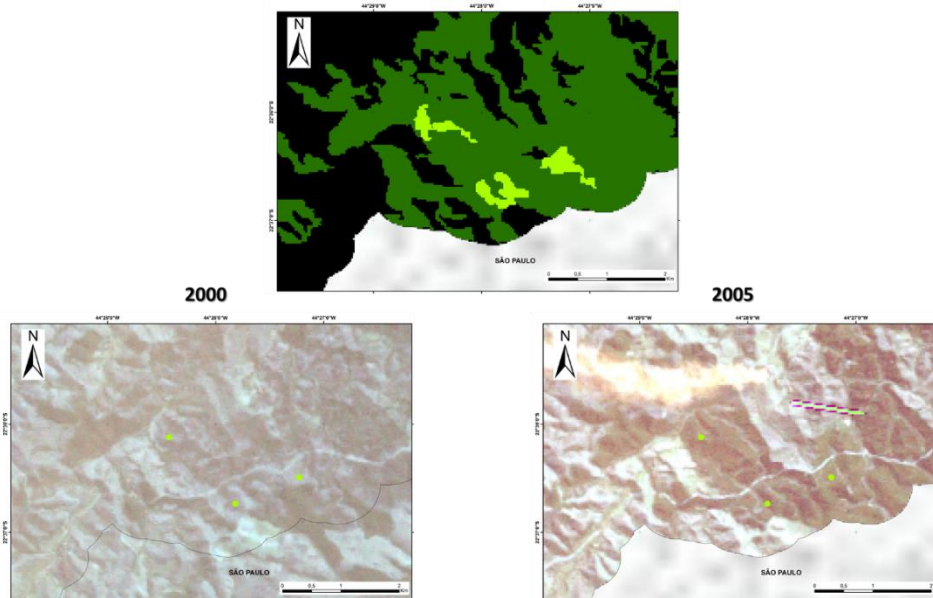


Figura 107- Exemplo de Plantio de Silvicultura na RH III

O quinto mapa, apresentado na Figura 108, representa o intervalo entre 2005 e 2010, esse mapa nos mostra o quanto as regenerações ficaram espalhadas nas áreas do Médio Paraíba e que há pouquíssimas supressões.

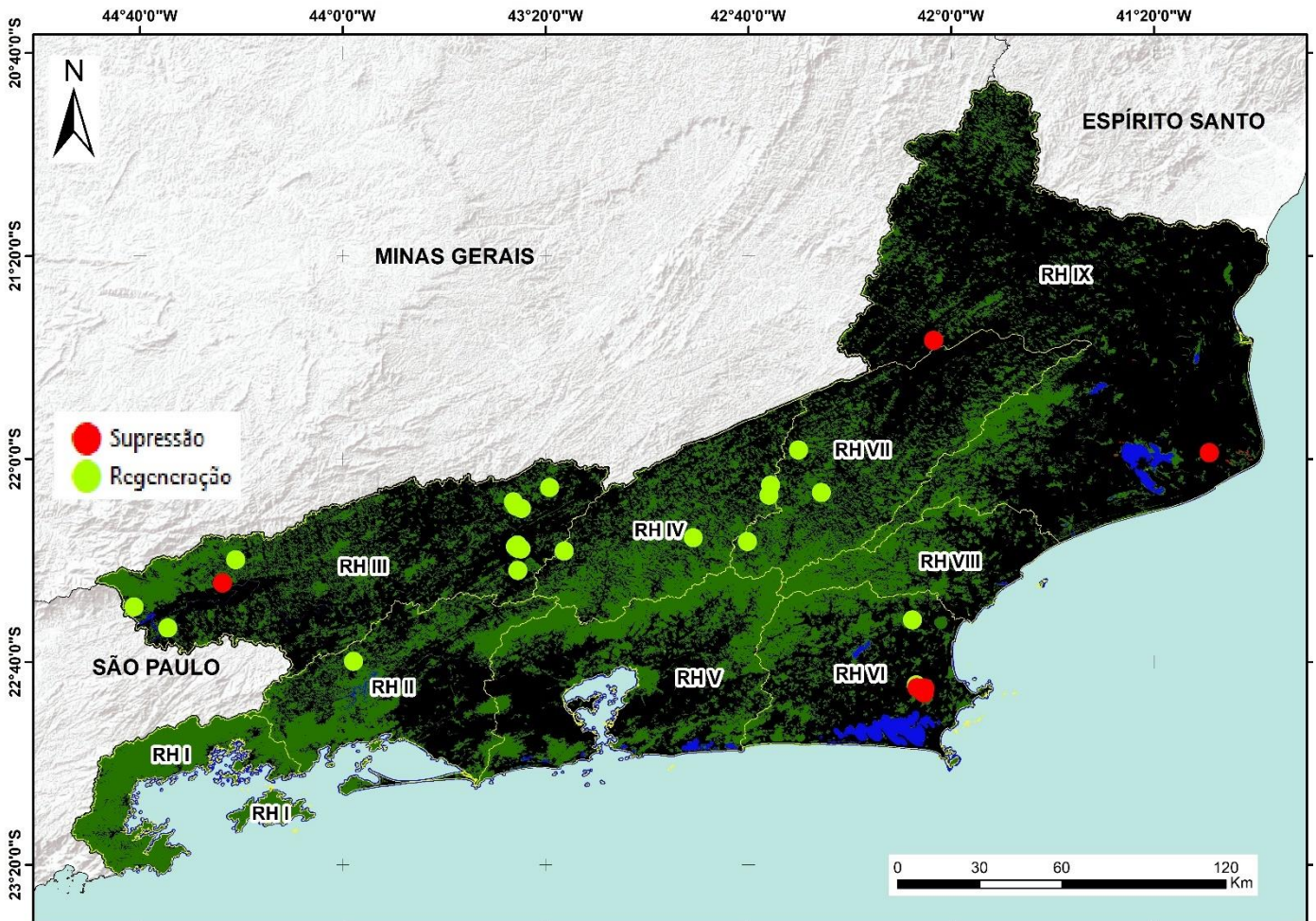
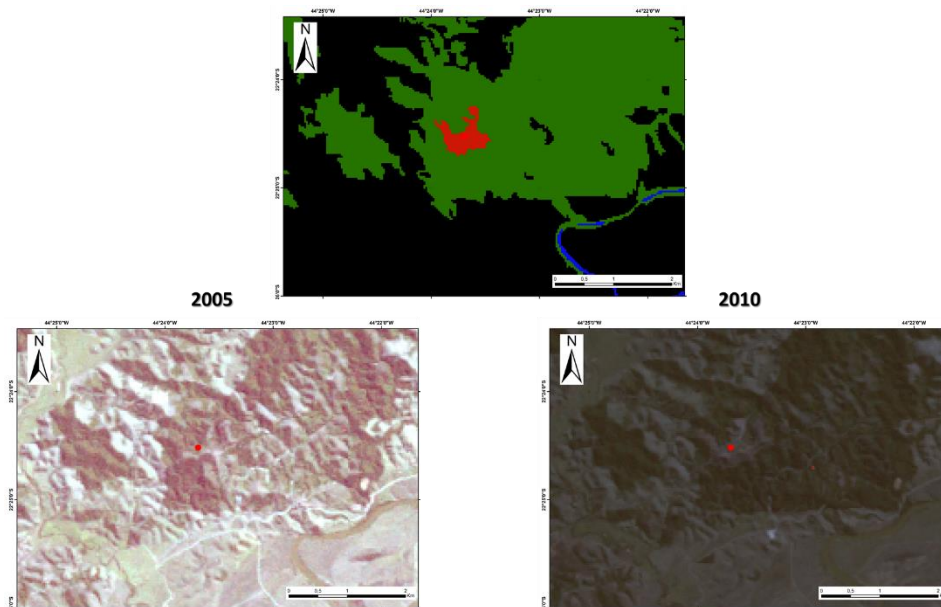


Figura 108 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 2005 a 2010

Na Figura 109 podemos ver um desses poucos desmatamentos do intervalo, ele está na RH III, é uma área de que parece ser de silvicultura e sofreu supressão florestal. As outras áreas de supressão se caracterizam por cortes de silvicultura ou degradação de áreas que possuíam vegetação e passaram a ter solo exposto.

As regenerações em sua maioria são de silvicultura, mas os dois pontos ao sul das RHs IV e VII são regenerações de vegetação secundária.



*Figura 109 - Supressão Florestal em Volta Redonda - RH III*

No sexto intervalo entre 2010 e 2015, apresentadas na Figura 110, volta-se a identificar muitas dinâmicas no estado, tanto de regeneração, quanto de supressão. A maior parte dessas mudanças ocorre na vertente norte da Serra do Mar, no vale do Rio Paraíba, onde as áreas são mais planas. A maior parte das regenerações ocorridas se dão por manejo de áreas de silvicultura, somente pontos da RH II e RH VI são caracterizados por regeneração florestal.

Já as supressões, também ocorrem em áreas de manejo de silvicultura e em áreas de recuo de manguezais como o exemplo do ponto da RH V, além disso os pontos mais a sul da RH IV e RH VII além de alguns pontos da RH III são de degradação florestal, esse ultimo podemos ver na Figura 111. Além dele na mesma figura está representada uma área de manejo de silvicultura que foi identidade como regeneração devido ao plantio da mesma no intervalo de 5 anos.

Por fim podemos observar que as áreas de mudanças a sudeste na RH VI são áreas equivalentes com as mudanças anteriores, com suas classes respectivamente trocadas, o que caracteriza áreas de plantio.

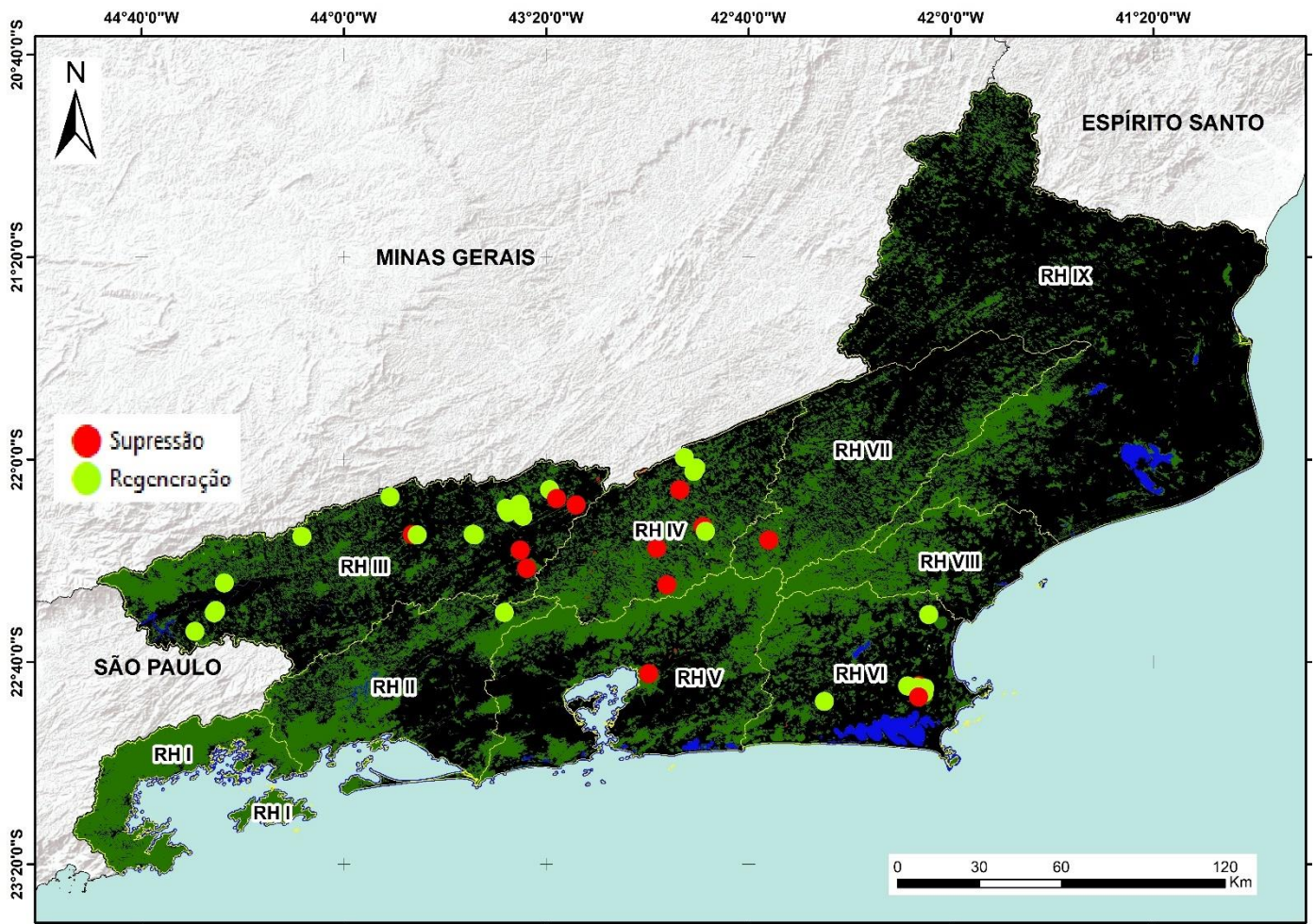


Figura 110 - Regeneração e Supressão em Áreas Florestadas entre 2010 e 2015

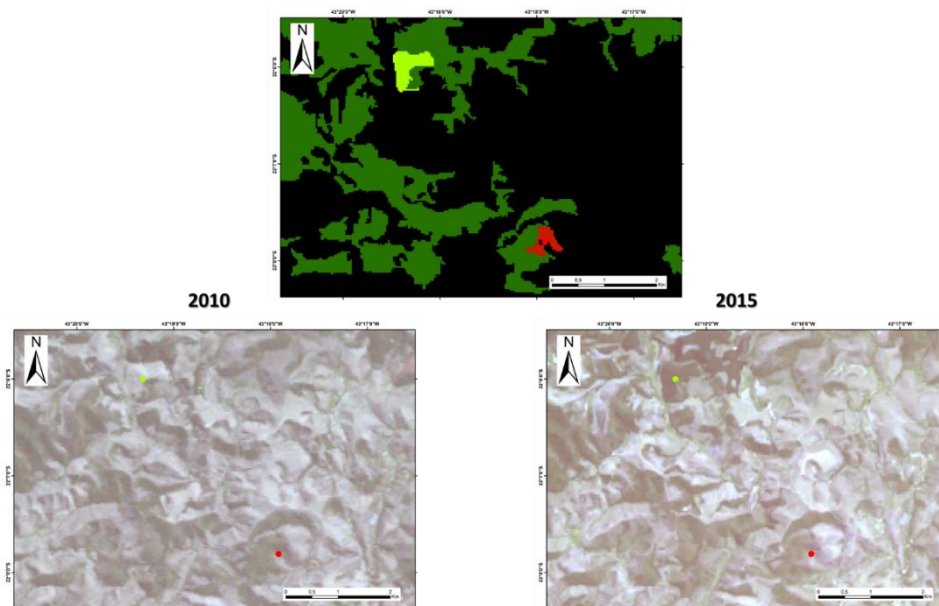


Figura 111 - Supressão e Regeneração Florestal no leste da RH III

O último intervalo, apresentado pela Figura 112, que vai de 2015 a 2018, um intervalo menor do que os anteriores, vemos que foram identificados somente polígonos de regeneração. Em sua maioria esses polígonos são de manejo de silvicultura, mas alguns como os representados ao sul da RH IV e RH VII e o ponto ao norte da RH VI, se apresentam como regenerações florestais de vegetação secundária.

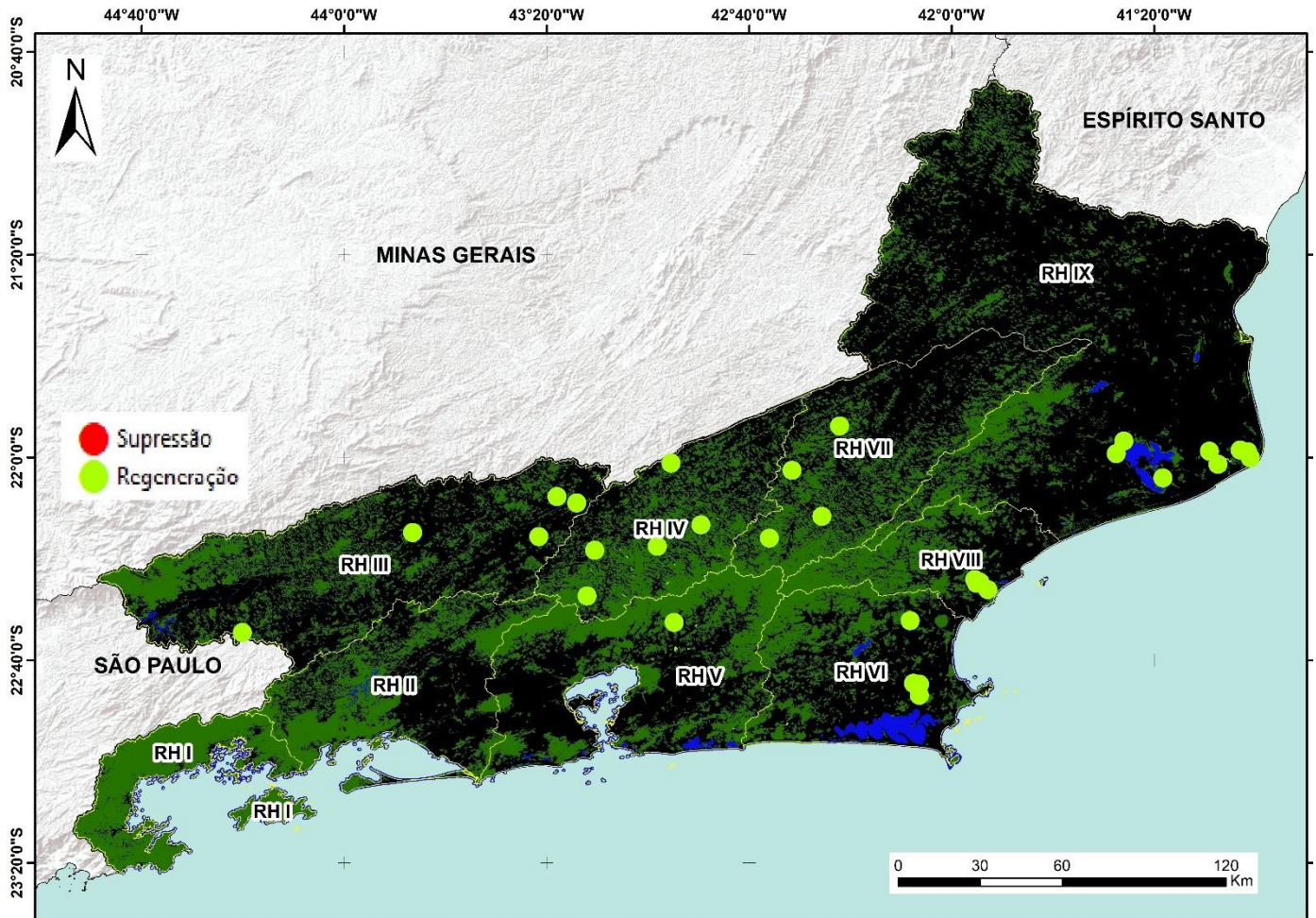
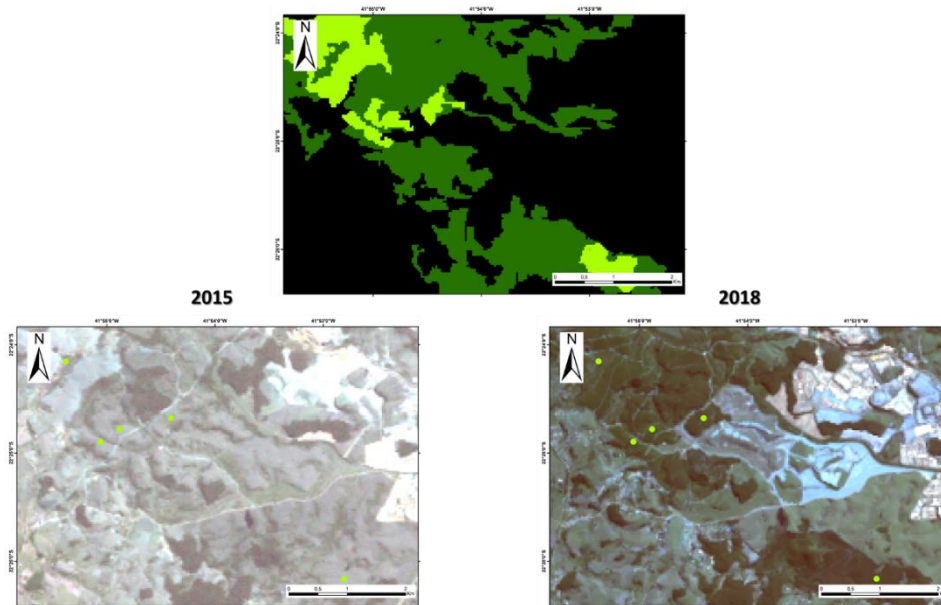


Figura 112 - Regeneração em Áreas Florestadas entre 2015 a 2018

Na Figura 113 podemos grandes áreas de plantio de silvicultura da RH VIII, ativadas nesse último período, pois não foram identificadas anteriormente em nenhum intervalo.



