



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

**JÉSSICA SILVA MARTINS**

**SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA EM PARATY BASEADA EM  
AUTÔMATOS CELULARES**

**RIO DE JANEIRO  
ABRIL DE 2018.**

**JÉSSICA SILVA MARTINS**

**SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA EM PARATY BASEADA EM  
AUTÔMATOS CELULARES**

**DISSERTAÇÃO 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.**

Orientadores:

Elizabeth M. Feitosa da Rocha de Souza (Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>, UFRJ).

Monika Richter (Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>, UFRRJ).

**RIO DE JANEIRO**

**ABRIL DE 2018.**

JÉSSICA SILVA MARTINS

**Simulação da expansão urbana em Paraty baseada em autômatos celulares.**

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

Data da aprovação: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Aprovado por:

---

Prof<sup>a</sup>. Elizabeth M. Feitosa da Rocha de Souza; Dr<sup>a</sup>. Sc. (Orientadora UFRJ).

---

Prof.<sup>a</sup> Monika Richter; Dr<sup>a</sup>. Sc. (Coorientadora UFRRJ).

---

Prof<sup>a</sup>. Carla Bernadete Cruz; Dr<sup>a</sup>. Sc.

---

Prof. Vinicius Seabra; Dr. Sc (UERJ/FFP)

**Rio de Janeiro  
Abril de 2018**

## AGRADECIMENTOS

Em pouco tempo aconteceu aquilo que todos me avisaram quando iniciei o mestrado: “cuidado que o tempo passa rápido”. E ele passou. De repente os dois anos de mestrado tornaram-se alguns meses e é aquele desespero! Você está atrasada, só dorme de madrugada e até os sonhos são dedicados ao tema da dissertação. Mas vale cada noite mal dormida. E essa sensação de alegria por terminar um curso que sonhava em fazer não seria possível sem o incentivo, ajuda e os conselhos de pessoas especiais que de alguma forma contribuíram para o término desta etapa.

Como em tudo na minha vida não posso deixar de primeiramente agradecer a minha família, meus pais Maria do Socorro Silva Martins e José Joaquim Martins, minha irmã Giselle Silva Martins e meu sobrinho Luiz Miguel Martins de Queiroz que tanto cuidam de mim. Muito obrigada por todo amor e carinho e por sempre estarem ao meu lado em cada conquista, e em cada fase da minha vida.

A minha orientadora, Elisabeth M<sup>a</sup> Feitosa da Rocha de Souza que com carinho aceitou me direcionar em um tema, para mim, tão novo e desafiador. Obrigada pela confiança, pela atenção, receptividade, pelos conselhos, por todas as horas dedicadas para que eu pudesse concluir esta pesquisa.

E aquele cantinho especial para quem além de orientadora é amiga. Monika Richter, tenho tanta coisa para te agradecer, além dos conselhos acadêmicos que são inúmeros, agradeço todo o seu apoio que foi e é fundamental em todas as minhas conquistas, as palavras de esperança, de incentivo para persistir por aquilo que quero, e principalmente por acreditar tanto em mim. Muito obrigada por todo o seu carinho e dedicação.

Também agradeço aos professores Carla Bernadete Madureira Cruz e Vinícius da Silva Seabra que contribuíram com valiosas sugestões durante o exame de qualificação. E a todos os professores que tive a oportunidade de participar das aulas tão bem ministradas, principalmente ao professor Jorge Xavier da Silva que atenciosamente me acolheu e colaborou com ótimas ideias para o início do presente trabalho.

Não posso deixar de mencionar a Ana Paula e o Felipe do laboratório Espaço e a Priscila Salles da UFRRJ, que tanto me ajudaram. Assim como o Leonardo do INEA, a Marília da Secretaria de Urbanismo e os técnicos da Secretaria de Meio Ambiente de Paraty.

Agradeço de forma especial ao meu namorado, Rafael Cardão, que carinhosamente tem me acompanhado, incentivado e aconselhado durante esta trajetória, e fez dela algo muito mais leve e feliz.

A minha amiga, Débora Chaves Faria Moraes, por compartilhar os momentos de descoberta com o mestrado, de alegria, de sufoco. Obrigada por toda atenção, carinho, amor, por me oferecer tanta alegria, paciência e compreensão. E as minhas amigas, Jéssica Belchior, Carvalho, Marcelly, Evelyn e Thalita que estão sempre torcendo por mim.