*Figura 113 - Plantio de Silvicultura na RH VIII*

Comparando as dinâmicas pode-se perceber que algumas áreas possuem mais variâncias que outras, umas de ativação mais recente, outras de abandono quando, falamos de manejo de silviculturas. Pela dinâmica podemos caracterizar os usos dessas áreas, como por exemplo a própria silvicultura com cortes de 5 a 7 anos, ou supressões florestais, áreas que sofreram essa dinâmica e não voltaram e ter nenhuma outra mudança.

Por esse motivo foi construído dois mapas a partir da análise espacial, um de variância que mostra o quão esses pontos de mudança variaram durante o recorte temporal de estudo e um segundo que representa a soma total entre supressão e regeneração, para que seja possível fazer uma análise se esses pontos possuem um atributo dinâmico neutro, ou de regeneração ou de supressão durante todo o recorte.

As Figuras 114, 115 e 116 trazem o mapa de variância e alguns zoons nas áreas mais dinâmicas, podemos observar que as áreas mais dinâmicas são aquelas que possuem manejo de silvicultura, como vemos na imagem 115 que mostra a parte da RH VI. Os pontos com altíssima variância por exemplo da Figura 115 possuem variações em pelo menos quatro intervalos.



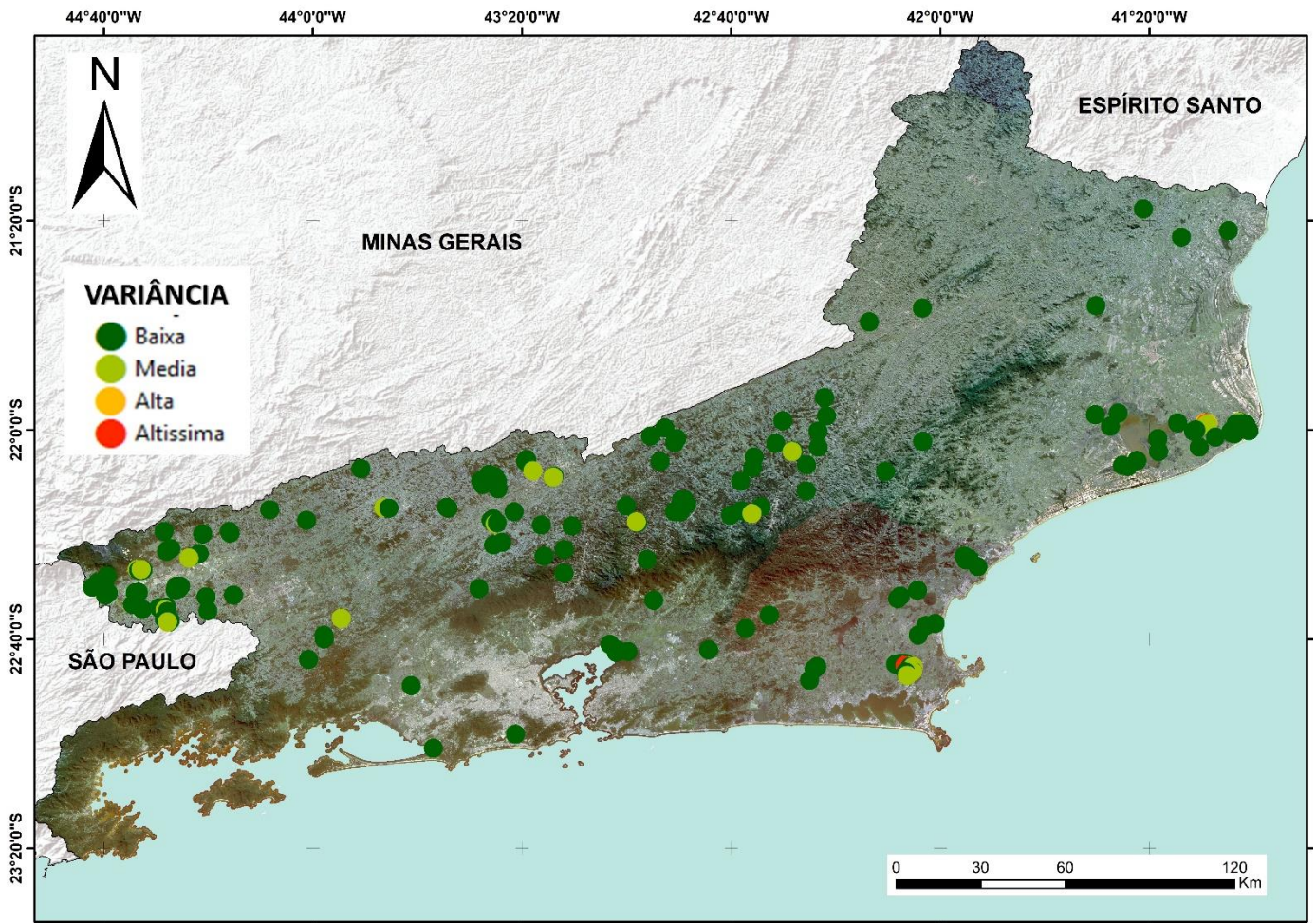


Figura 114 - Variância de Mudança

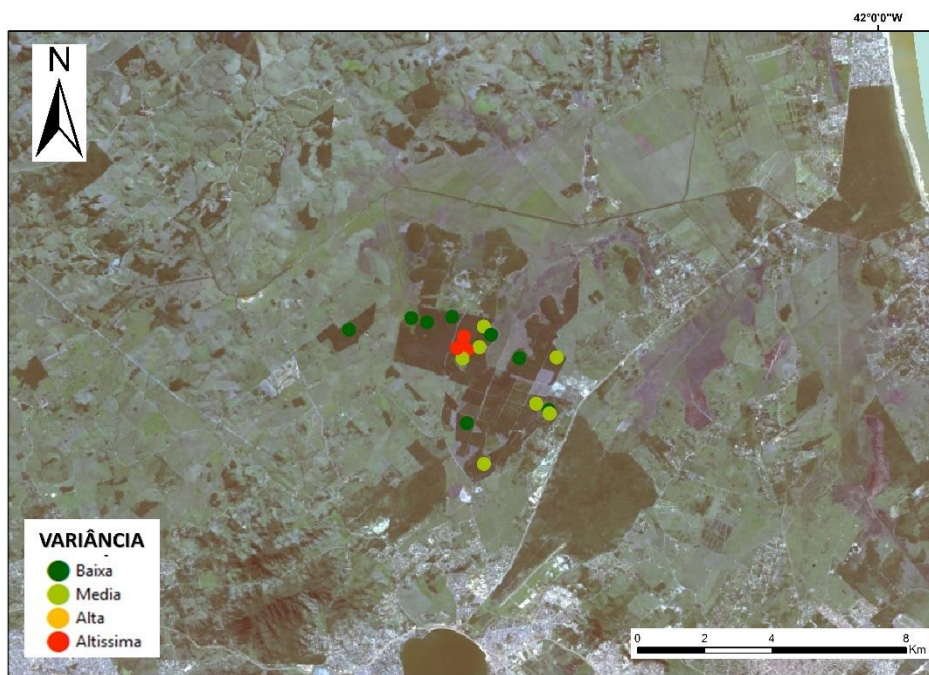


Figura 115 - Variância de Mudança - Sudeste da RH VI

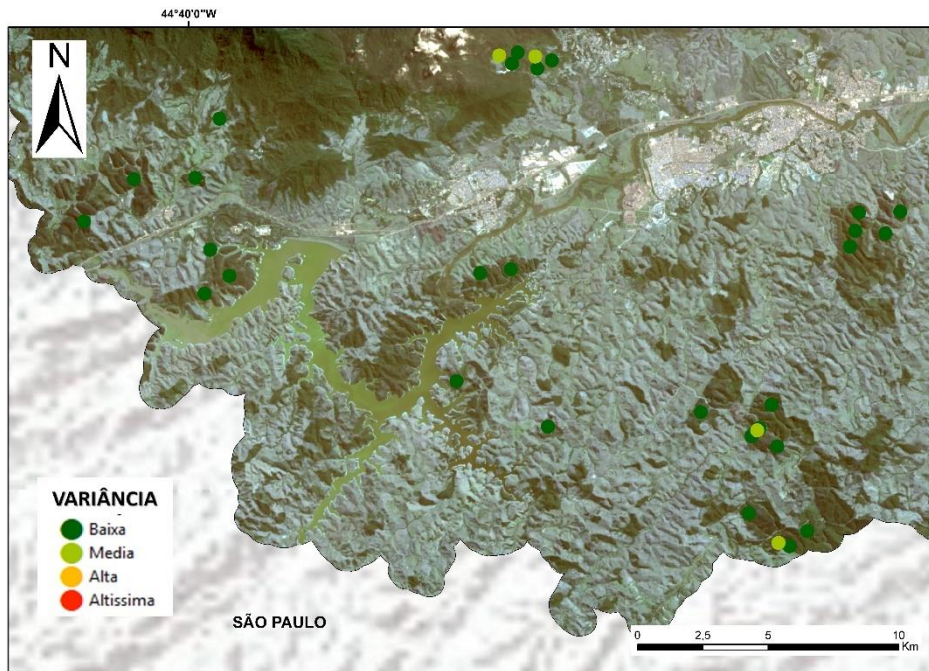


Figura 116 - Variância da Mudança - Sudoeste da RH III

Já na Figura 117, podemos observar a saldo da mudança, como regeneração, supressão ou neutro.

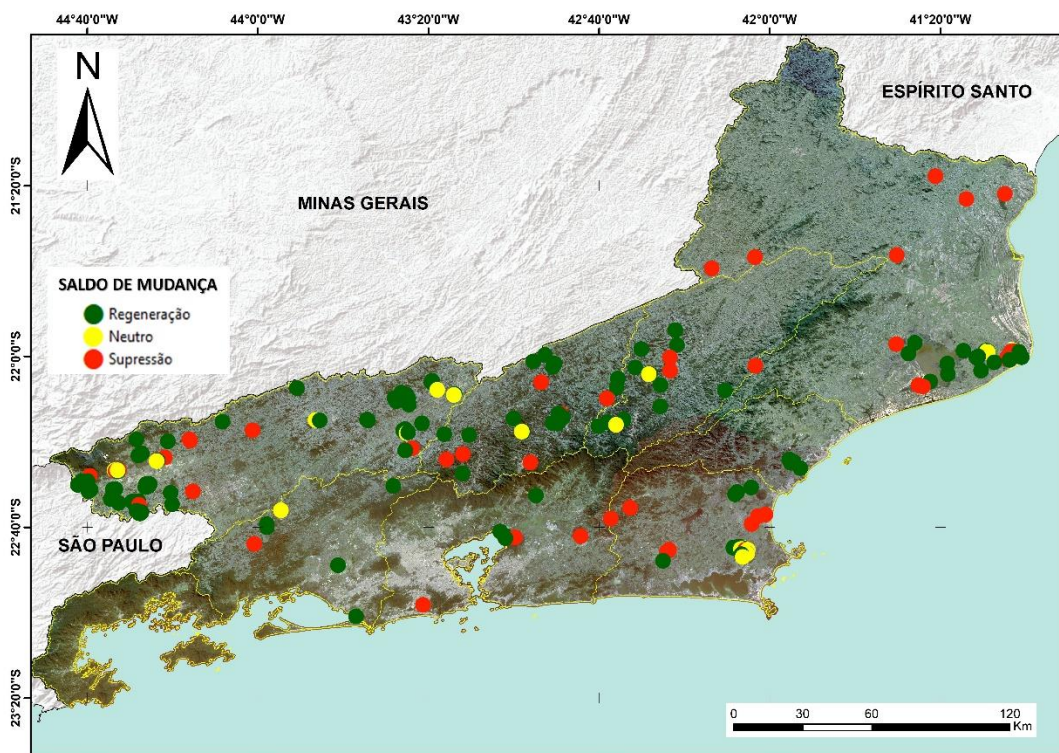
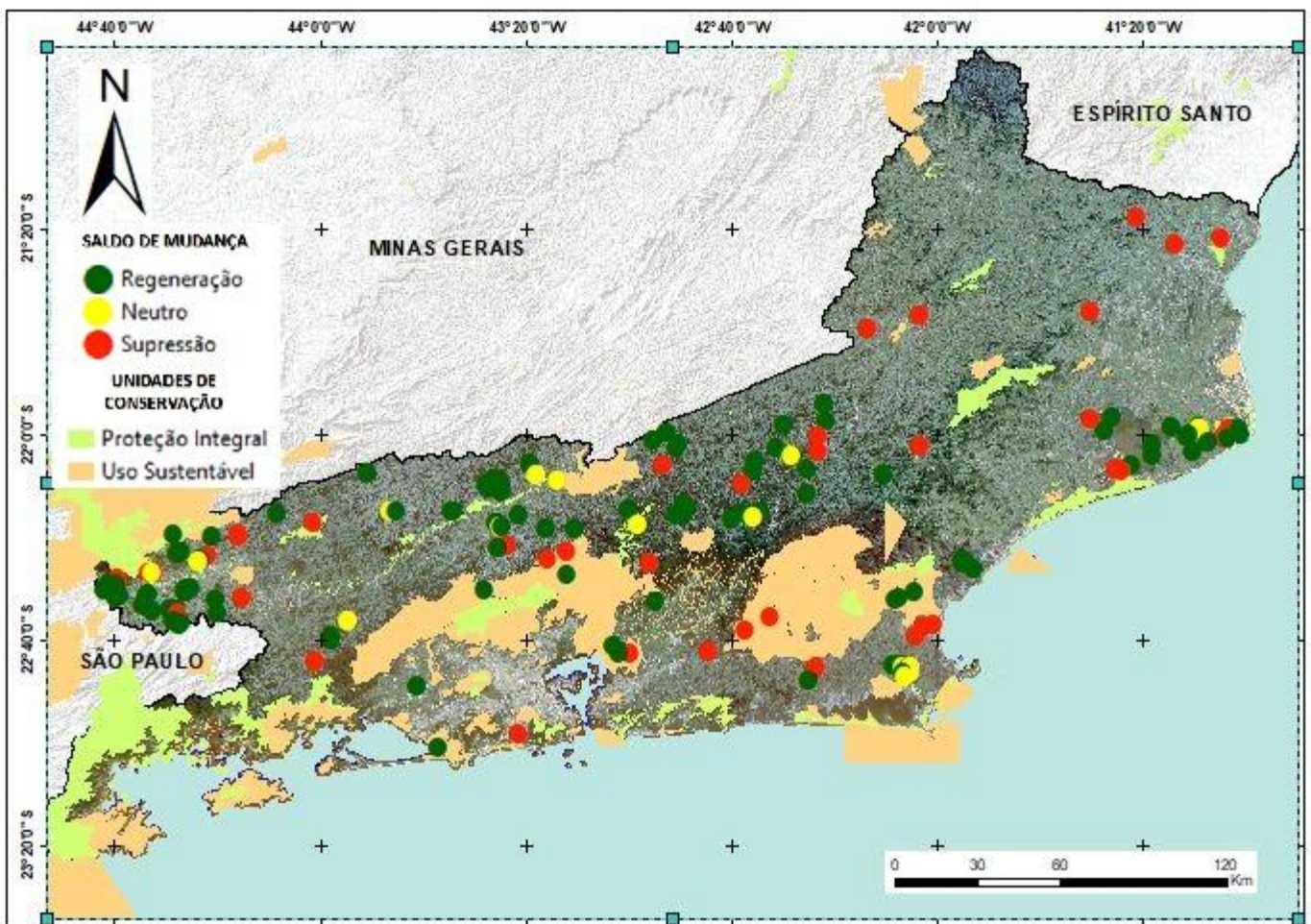


Figura 117 - Mapa do Saldo de Mudança

Nessa figura onde o saldo é de regeneração é que a soma de todas as mudanças gerou um saldo de regeneração, a mesma coisa serve para a tipologia inversa. Podemos observar no mapa um equilíbrio espacial de supressão e regeneração e uma maior ocorrência de regenerações durante o recorte temporal em estudo.

Ainda se compararmos o mapa de saldo de mudanças com o mapa de UCs do estado, encontramos um padrão interessante, onde a maior parte dos pontos de mudança acontece fora de áreas de protegidas (Figura 118). Outra importante informação é que há somente sete pontos de supressão identificados como supressão dentro de unidades de conservação de proteção integral.



*Figura 118 - Saldo de Mudanças e UCs*

Os sete pontos foram analisados e como resultado foi obtido que as unidades de conservação a que eles pertencem foram criadas após as áreas sofrerem as supressões,

isso deixa claro o que em nenhum outro caso houve supressão florestal identificada pela modelagem enquanto a área já fosse uma UC de proteção integral.

Ponto	1985 a 1990	1990 a 1995	1995 a 2000	2000 a 2005	2005 a 2010	2010 a 2015	2015 a 2018		ANO DA UC
1	Supressão	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança		2002
17	Convervação	Convervação	Supressão	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança		2012
20	Convervação	Convervação	Supressão	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança		2012
30	Convervação	Convervação	Supressão	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança		2012
31	Convervação	Convervação	Supressão	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança		2012
89	Convervação	Supressão	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança		2017
117	Supressão	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança	Não Mudança		2010

*Figura 119 - Investigação de casos de Supressão em UCs de Proteção Integral*

## 5.4. Conclusão

Ao fim desse capítulo podemos concluir que ainda são necessárias muitas investigações de modelos para a detecção e mudanças em áreas florestadas. É necessário ainda que se aprimore máscaras que evitem erros de classificações, como marcaras de nuvens, de florestas e até de água.

Em relação as classificações e aos modelos podemos considera-los aceitáveis, já que foram usados limiares iguais para todos os intervalos, assim subestimando ou superestimando em alguns casos a identificação tanto de áreas de regeneração como de áreas de supressão florestal

Outra conclusão que se tira desse capítulo é a importância dos estudos focados em identificação de áreas de silvicultura, pois essas áreas respondem espectralmente semelhantes a florestas, causando problemas quando o objetivo é estudos de áreas naturais ou não manejadas. Mas ao mesmo tempo foi-se possível observar que esse modelo é um ótimo detector de mudanças dessa cobertura, já que em sua maioria foi essa que respondeu estatisticamente por quase toda mudança encontrada nas análises espaço temporais.

Assim se faz necessário para aprimorar os estudos desse capítulo os usos de máscaras de silvicultura, além de aprimorar as outras mascaras e a investigação de limiares de tipificação das mudanças florestais para cada intervalo de tempo do recorte espacial, dando origem a modelos mais adequados e fieis a realidade.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após esses cinco capítulos é possível responder as questões que foram propostas nos objetivos dessa dissertação, consolidar análises feitas ao decorrer do texto e ainda planejar trabalhos futuros a partir da mesma.

Assim como já mencionado ao fim do Capítulo 3 e em diversas outras bibliografias apontadas aqui, o pré-processamento de imagens é crucial para estudos multitemporais, principalmente quando esses estudos envolvem detecção de diferenças entre pixels, como foi o caso dessa dissertação. De modo geral foi possível a adaptação de métodos já testados e consagrados de pré-processamento, como a correção atmosférica, normalização radiométrica e equalização para a um único estudo sem detrimento que prejudicasse a pesquisa e nem as características das imagens de escolha. Além disso foram obtidos resultados muito satisfatórios para o objetivo desejado e em consideração aos limites de tempo, software e hardware.