## RESUMO

Baseado no modelo de autômatos celulares, este trabalho visa a construção de cenários futuros da expansão urbana no município de Paraty, devido à importância que este tem conquistado em âmbito regional em virtude do desenvolvimento turístico. Considerado um dos 65 destinos indutores do turismo do Brasil, o município apresenta recente crescimento urbano, restaurado em 1970 com a implantação da rodovia BR-101 e com a conquista do título de Monumento Nacional pelo IPHAN. Após este período, intensificaram-se os conflitos por terra na região que atingiram principalmente comunidades tradicionais e trabalhadores rurais. Dessa forma, para identificar características da expansão urbana como taxa de crescimento, direção e perfil da mesma, utilizou-se a técnica de detecção de mudanças com o método de pós-classificação para um período de 30 anos, de 1985 a 2015, com imagens da série Landsat classificadas no software eCognition 9.0. O resultado da detecção demonstrou que Paraty cresce de forma lenta porém constante, que se intensificou no período de 2005 a 2015. O centro de Paraty e os bairros adjacentes apresentaram maior crescimento, assim como, núcleos urbanos dispersos, majoritariamente informais, ao longo da BR-101. A criação dos cenários futuros para 2030 foi efetuada no software Dinamica EGO com a inserção de variáveis que influenciam no modelo de forma a atrair ou repelir manchas urbanas através do somatório dos pesos de evidência. A construção dos cenários ocorreu sob condição de expansão urbana menos acelerada e em condição de boom imobiliário, que seguiram a mesma tendência de concentração urbana no centro da cidade e arredores e de núcleos urbanos dispersos. Também se identificou, que a expansão de determinadas áreas urbanas coincide com territórios de comunidades tradicionais, fato que demonstra a necessidade de proteção destes territórios, evitando a formação de novos conflitos. Em suma, é imprescindível o uso de instrumentos de proteção a população autóctone contra a ação de agentes exógenos e da especulação imobiliária e de ferramentas de ordenamento do crescimento urbano, o que pode ser auxiliado pelo uso das geotecnologias, assim como, para a gestão e planejamento do uso e cobertura da terra.

Palavras chaves: Cenários futuros. Turismo. Detecção de mudanças. Crescimento urbano.

## ABSTRACT

Based on the model of cellular automata, this work aims the construction of future scenarios of urban expansion in the municipality of Paraty, due to the importance it has achieved in the regional scope due to tourism development. Considered to be one of the 65 tourism-inducing destinations in Brazil, the city presents a recent urban growth, restored in 1970 with the implementation of the BR-101 highway and the conquest of the National Monument title by IPHAN. After this period, conflicts over land in the region were intensified, affecting mainly traditional communities and rural workers. In order to identify characteristics of the urban expansion as growth rate, direction and profile of the same, the technique of change detection was used with the post-classification method for a period of 30 years, from 1985 to 2015, with images of the Landsat series classified in eCognition 9.0 software. The result of the detection showed that Paraty grew slowly but steadily and intensified in the period from 2005 to 2015. The center of Paraty and the adjacent districts showed greater growth, as well as dispersed urban centers, mostly informal, along BR -101. The creation of the future scenarios for 2030 occurred in the software Dynamica EGO with the insertion of variables that influence the model in order to attract or repel urban spots through the sum of the weights of evidence. The construction of the scenarios occurred under less accelerated urban expansion and in the condition of real estate boom, which followed the same trend of urban concentration in the city center and surroundings and dispersed urban centers. It was also identified that the expansion of certain urban areas coincides with territories of traditional communities, a fact that demonstrates the need to protect these territories, avoiding the formation of new conflicts. In short, it is essential to use instruments to protect the native population against the action of exogenous agents and real estate speculation and urban growth planning tools, which can be aided by the use of geotechnology, as well as for the management and land use planning and land cover.

Keywords: Future scenarios. Tourism. Detection of changes. Urban growth.

## **Lista de Siglas**

AC: Autômato Celular

EMBRATUR: Empresa Brasileira de Turismo

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEA: Instituto Estadual do Ambiente

IPHAN: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

OTSS Bocaina: Observatório de Territórios Sustentáveis e Saudáveis da Bocaina.

SIG: Sistema de Informação Geográfica.