As curvas dos pontos invariáveis dos mosaicos obtidos tiveram respostas bem expressivas, assim o método usado pode servir de apoio a construção de um roteiro de pré-processamento para estudos semelhantes a esse. Mas ainda há muito o que se avançar, principalmente nas questões de agilidade de processos e aprimoramento de métodos.

O uso e descoberta de descritores dinâmicos para a detecção de mudanças e aplicação deles numa abordagem híbrida abre um leque de novas possibilidades. Os resultados estatísticos e visuais obtidos foram satisfatórios em consideração ao objeto de estudo e o nível em que a pesquisa objetivou chegar, já que aqui nessa dissertação focou-se nos descritores que melhor identificasse mudanças em áreas florestadas. Mas existem diversas outras dinâmicas importantes que demandam estudos e que esses descritores podem ser úteis.

Os descritores dinâmicos construídos e avaliados para a detecção de mudanças nos deu um arcabouço de análise enorme que não foi totalmente usado nessa dissertação. A simplificação desses descritores para a criação de modelos visando mapeamentos multitemporais se torna útil em diversas frentes, tanto de agilidade de tempo como de espaço e quantidade de processos gerados. Com isso a presente pesquisa não esgota o campo de investigação de limiares e descritores para a detecção de mudança e faz-se

necessário assim, como já dito anteriormente uma melhor análise exploratória de mais limiares dos descritores aqui criados e a criação de novos descritores que podem assim nos dar maior possibilidades de escolhas.

A identificação das trajetórias evolutivas da floresta teve como limite a modelagem e as variáveis usadas nessa pesquisa, os resultados obtidos são consideráveis e mais investigações são necessárias para a descoberta de novos limiares para tipificar as trajetórias florestais. Modelos de classificação de marcaras precisam ser agregadas ao modelo construído para se aprimorar os resultados que podem ser obtidos.

As análises realizadas nesse último capítulo mostram o valor dos resultados obtidos e dos modelos que foram gerados, precisa-se explorar mais as análises em cima desses resultados e além disso pensar em novas formas de representação das mudanças de modo que seja mais fácil passar essas informações para mapas.

Por fim, aliando os capítulos 3, 4 e 5 que são os capítulos metodológicos coo os capítulos 1 e 2, conceituais, é possível um entendimento da importância dos estudos de detecção de mudanças para a gestão e o ordenamento territorial ligado não somente ao meio ambiente, mas a todas as frentes de análise. E que a descoberta e o aprimoramento de métodos que auxiliem na proteção de paisagens naturais usando geotecnologias, principalmente remanescentes florestais, como é Mata Atlântica ainda é uma meta a ser alcançada.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. B.; AMARAL, F. G.; CRUZ, C. B. M. Caracterização espectral da floresta e áreas alagadas em imagens Worldview-2. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR)**, 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 2238-2245.

ABREU, Marcelo Bueno. Contribuição metodológica para detecção de mudança em cobertura florestal em mesoescala. **Tese (doutorado)** - UFRJ. 2018

AMARAL, Felipe. G. Análise Exploratória De Descritores Dinâmicos Orbitais Para Estudos Multi-temporais. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)**. Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra – UFRJ. 2017

ANTROP, Marc. Landscape change: Plan or chaos?. **Landscape and urban planning**, v. 41, n. 3-4, p. 155-161, 1998.

BANSKOTA, A.; Kayastha, N.; Falkowski, M.J.; Wulder, M.A.; Froese, R.E.; White, J.C.,. Forest Monitoring Using Landsat Time Series Data: A Review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 40 (5), 362- 384. 2014

BARROS, Lidia Almeida. **Vocabulário enciclopédico das unidades de conservação do Brasil**. Editora UNIMAR, 2000.

BATISTA, Marlos Henrique. Classificação hierárquica orientada a objeto em imagens de alta resolução espacial empregando atributos espaciais e espectrais. 2006.

BRASIL. Lei nº 9.985/2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília: MMA/SBF, 2002. 52p.

BRUZZONE, Lorenzo; COSSU, Roberto. An adaptive approach to reducing registration noise effects in unsupervised change detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2455-2465, 2003.

BUZZETTI, D. R. C. Distribuição altitudinal de aves em Angra dos Reis e Parati, sul do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **A Ornitologia no Brasil: pesquisa atual e perspectivas**. Rio de Janeiro: Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (EdUERJ), p. 131-148, 2000.

CAMPANILI, Maura; SCHÄFFER, Wigold Bertolo. **Mata Atlântica: Manual de adequação ambiental**. 2010.

CANTY, Morton J.; NIELSEN, Allan A.; SCHMIDT, Michael. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 3-4, p. 441-451, 2004.

COIMBRA FILHO, Adelmar Faria. Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil. FBCN, 1996.

- COPPIN, Pol et al. Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International journal of remote sensing**, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, 2004.
- COSTA LIMA, Gustavo da. Questão ambiental e educação: contribuições para o debate. **Ambiente & sociedade**, n. 5, 1999.
- CRONEMBERGER, F.M. Paisagens da Serra do Mar: uma análise geoecológica da dinâmica da paisagem. 2014. 133 p. **Tese (Doutorado em Geografia)**, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2014.
- CRÓSTA, A. P. Caracterização espectral de minerais de Interesse-prospecção mineral e sua utilização em processamento digital de imagens. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 7, n. 1993, p. 202-209, 1993.
- CRUZ, Carla B. M. et al. Mapping the Atlantic Forest: GEOBIA contributions in a multiscale approach. In: **GEOBIA 2018 - GEOBIA IN A CHANGING WORLD**, 2018
- DA FONSECA PIMENTA, Maria Luisa et al. Estudo das incertezas da definição de parâmetros no processo de correção atmosférica. 2015
- DA SILVA, Jose Maria Cardoso; CASTELETTI, C. H. M. Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil. **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. CABS and Island Press, Washington, p. 43-59, 2003.
- DA, A. CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, 2000.
- DE CASTRO, Iná Elias. Escala e pesquisa na geografia. Problema ou solução?. **Espaço Aberto**, v. 4, n. 1, p. 87-100, 2014.
- DEAN, Warren. **A ferro e fogo**. São Paulo: Companhia das Letras, p. 87, 1996.
- DEWITT, Bon A.; WOLF, Paul R. **Elements of Photogrammetry** (with Applications in GIS). 2000.
- DOBSON, M. Craig; ULABY, Fawwaz T.; PIERCE, Leland E. Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. **Remote sensing of Environment**, v. 51, n. 1, p. 199-214, 1995.
- DRUMMOND, José Augusto; FRANCO, JL de A.; OLIVEIRA, D. de. Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil. **Conservação da Biodiversidade: Legislação e Políticas Públicas**. Brasília: Editora Câmara, 2010.
- FARINA, Almo. The cultural landscape as a model for the integration of ecology and economics. **BioScience**, v. 50, n. 4, p. 313-320, 2000.



FERNANDES, Pedro José Farias; VICENS, Raúl Sanchez; DE ALMEIDA FURTADOS, Luiz Felipe. MODELO AUTOMÁTICO DE NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE SÉRIE MULTITEMPORAL LANDSAT-5 USANDO PONTOS PSEUDOINVARIANTES (PIF). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 2, 2017.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Geotecnologia aplicada ao estudo de objetos e fenômenos do meio físico. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 4, n. 4, 2012.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005.

FORMAN, Richard TT; GODRON, M. **Landscape ecology**. 619pp. Jhon Wiley & Sons, New York, 1986.

FRANÇA, A. F. de; TAVARES-JÚNIOR, J. R.; MOREIRA-FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa Olho D'Água, em Jaboatão dos Guararapes – PE. In: **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação**. Anais... Recife – PE, 06 a 09 de maio de 2012, p. 001-009.

FRANCO, José Luiz de Andrade; SCHITTINI, Gilberto de Menezes; BRAZ, Vivian da Silva. História da conservação da natureza e das áreas protegidas: panorama geral. 2015.

GONZALEZ, R. C.; WOODS R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. Tradução R. M. CESAR JUNIOR e L. F. COSTA. Edgard Blucher, 2000, 509 p.

Hall, F.G., D.E. Strelbel, J.E. Nickeson, and S.J. Goetz, 1991. Radiometric rectification: Toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images, **Remote Sensing of Environment**, 35:11-27.

HAY, Geoffrey J.; CASTILLA, Guillermo. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: **Object-based image analysis**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 75-89.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Parêntese, 2011.

JUFFE-BIGNOLI, Diego et al. Protected planet report 2014. **UNEP-WCMC**: Cambridge, UK, v. 11, 2014.

KRÜGER, Eduardo L. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 4, 2001.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. 1a. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424p.

LATORRE, Marcelo et al. Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. **Revista Espaço e Geografia**, v. 5, n. 1, 2010.

LILLESAND, Thomas M.; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. New York: JohnWiley and Sons. 2004.

LU, Dengsheng et al. Change detection techniques. **International journal of remote sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.

MACLEOD, Robb D.; CONGALTON, Russell G. A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 64, n. 3, p. 207-216, 1998.

MALUF et al., 2015. Eficácia de um método de normalização radiométrica utilizando imagens Landsat 5 TM. In: XVII Anais **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015, João Pessoa-PB**, Brasil. INPE, (2015).

MANTOVANI, Waldir. A degradação dos biomas brasileiros. Patrimônio ambiental brasileiro, p. 367-439, 2003.

MCCORMICK, John. Rumo ao paraíso: a história do movimento ambientalista. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, v. 224, 1992.

MENESES, Paulo Roberto et al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, p. 01-33, 2012.

MENKE, Aline Brignol et al. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luis Eduardo Magalhães (BA-Brasil). 2009.

MORAN, Emilio F. Human adaptability. An Introduction to Ecological Anthropology. 3rd, 1982.

MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, 2000.

NASCIMENTO, C. R. Correção atmosférica de imagens do sensor AVHRR/NOAA utilizando produtos atmosféricos do sensor MODIS. **TERRA**, v. 129, 2006.

NAVEH, Zev; LIEBERMAN, Arthur S. Landscape ecology: theory and application. Springer Science & Business Media, 2013.

NIELSEN, A. A., Conradsen, K., & Simpson, J. J. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF post-processing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies. **Remote Sensing of Environment**, 64, 1–19. 1998

NOVO, Evelyn M.L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**, v. 4, 2008.

NOVO, Evelyn M.L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. Editora Edgard Blücher, 1989

OLIVEIRA-FILHO, Ary T.; FONTES, Marco Aurélio L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate 1. *Biotropica*, v. 32, n. 4b, p. 793-810, 2000.

PAOLINI, Leonardo et al. Radiometric correction effects in Landsat multi-date/multi-sensor change detection studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p. 685-704, 2006.

PELLEGRINO, Paulo RM. Pode-se planejar a paisagem?. **Paisagem e Ambiente**, n. 13, p. 159-179, 2000.

PINTO, Luiz Paulo et al. Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa, p. 91-118, 2006.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

RISSER, Paul G. Landscape ecology: state of the art. In: **Landscape heterogeneity and disturbance**. Springer, New York, NY, 1987. p. 3-14.

RIZZINI, Carlos Toledo. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Âmbito Cultural, 1997.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, EV da; CAVALCANTI, Agostinho Paula Brito. **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: editora UFC, p. 27-30, 2004.

ROGAN, John; FRANKLIN, Janet; ROBERTS, Dar A. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 143-156, 2002.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2011.

SANCHES, Joyce Helena; MAGRO, Teresa Cristina; DA SILVA, Demóstenes Ferreira. Distribuição espacial da *Terminalia catappa* L. em área de restinga no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Picinguaba, Ubatuba/SP. Anais **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, INPE, p. 1831-1838, 2007.

SANTOS, Rozely F dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. 184p. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. ISBN, v. 355771044, 2004.

SILVA, A. M. Curso Processamento digital de imagens de satélite. XX CBC–68p, 2001.

SILVA, Julia Q. L. Detecção de mudança em áreas antrópicas no município do Rio de Janeiro nos anos de 1990, 2004 e 2014 auxílio da temperatura de superfície. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016.

SINGH, Ashbindu. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International journal of remote sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.

SOUZA, I. de M.; BORTOLANZA, A. M. Sensoriamento Remoto Orbital Aplicado a Estudos Urbanos. São José dos Campos: INPE, 2012.

TURNER, Monica Goigel et al. (Ed.). Quantitative methods in landscape ecology. New York, NY: Springer Verlag, 1991.

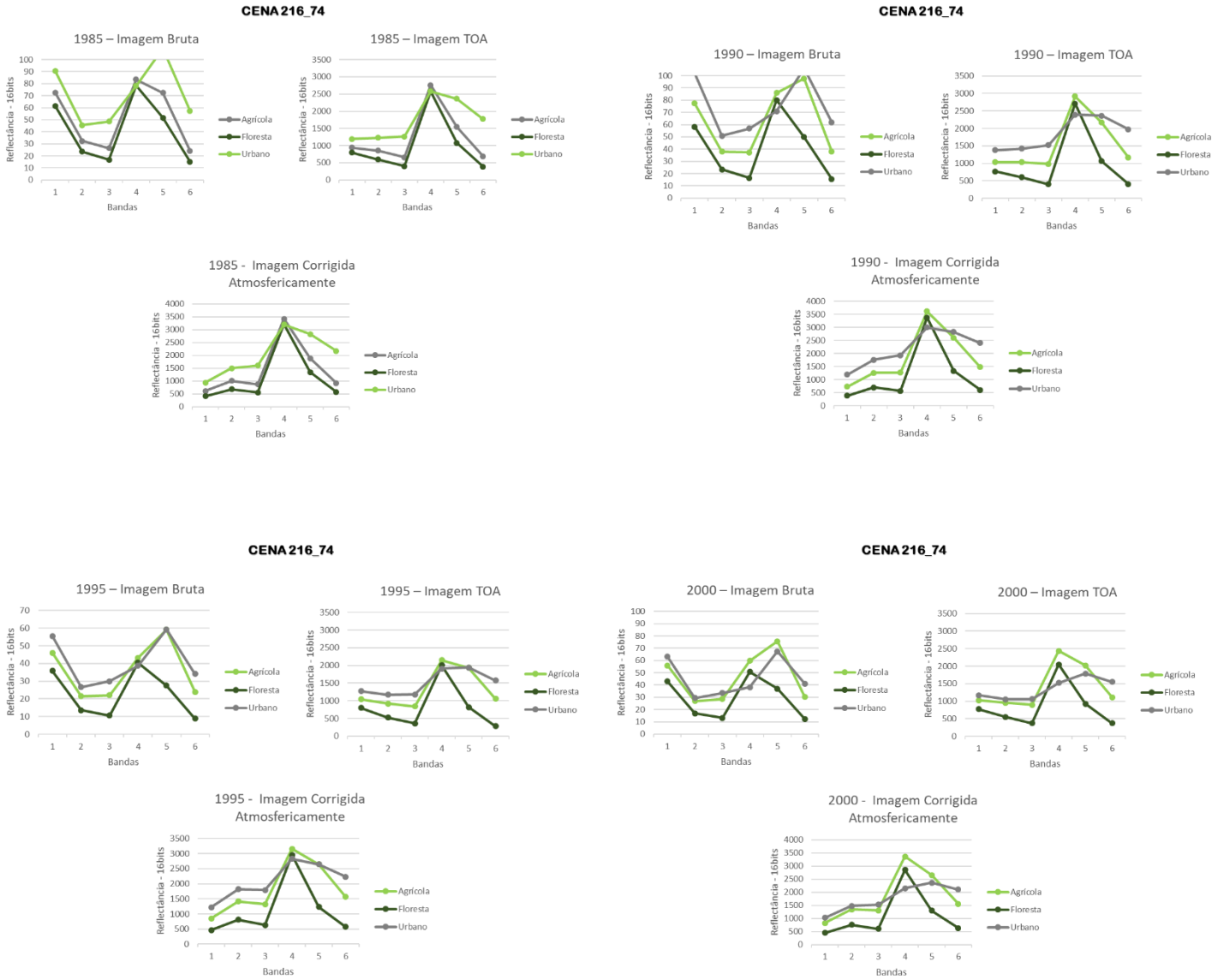
VICENS, Sanchez et al. MÉTODO HÍBRIDO DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS: UMA ASSOCIAÇÃO ENTRE CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETOS E BASEADA EM PIXELS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 5.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R.S. Método híbrido de detecção de mudanças: uma associação entre classificação baseada em objetos e baseada em pixels. **Revista Brasileira de Cartografia**, 68 (05), p. 883- 899. 2016

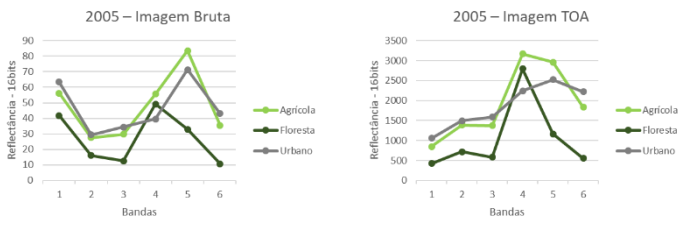
WECKMÜLLER, Rômulo; VICENS, Raúl Sánchez. As geotecnologias e a detecção de trajetórias evolutivas da paisagem: possibilidades metodológicas e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 06, p. 2140-2159, 2018.

# ANEXOS

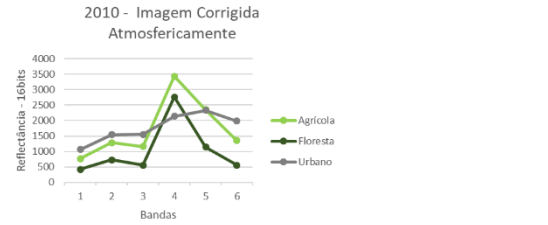
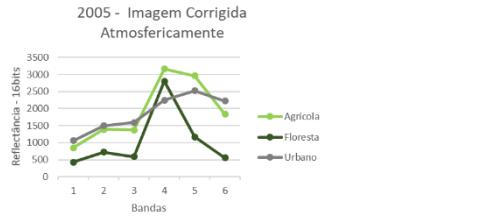
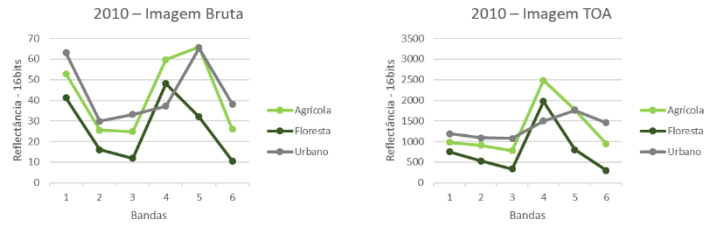
## Anexo 1 – Gráficos da Correção Atmosférica



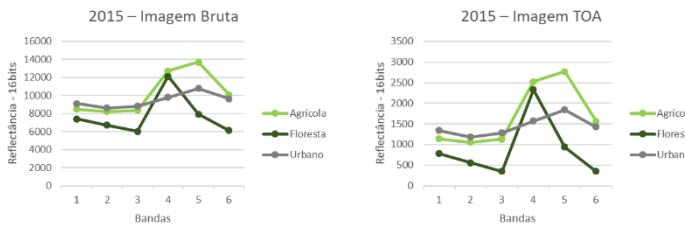
**CENA 216\_74**



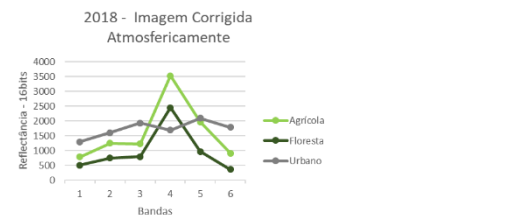
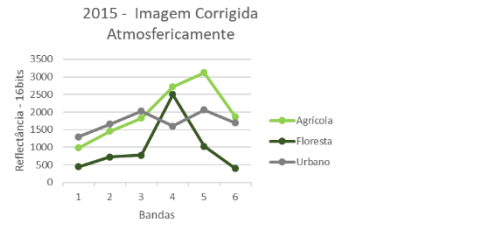
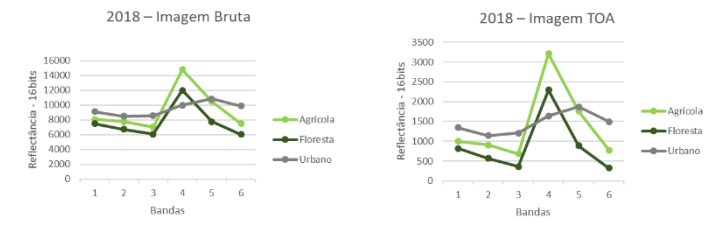
**CENA 216\_74**



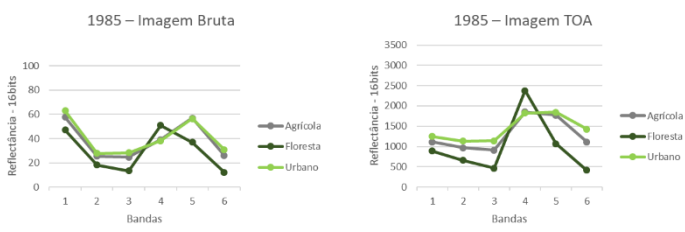
**CENA 216\_74**



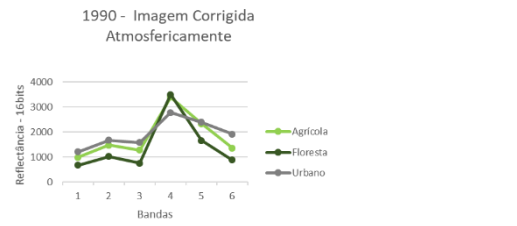
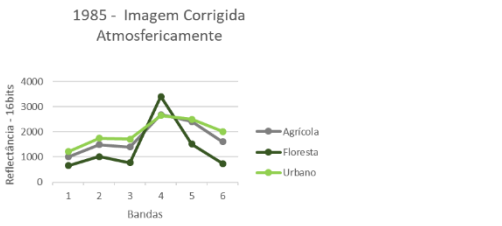
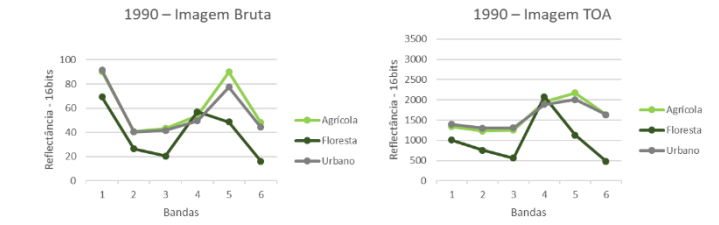
**CENA 216\_74**



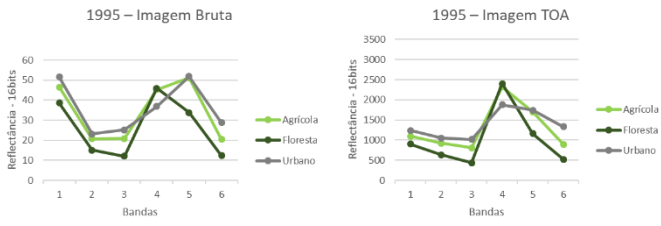
**CENA 216\_75**



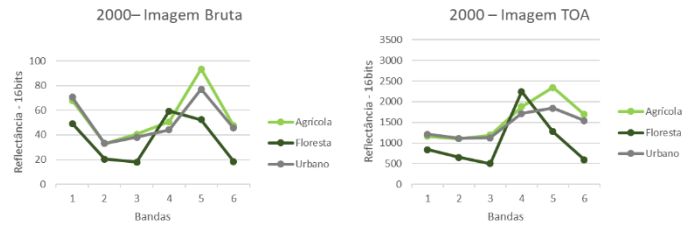
**CENA 216\_75**



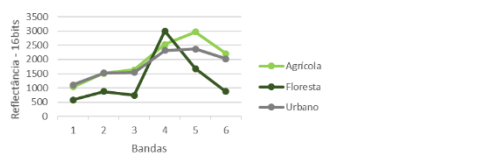
**CENA216\_75**



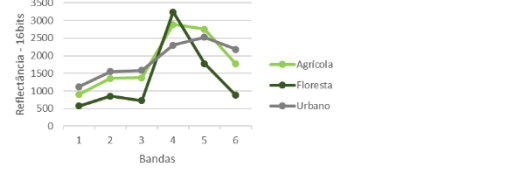
**CENA216\_75**



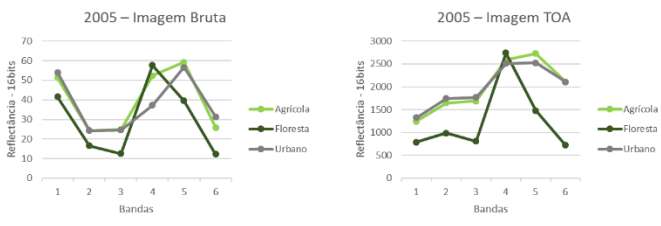
**1995 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



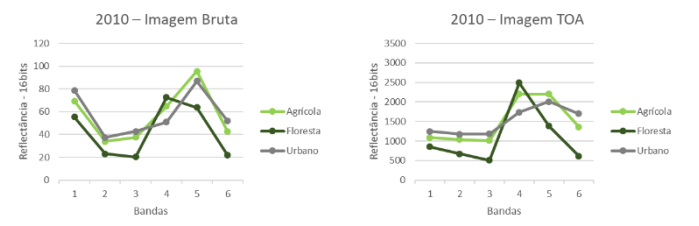
**2000 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



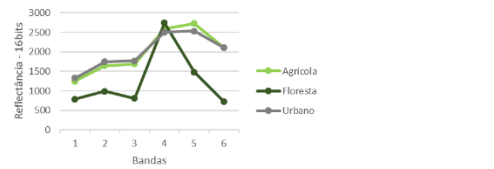
**CENA216\_75**



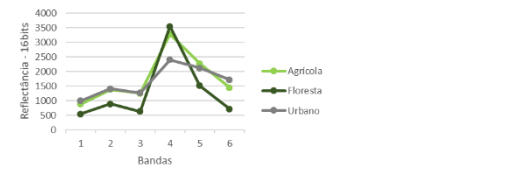
**CENA216\_75**



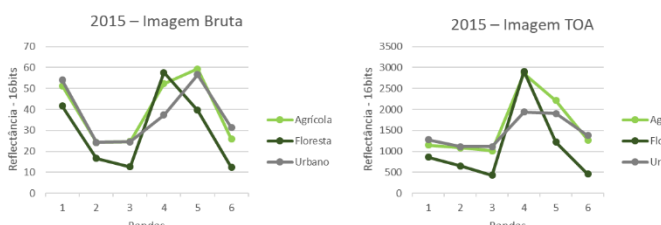
**2005 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



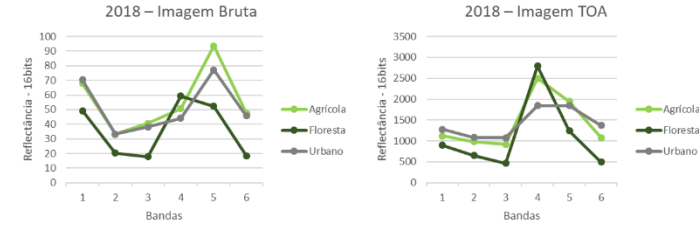
**2010 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



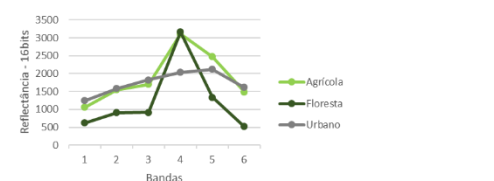
**CENA216\_75**



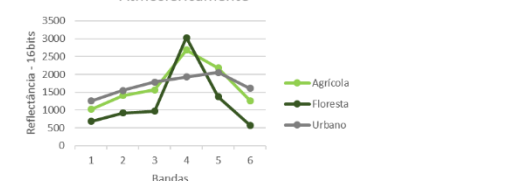
**CENA216\_75**



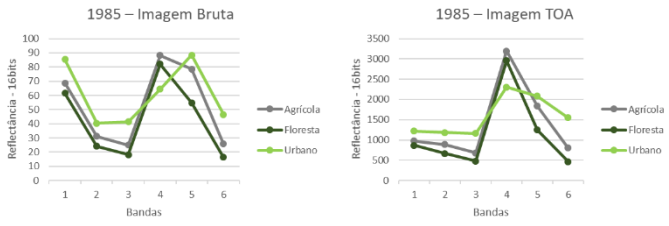
**2015 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



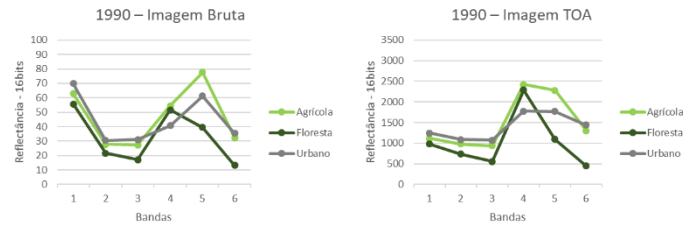
**2018 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



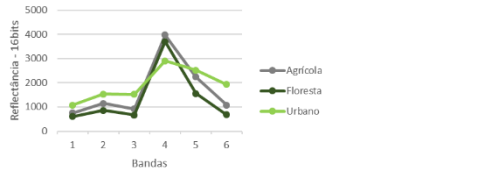
**CENA217\_75**



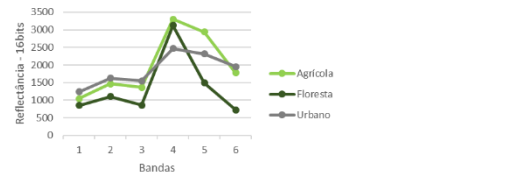
**CENA217\_75**



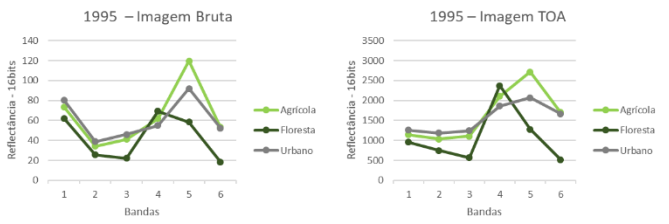
**1985 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



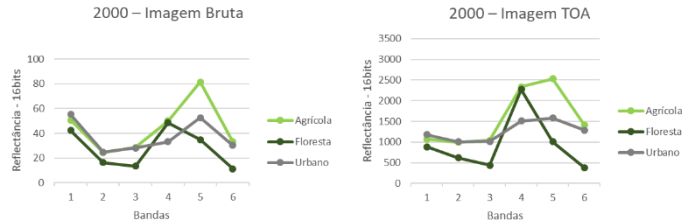
**1990 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



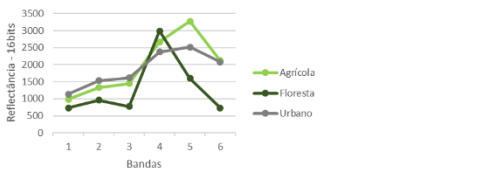
**CENA217\_75**



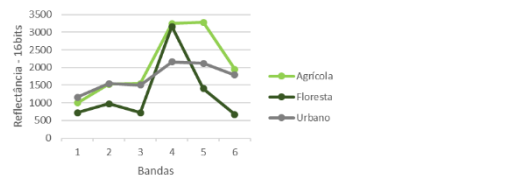
**CENA217\_75**



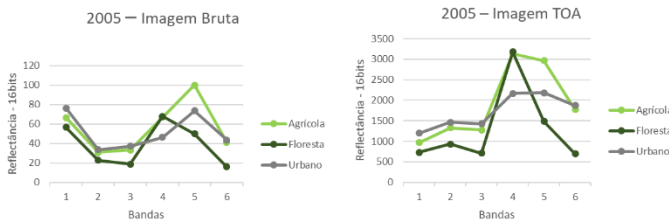
**1995 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



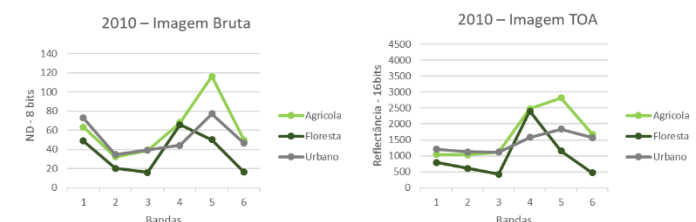
**2000 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



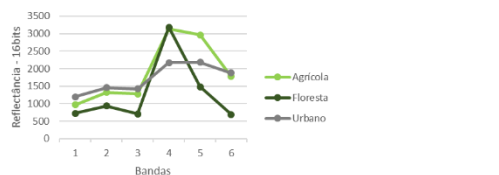
**CENA217\_75**



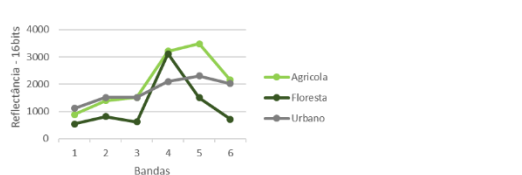
**CENA217\_75**



**2005 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**

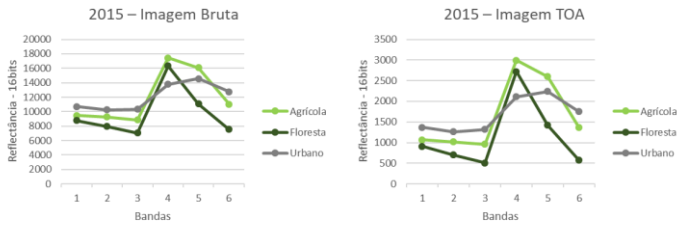


**2010 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**

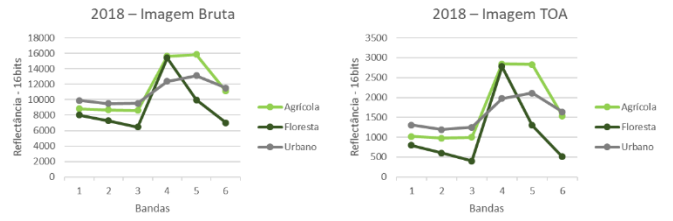




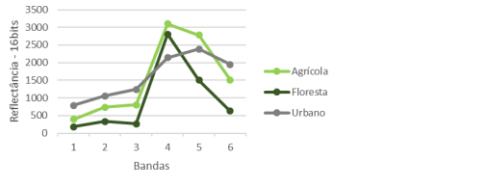
**CENA 217\_75**



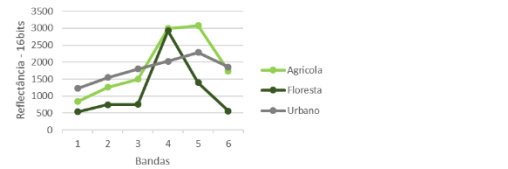
**CENA 217\_75**



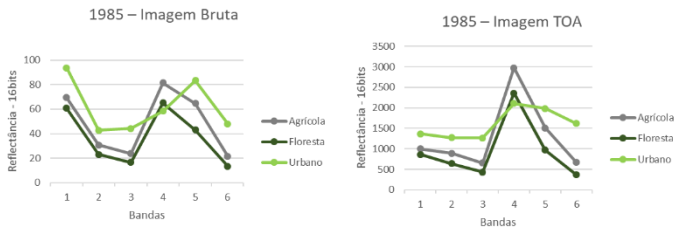
**2015 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



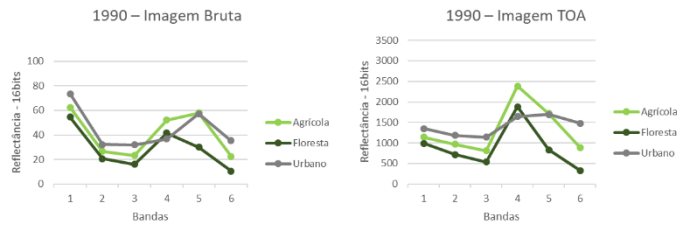
**2018 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



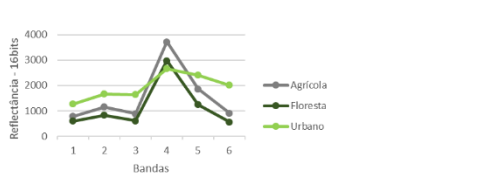
**CENA 217\_76**



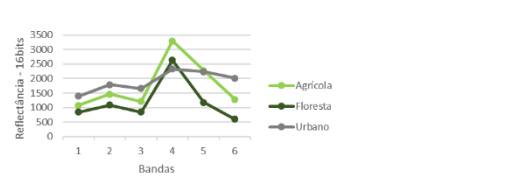
**CENA 217\_76**



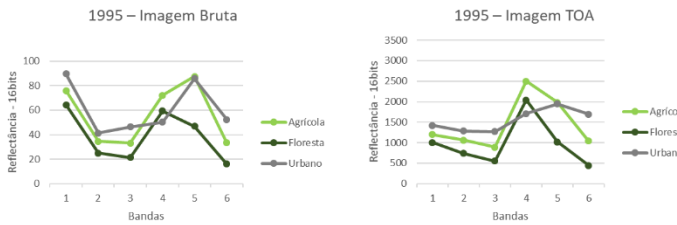
**1985 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



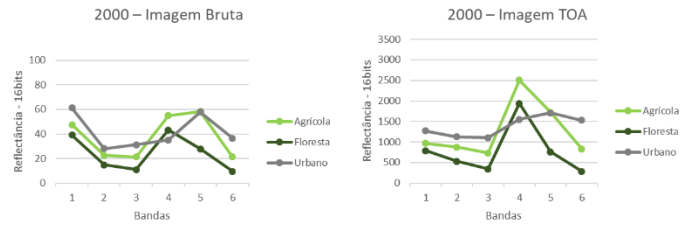
**1990 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



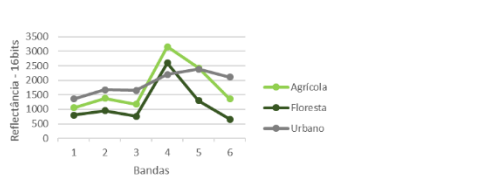
**CENA 217\_76**



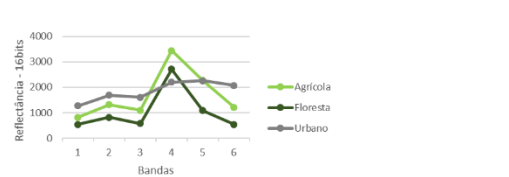
**CENA 217\_76**



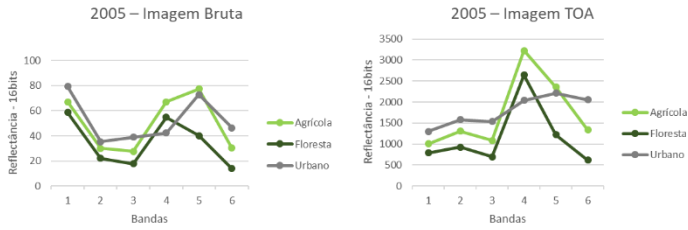
**1995 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



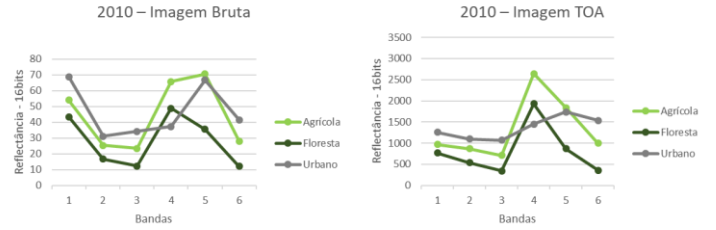
**2000 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



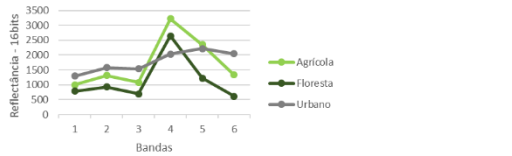
**CENA217\_76**



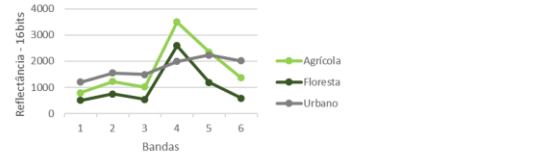
**CENA217\_76**



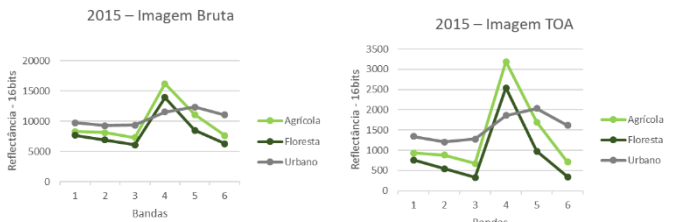
2005 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



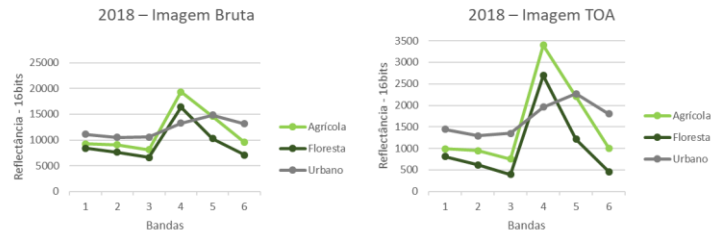
2010 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



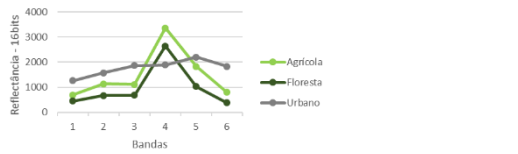
**CENA217\_76**



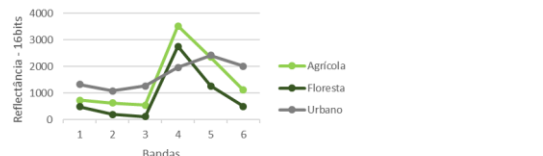
**CENA217\_76**



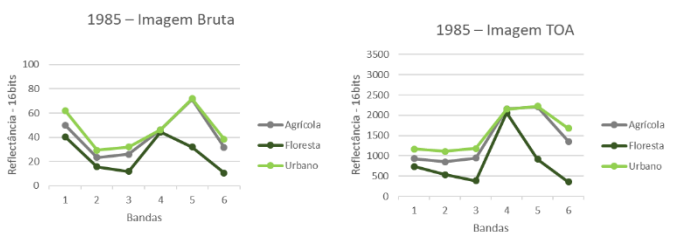
2015 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



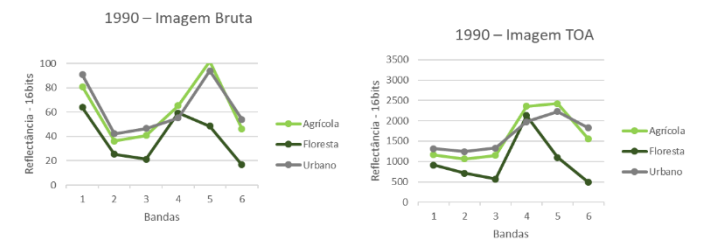
2018 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



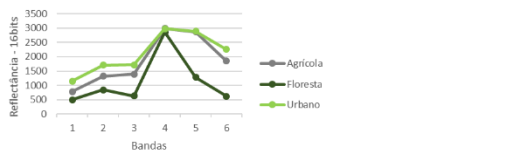
**CENA218\_75**



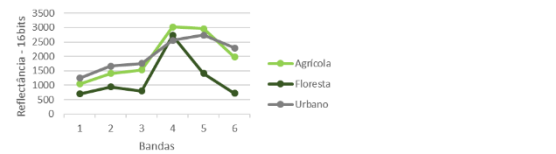
**CENA218\_75**



1985 - Imagem Corrigida Atmosfericamente

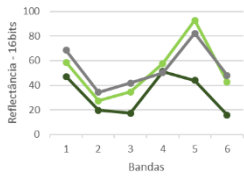


1990 - Imagem Corrigida Atmosfericamente

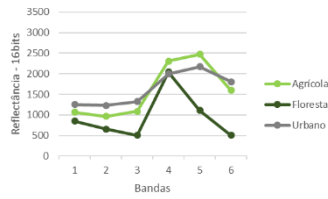


**CENA218\_75**

1995 – Imagem Bruta

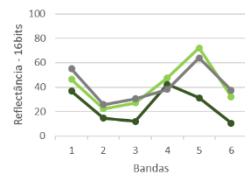


1995 – Imagem TOA

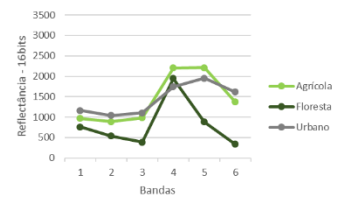


**CENA218\_75**

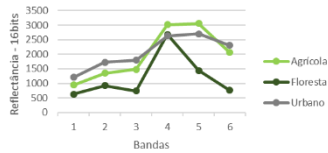
2000 – Imagem Bruta



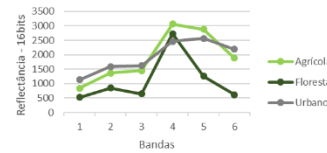
2000 – Imagem TOA



1995 - Imagem Corrigida Atmosfericamente

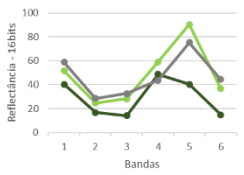


2000 - Imagem Corrigida Atmosfericamente

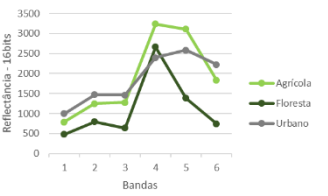


**CENA218\_75**

2005 – Imagem Bruta

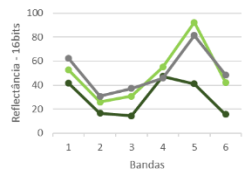


2005 – Imagem TOA

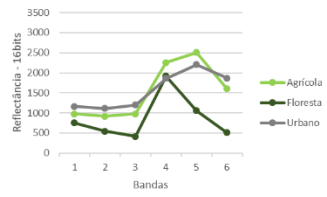


**CENA218\_75**

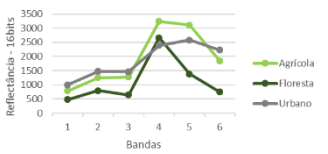
2010 – Imagem Bruta



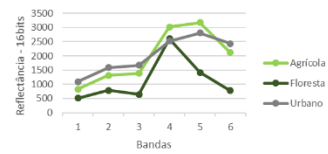
2010 – Imagem TOA



2005 - Imagem Corrigida Atmosfericamente

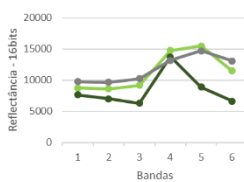


2010 - Imagem Corrigida Atmosfericamente

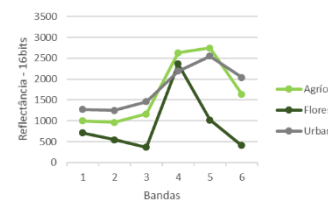


**CENA218\_75**

2015 – Imagem Bruta

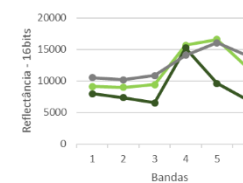


2015 – Imagem TOA

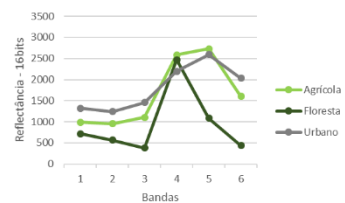


**CENA218\_75**

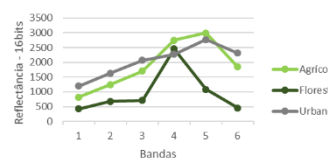
2018 – Imagem Bruta



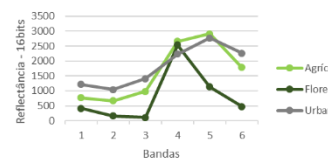
2018 – Imagem TOA



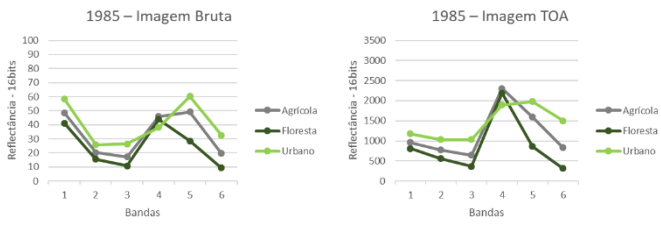
2015 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



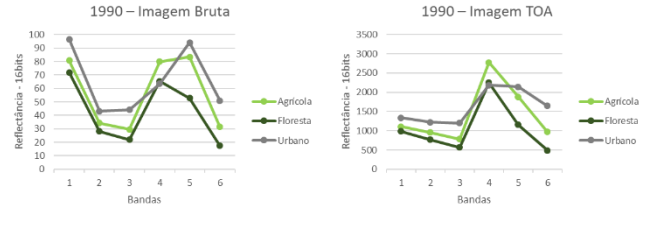
2018 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



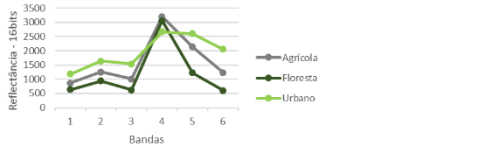
**CENA218\_76**



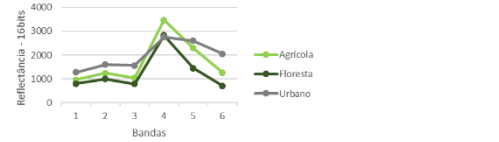
**CENA218\_76**



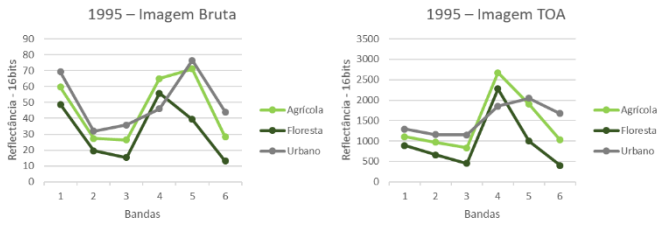
**1985 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



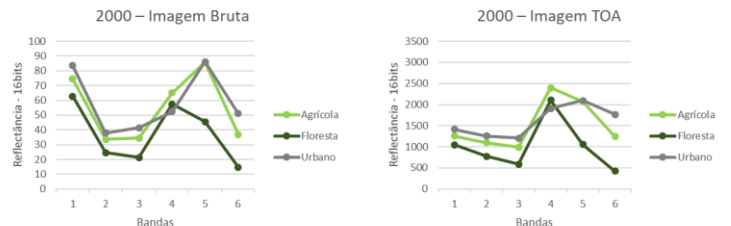
**1990 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



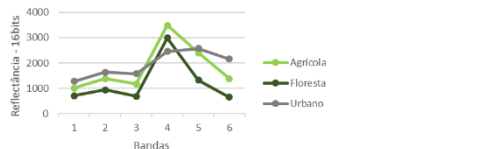
**CENA218\_76**



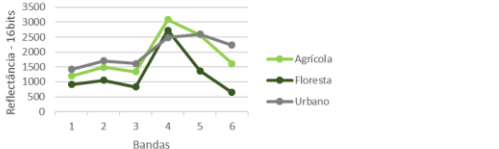
**CENA218\_76**



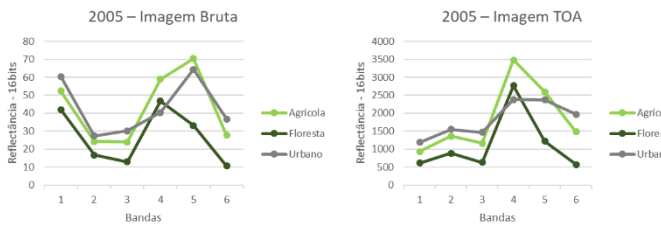
**1995 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



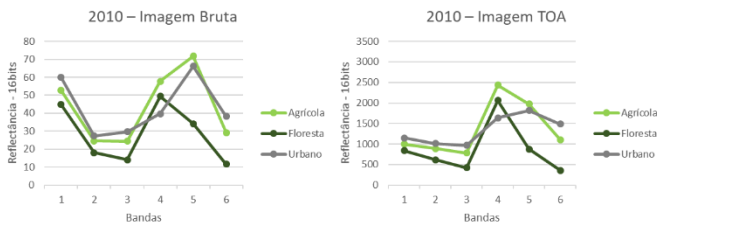
**2000 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**



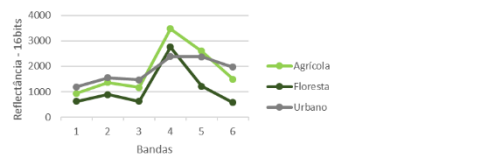
**CENA218\_76**



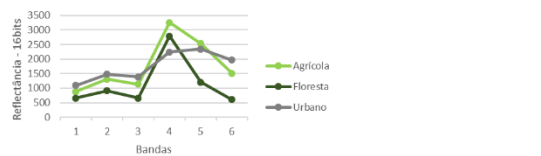
**CENA218\_76**



**2005 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**

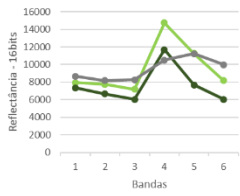


**2010 - Imagem Corrigida Atmosfericamente**

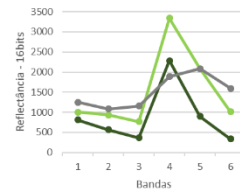


**CENA218\_76**

2015 – Imagem Bruta

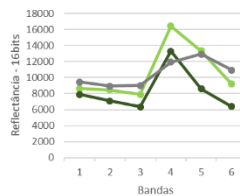


2015 – Imagem TOA

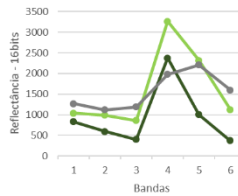


**CENA218\_76**

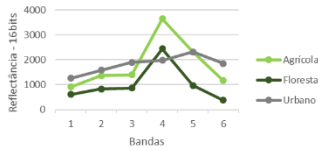
2018 – Imagem Bruta



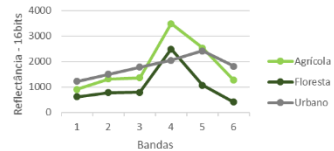
2018 – Imagem TOA



2015 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



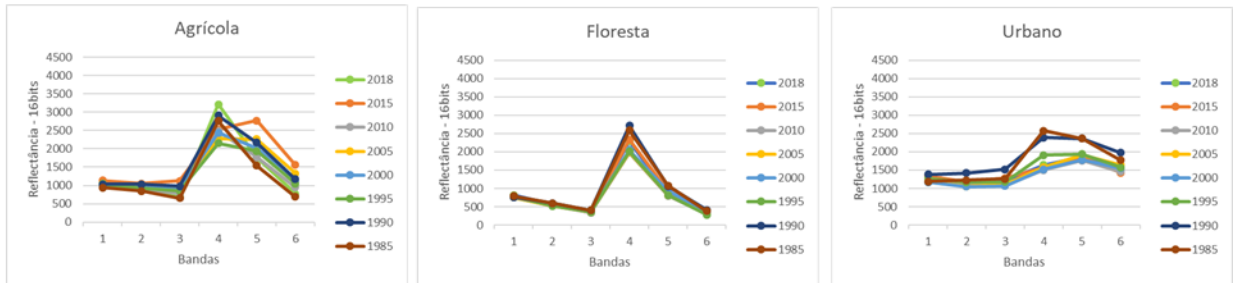
2018 - Imagem Corrigida Atmosfericamente



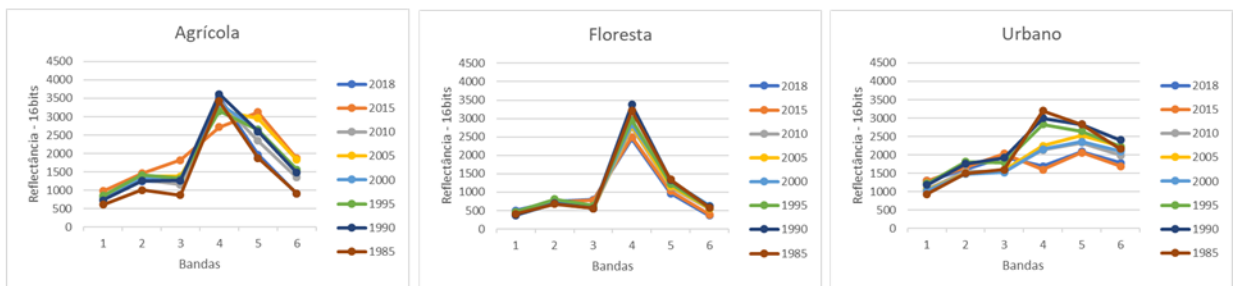
# Anexo 2 – Gráficos Comparativos de Ajustamento de Curvas Espectrais

## CENA216\_74

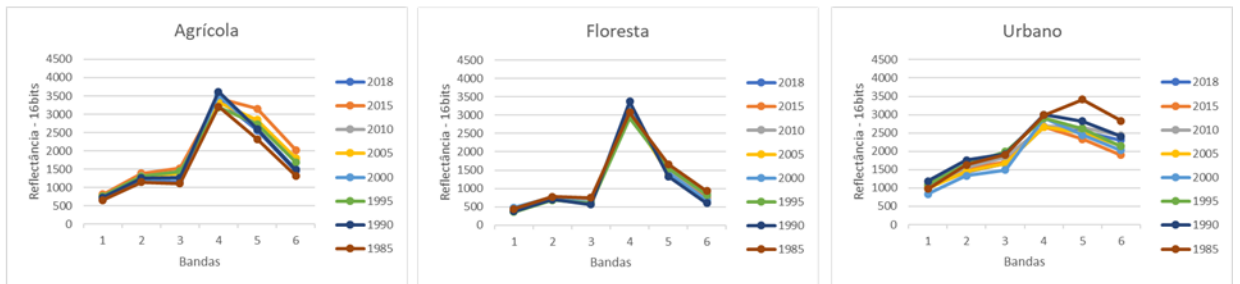
**TOA**



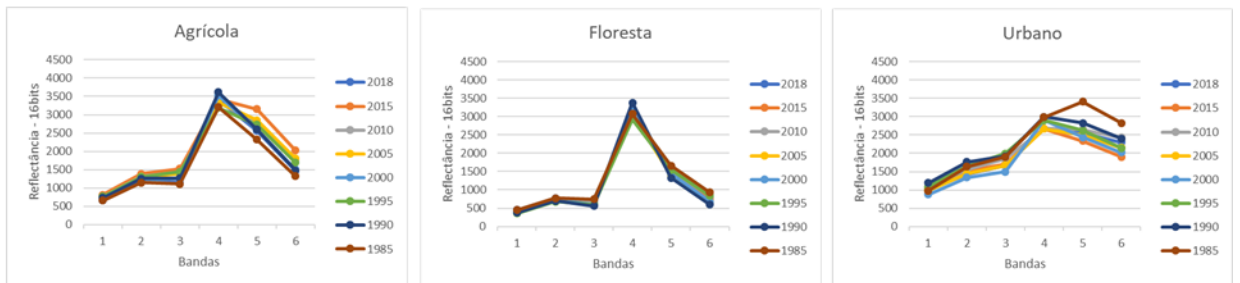
**COA**



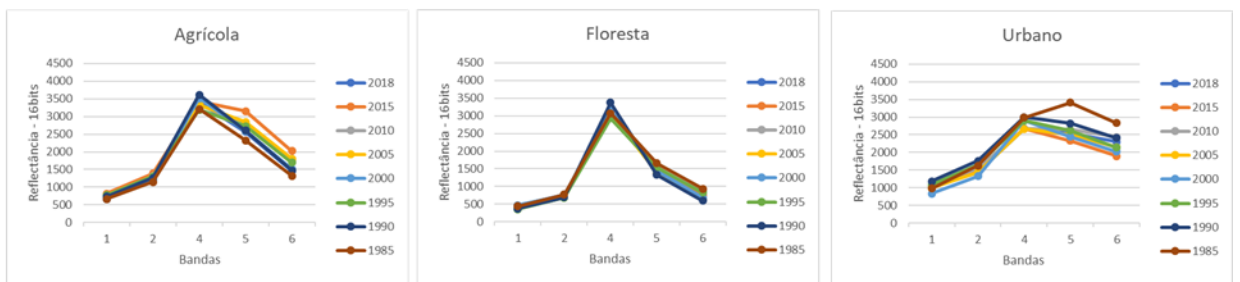
**NORM 1**



**NORM 2**

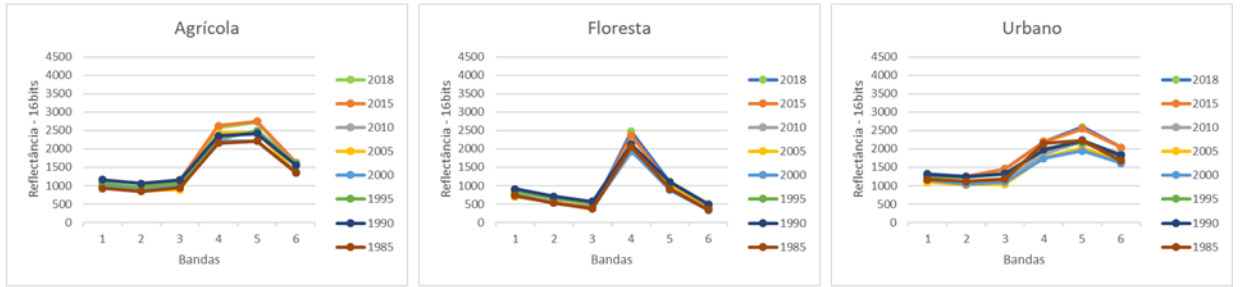


**NORM 3**

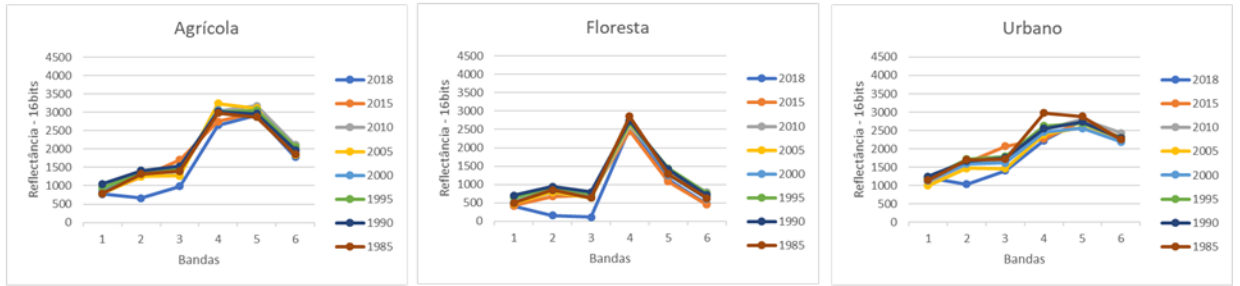


## CENA216\_75

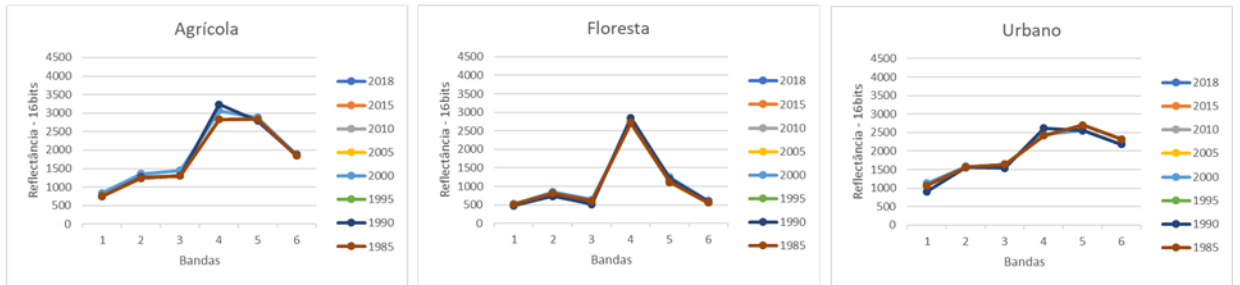
**TOA**



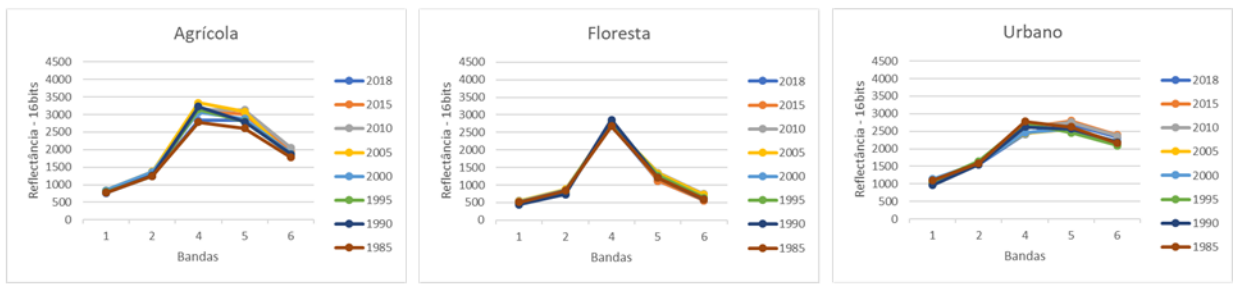
**COA**



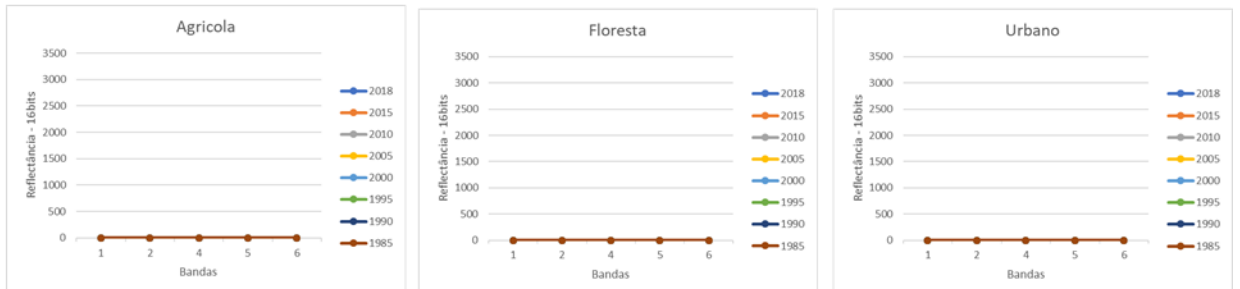
**NORM 1**



**NORM 2**

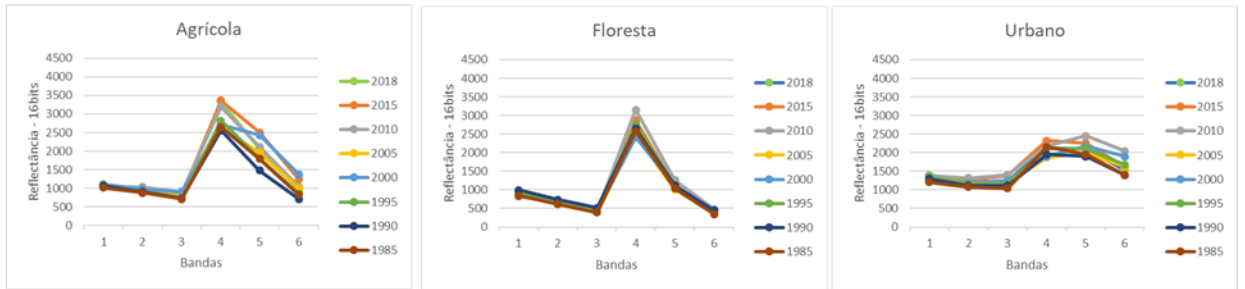


**NORM 3**

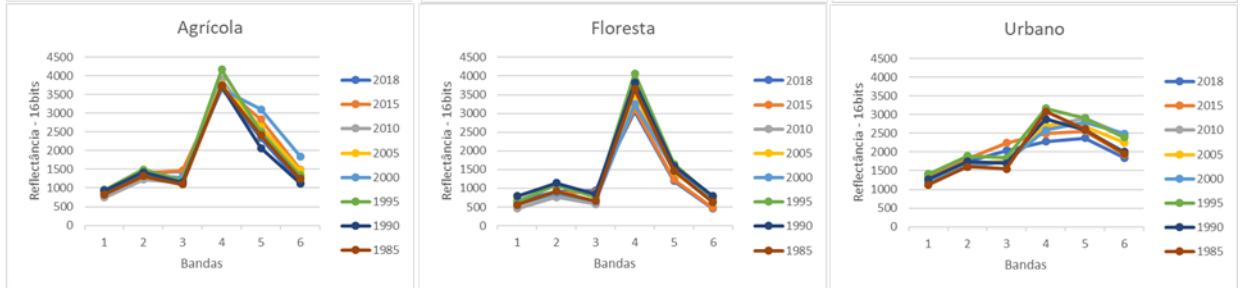


## CENA216\_76

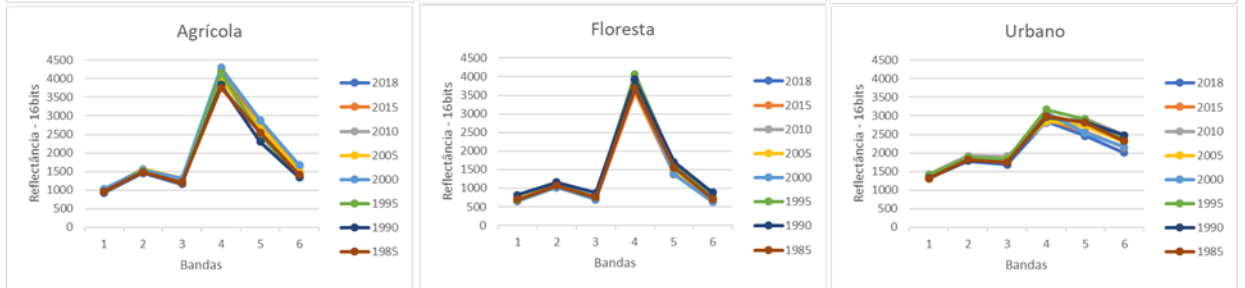
**TOA**



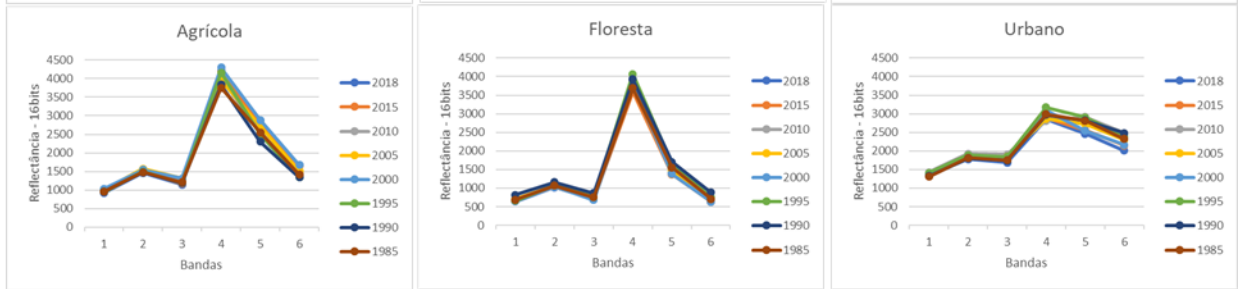
**COA**



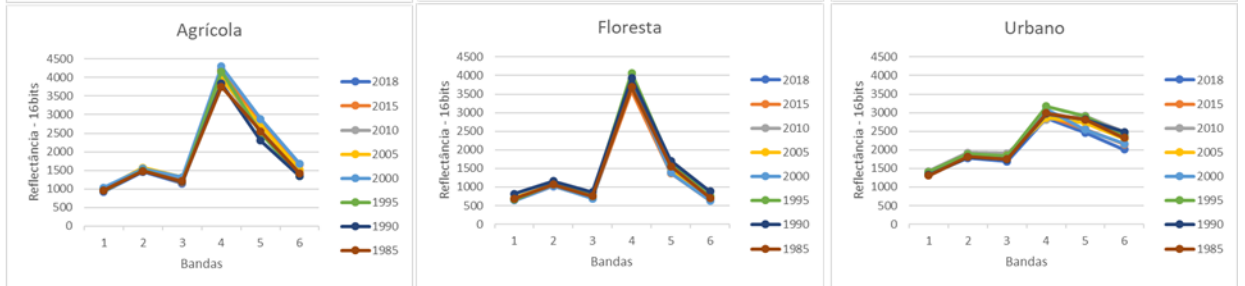
**NORM 1**



**NORM 2**



**NORM 3**



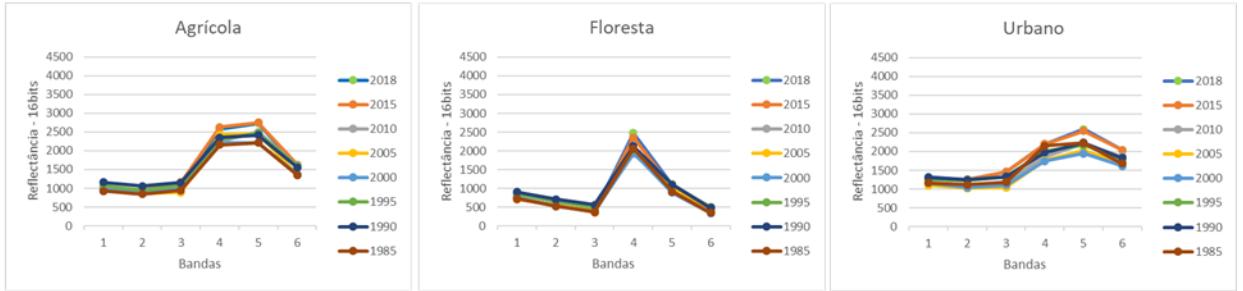




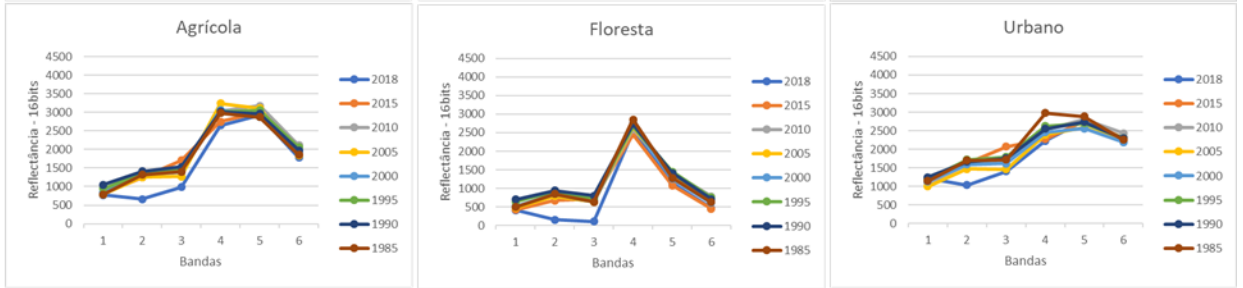


## CENA218\_75

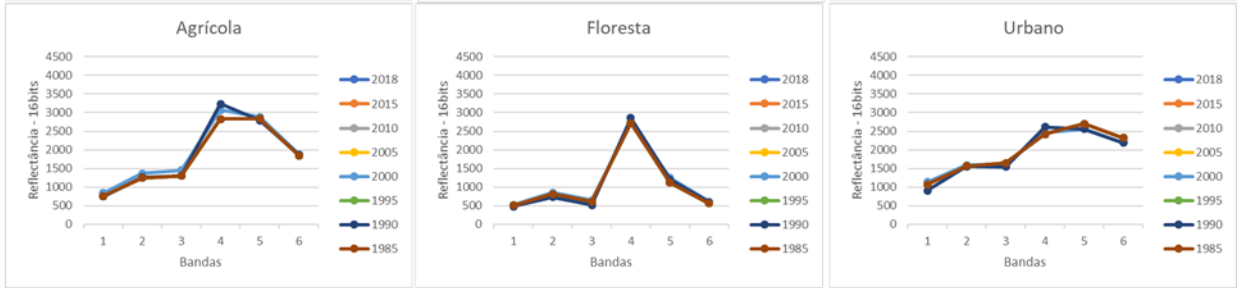
**TOA**



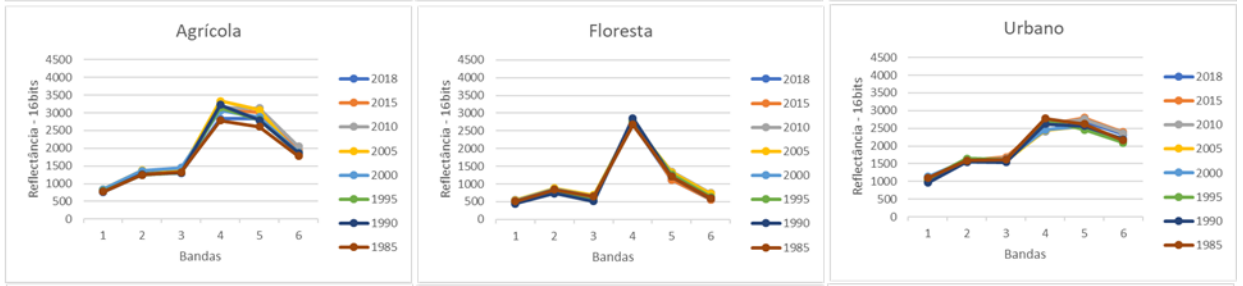
**COA**



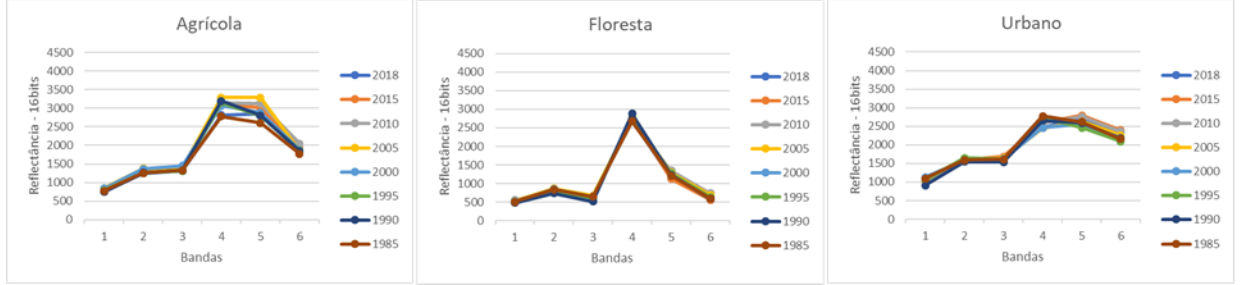
**NORM 1**



**NORM 2**

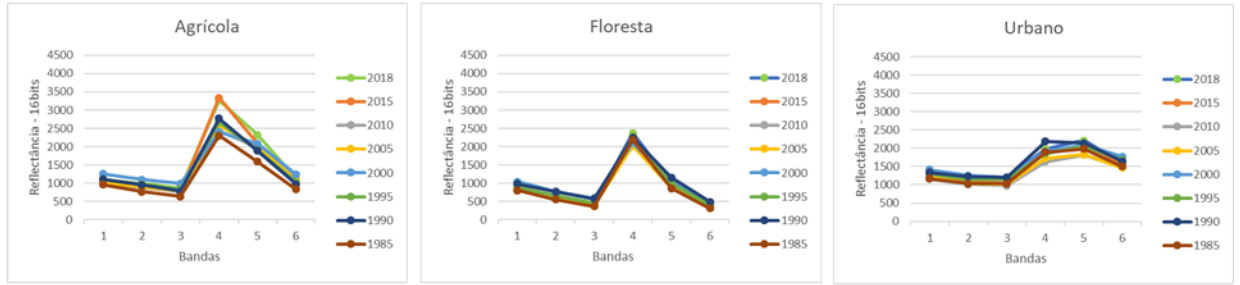


**NORM 3**

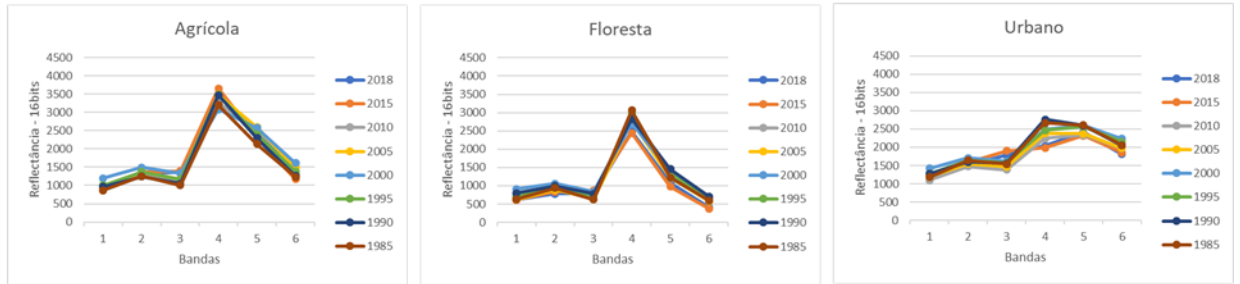


## CENA218\_76

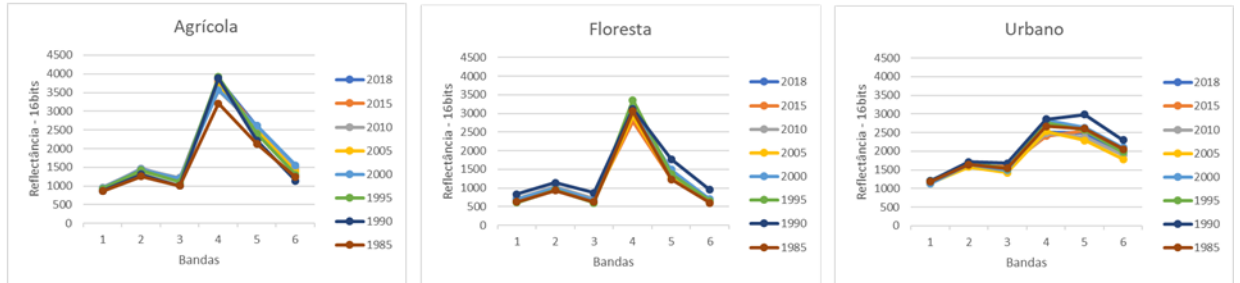
**TOA**



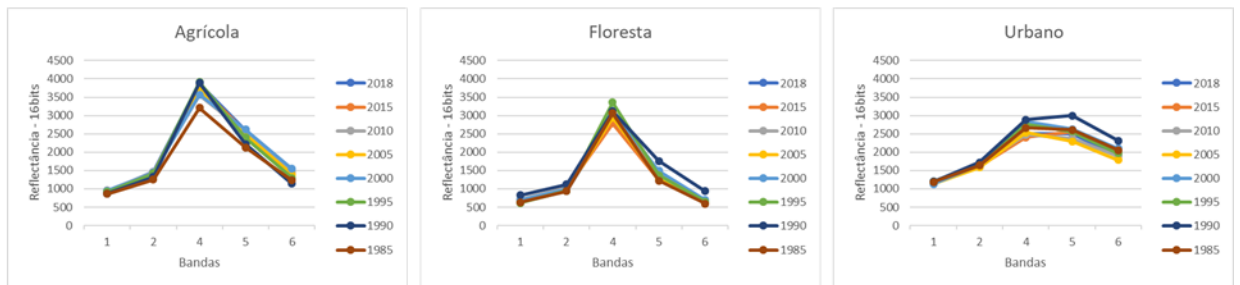
**COA**



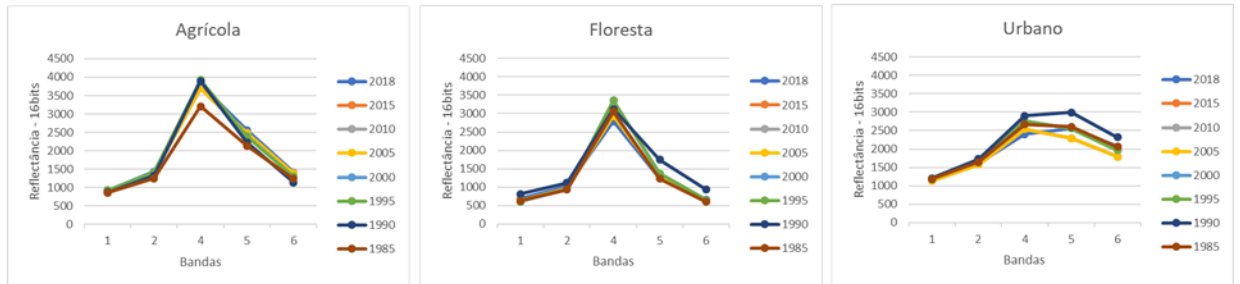
**NORM 1**



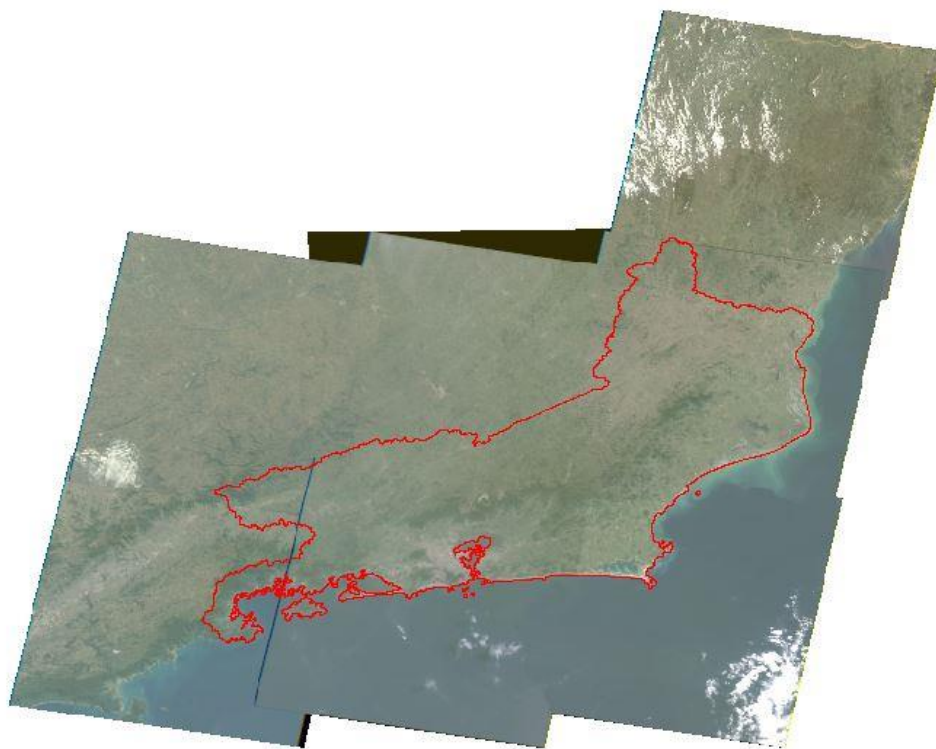
**NORM 2**



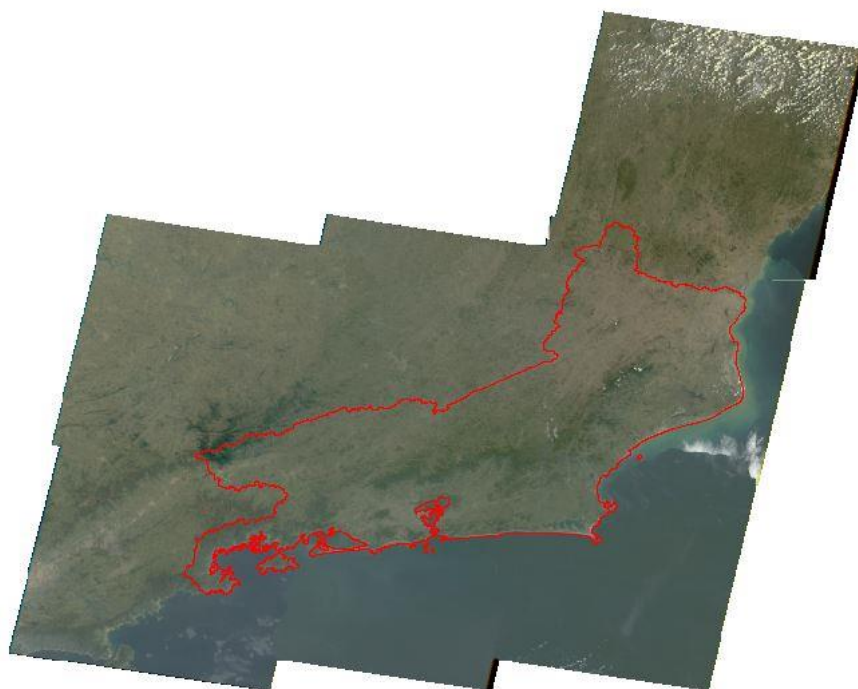
**NORM 3**



## Anexo 3 – Mosaicos Finais pós Pré-processamento



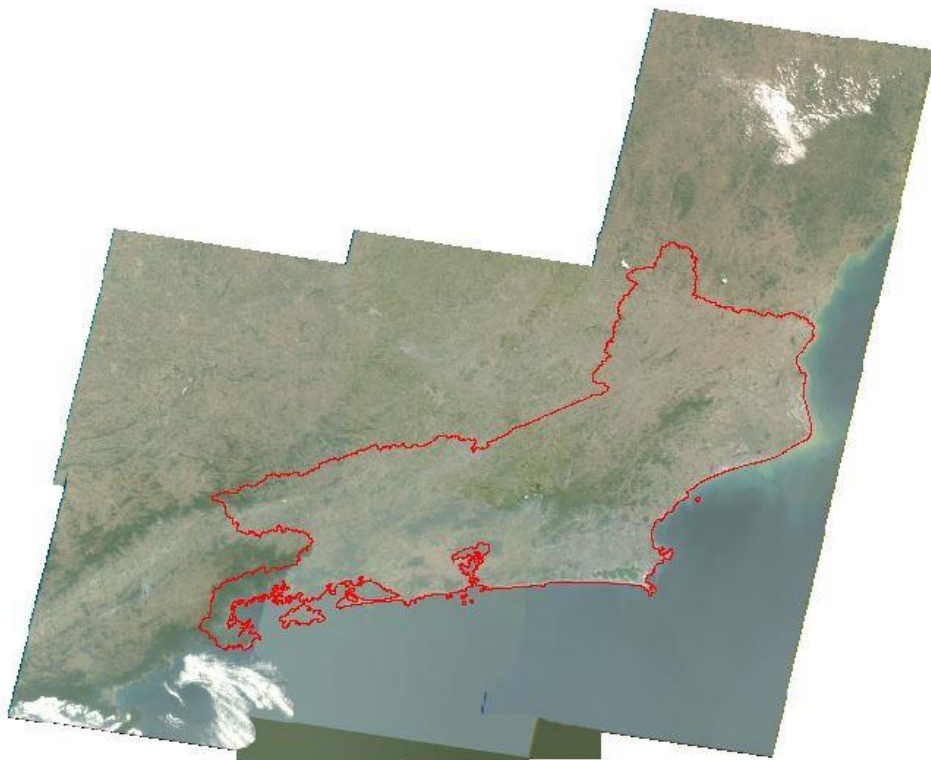
*Mosaico 1985*



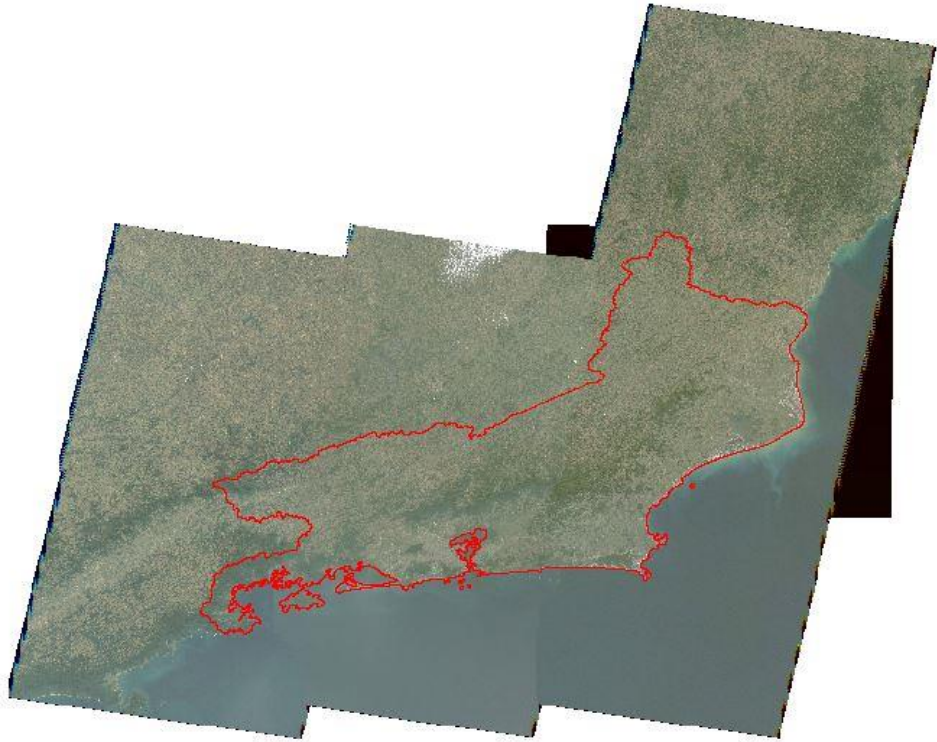
*Mosaico 1990*



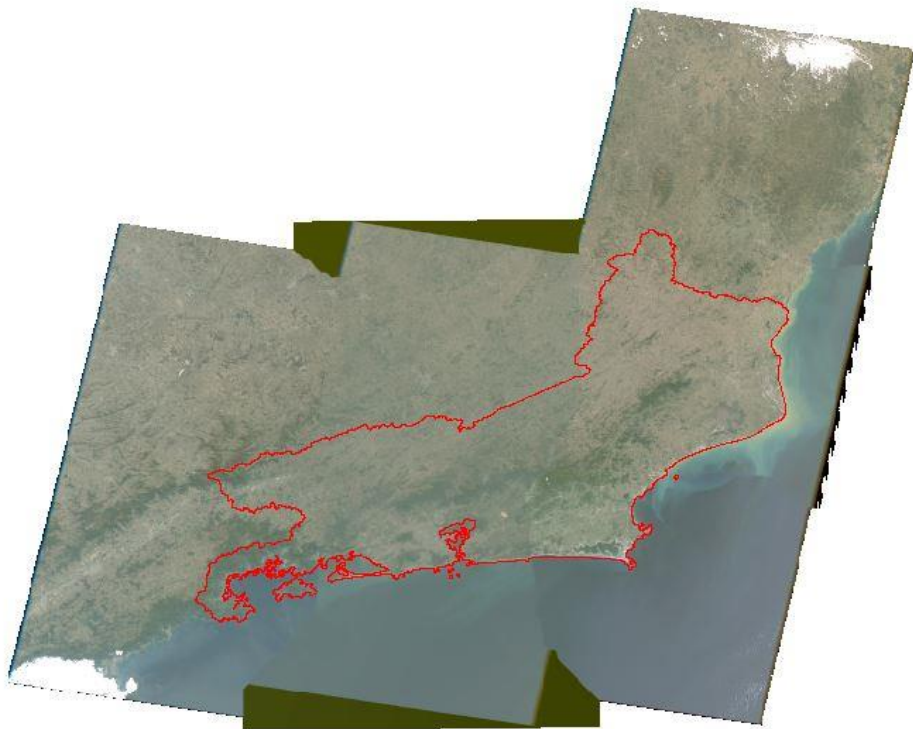
*Mosaico 1995*



*Mosaico 2000*



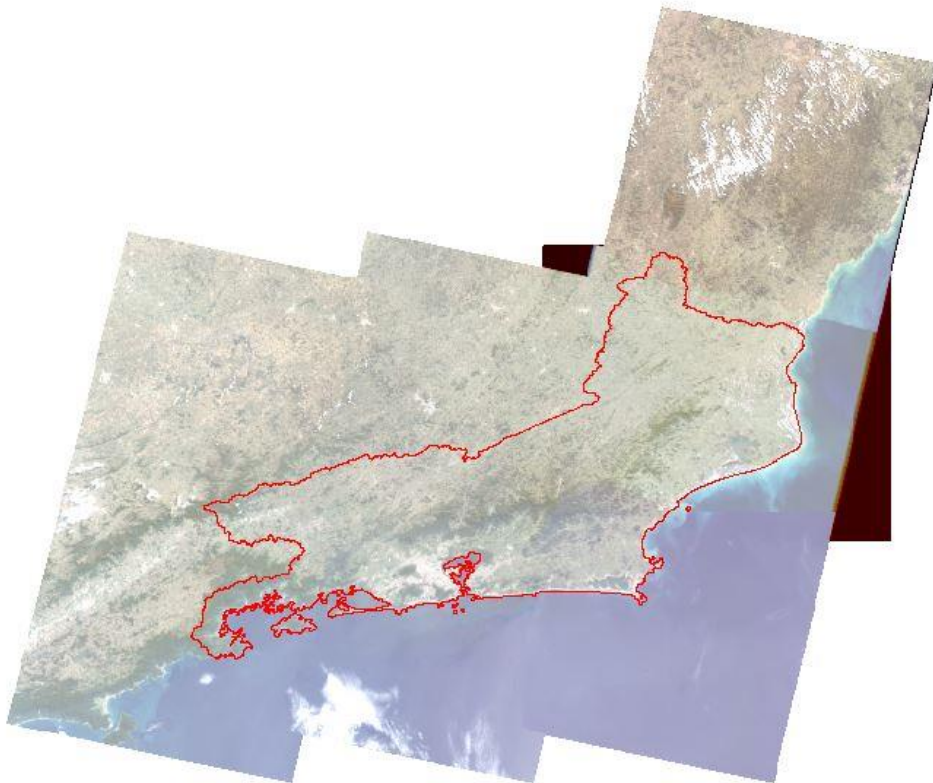
*Mosaico 2005*



*Mosaico 2010*



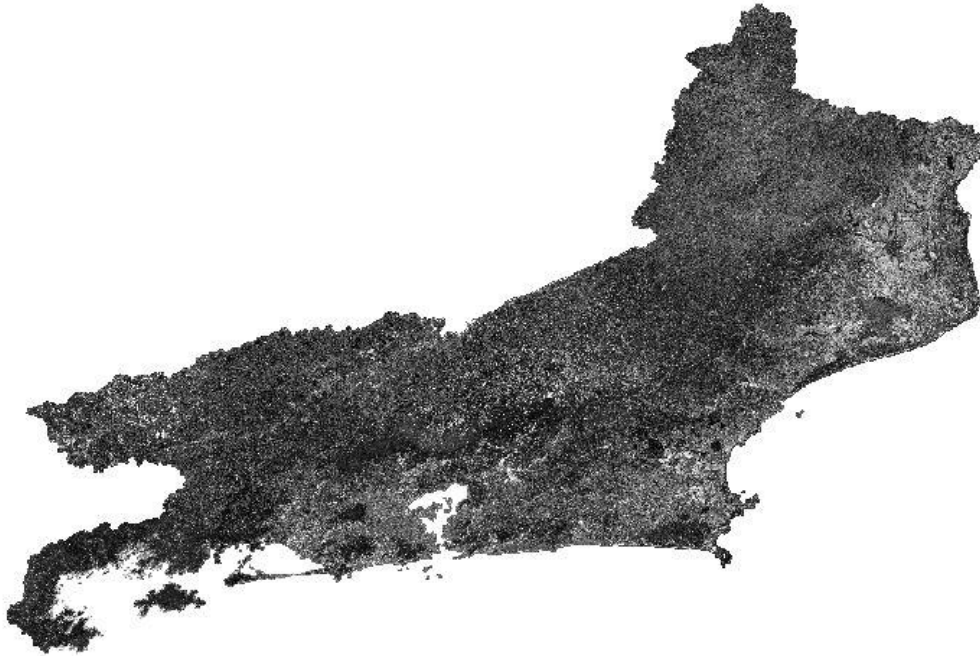
*Mosaico 2015*



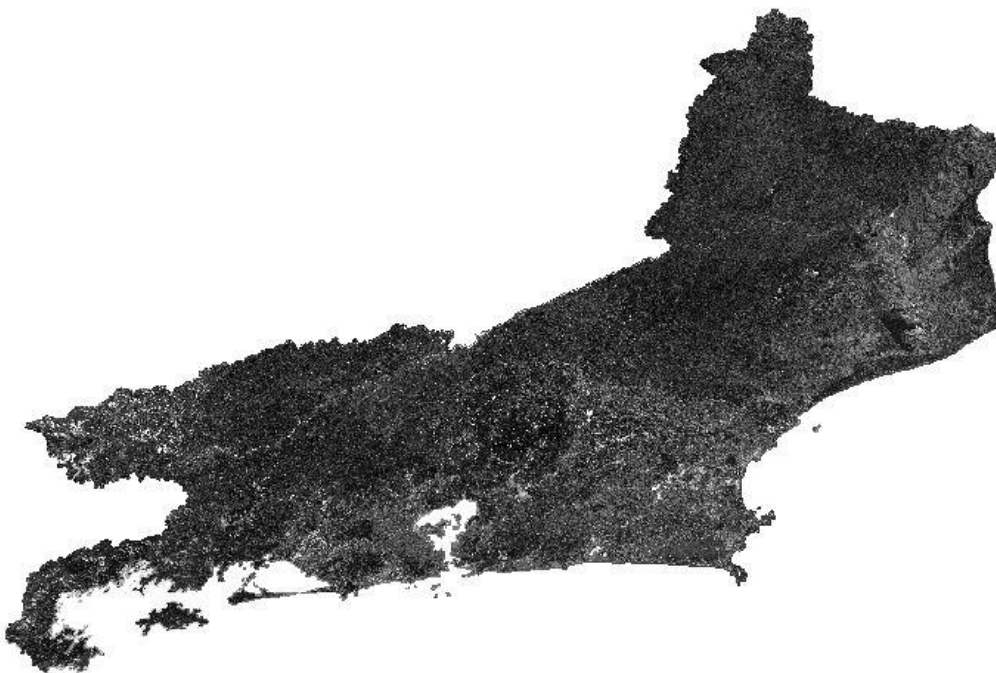
*Mosaico 2018*



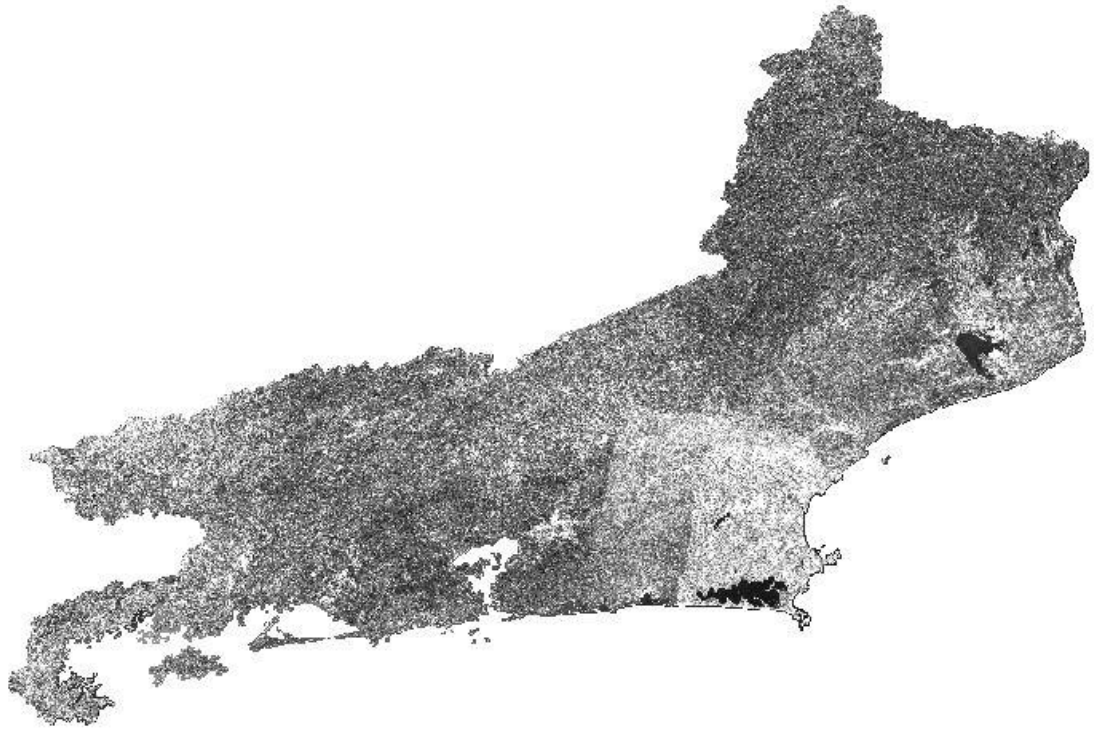
Anexo 4 – Imagens Amplitude dos descritores usados  
para o estado do Rio de Janeiro



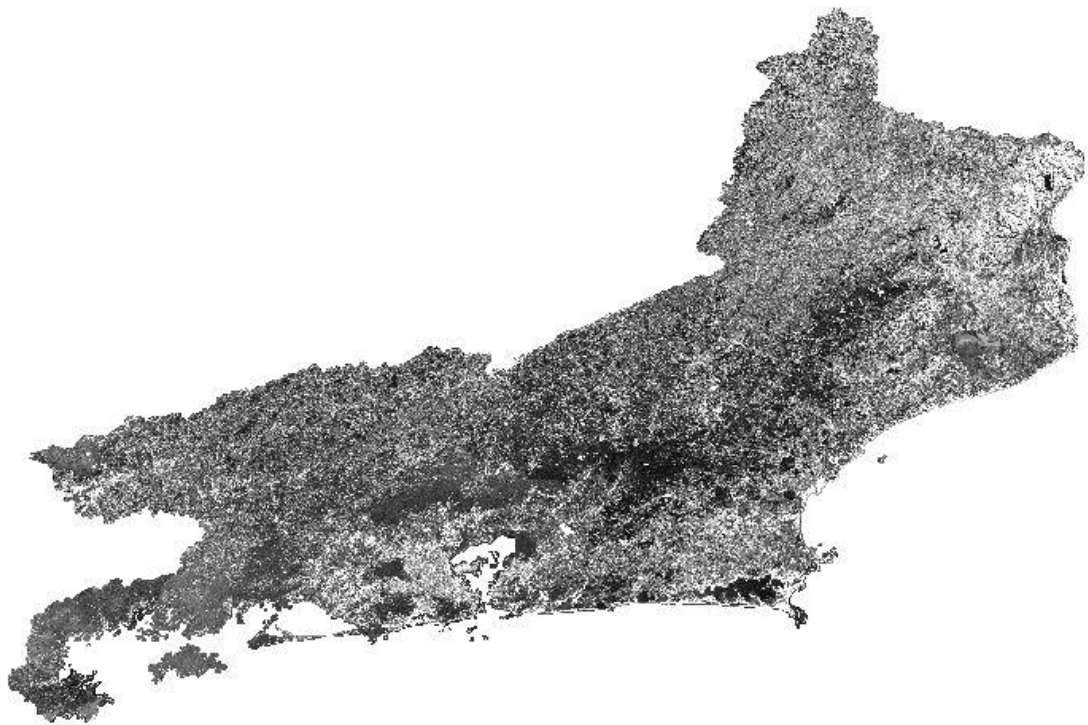
*Amplitude NDBI*



*Amplitude NDVI*



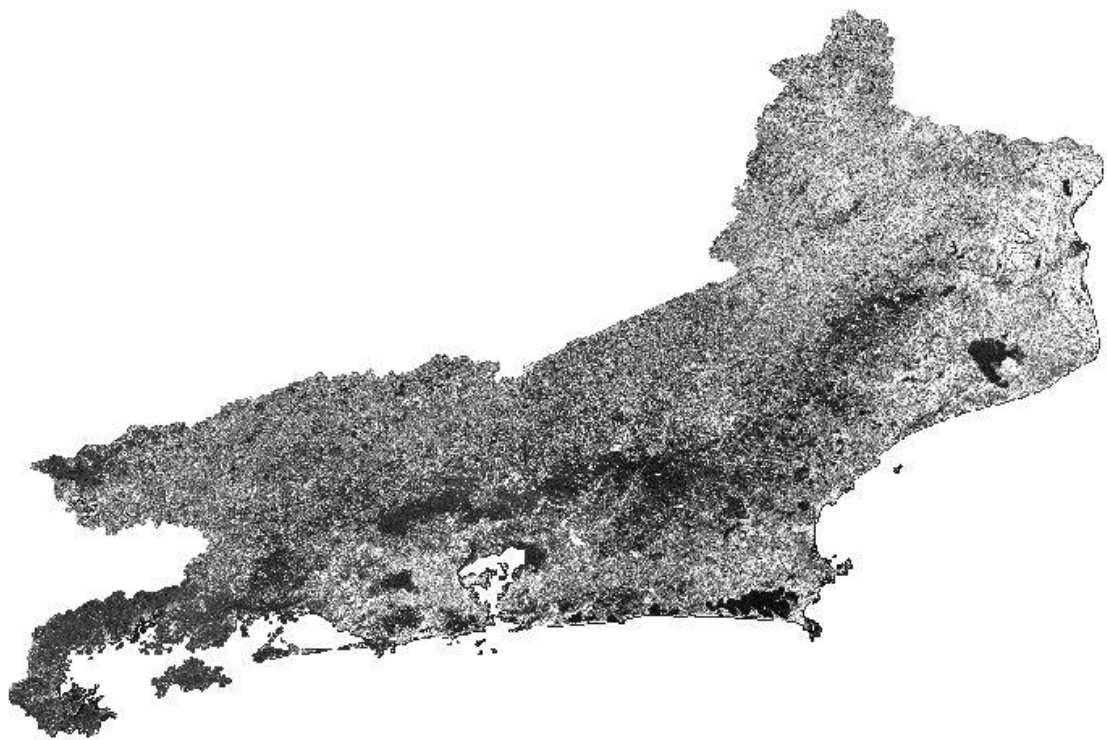
*Amplitude NIR*



*Amplitude RED*

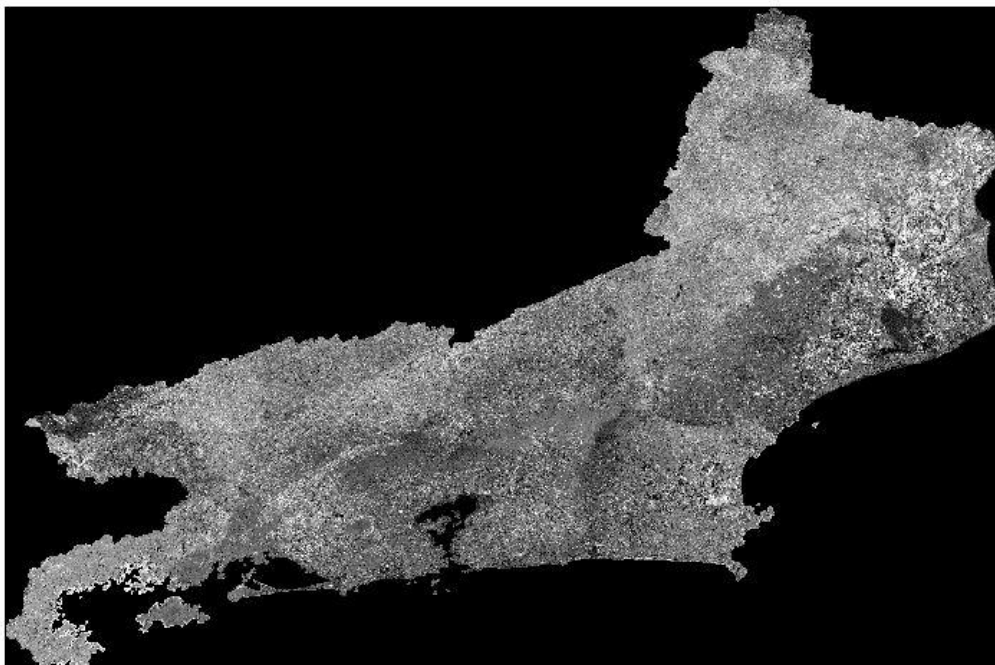


*Amplitude SWIR1*



*Amplitude SWIR2*

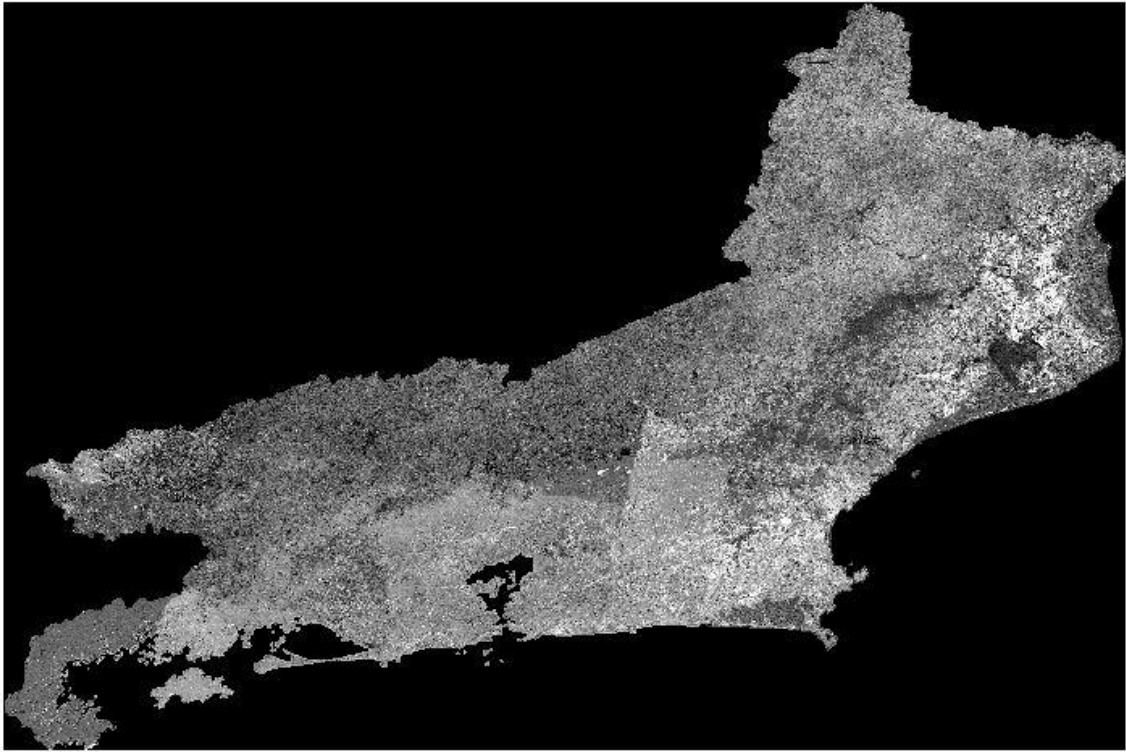
## Anexo 5 – Imagens Diferença de NDBI para o Recorte Temporal



*Diferença NDBI entre 1985 e 1990*



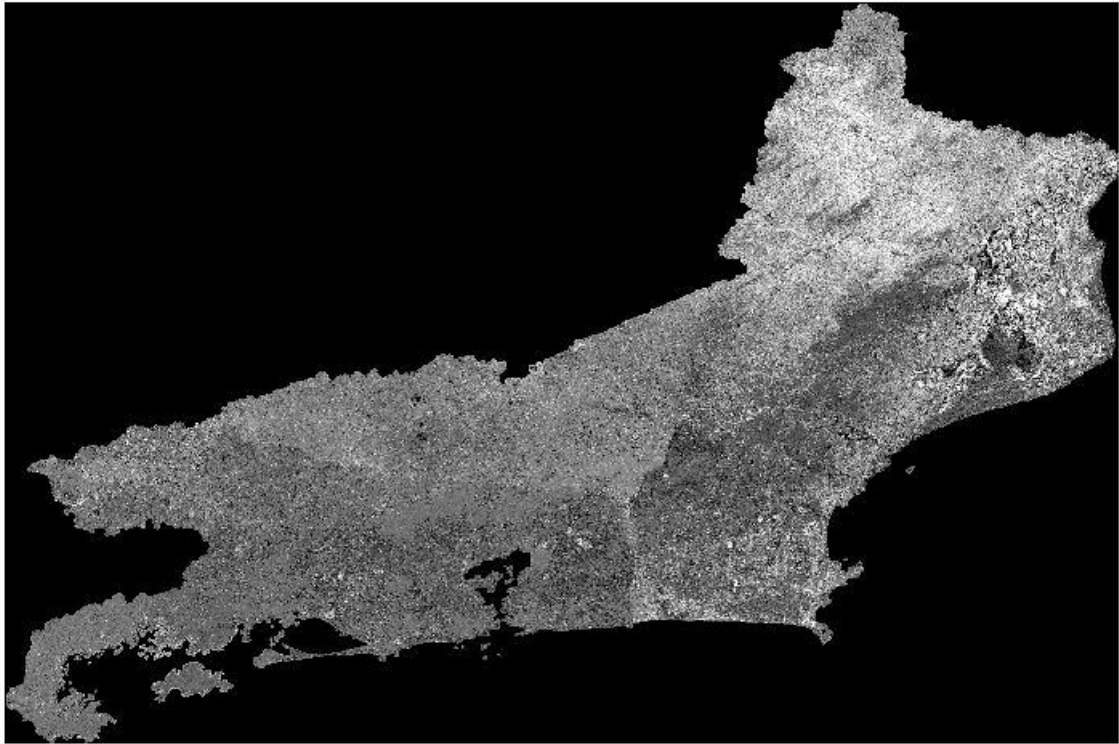
*Diferença NDBI entre 1990 e 1995*



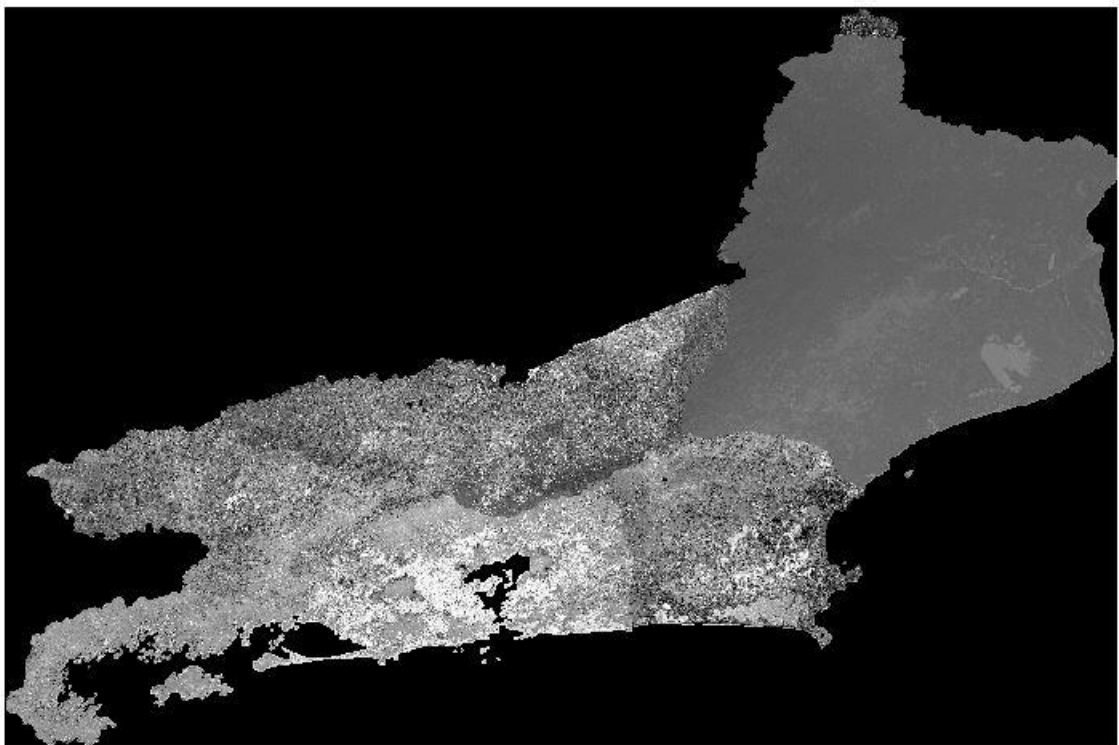
*Diferença NDBI entre 1995 e 2000*



*Diferença NDBI entre 2000 e 2005*



*Diferença NDBI entre 2005 e 2010*



*Diferença NDBI entre 2010 e 2015*



*Diferença NDBI entre 2015 e 2018*