UC: Unidade de conservação

## Lista de Ilustrações

### Quadros

Quadro 01: População residente – Costa Verde (RJ).....	7
Quadro 02: Programa de Implantação de Infraestrutura Turística.....	10
Quadro 03: Áreas valorizadas x rendimento mensal dos domicílios.....	18
Quadro 04: Características do Landsat 5 e Landsat 8.....	74
Quadro 05: Classificação automática e manual das imagens Landsat.....	91
Quadro 06: Distribuição das classes de cobertura da terra - Paraty, RJ.....	104
Quadro 07: Áreas urbanas de 1985 a 2015 – Paraty, RJ.....	105

### Gráficos

Gráfico 01: Pesos de evidência – variável APA de Cairuçu.....	123
Gráfico 02: Pesos de evidência – variável altimetria.....	124
Gráfico 03: Pesos de evidência – variável: distância do Parna da Serra da Bocaina.....	125
Gráfico 04: Pesos de evidência – variável: declividade.....	125
Gráfico 05: Pesos de evidência – variável: distância das estradas principais (BR-101 e RJ-165).....	126
Gráfico 06: Pesos de evidência – variável: distância da hidrografia.....	127
Gráfico 07: Pesos de evidência – variável: proximidade com o mar.....	127
Gráfico 08: Pesos de evidência – variável: distância do arruamento.....	128
Gráfico 09: Pesos de evidência – variável: distância de áreas urbanas.....	129

### Figuras

Figura 1: Localização do município de Paraty.....	6
Figura 2: Trecho do tecido urbano do Centro Histórico de Paraty identificando os meios de hospedagens e estabelecimentos de alimentos e bebidas.....	14
Figura 3: Mapa croqui dos conflitos socioambientais presentes no território da APA de Cairuçu, com destaque dos conflitos nas UC que se sobrepõem à APA de Cairuçu. Fonte: Fontes e Guerra (2016).....	20
Figura 4: Densidade Kernel dos conflitos por terra em Paraty, RJ.....	21
Figura 5: Relação entre a densidade de conflitos por terra e comunidades tradicionais em Paraty, RJ.....	23
Figura 6: Exemplo de autômato celular.....	25
Figura 7: Regras do Jogo da Vida.....	31
Figura 8: Representações de células em autômatos celulares.....	33

Figura 9: Dimensões de um autômato celular.....	33
Figura 10: Vizinhança: a) Vizinhança de von Neumann, b) Vizinhança de Moore e c) Vizinhança de Moore Estendida.....	34
Figura 11: Vizinhança aleatória.....	34
Figura 12: Limite periódico em uma dimensão.....	35
Figura 13: Limite reflexivo em uma dimensão.....	36
Figura 14: Limite fixo.....	36
Figura 15: (a) exemplo de tesselação irregular. (b) rede complexa: grafo não orientado modelando o exemplo de tesselação dado em (a).....	38
Figura 16: Generalizações comuns de Autômatos Celulares.....	39
Figura 17: Exemplo de expansão urbana gerada por autômatos celulares em uma área simples. (As células pretas são urbanas e as cinzentas não-urbanas, t é o intervalo de tempo).....	42
Figura 18: Simulação da expansão urbana com restrição do terreno. a) relevo (preto: mais de 300m; cinzento: menos de 300m). b) Desenvolvimento urbano (preto: parcelas urbanas; cinzento: parcelas não urbanas; t: período temporal).....	43
Figura 19: Simulação da expansão urbana com influência da rede viária.a) relevo (preto: mais de 300m; cinzento: menos de 300m). b) Rede de transporte (linha cinzenta); Desenvolvimento urbano (preto: parcelas urbanas; cinzento: parcelas não urbanas; t: período temporal).....	44
Figura 20: Tipos de modelo.....	45
Figura 21: Tipos de modelo e potencial para simulação.....	49
Figura 22: Fluxograma – Modelo Dinamica.....	51
Figura 23: Esquema ilustrativo do método de pesos de evidência.....	53
Figura 24: Seleção do algoritmo Patcher para células vizinhas.....	55
Figura 25: Fluxograma metodológico.....	73
Figura 26: Distribuição dos 300 pontos invariantes.....	77
Figura 27: Classe hierárquica.....	79
Figura 28: Imagens corrigidas pelo método ATCOR – Classe vegetação.....	84
Figura 29: Imagens originais em TOA – Classe vegetação.....	84
Figura 30: Imagens corrigidas pelo método ATCOR – Classe água.....	86
Figura 31: Imagens originais em TOA – Classe água.....	86
Figura 32: Imagens corrigidas pelo método ATCOR – Classe urbano.....	87
Figura 33: Imagens originais em TOA – Classe urbano.....	88
Figura 34: Classe água após a normalização.....	89
Figura 35: Classe floresta após a normalização.....	89
Figura 36: Classe urbano após a normalização.....	90
Figura 37: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 1985.....	92

Figura 38: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 1994.....	93
Figura 39: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 2005.....	94
Figura 40: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 2015.....	95
Figura 41: Exemplo de erros de comissão da classe áreas urbanas – Paraty 2015 1 – Erros de comissão referente a solo exposto 2 – erros de comissão referente à gramínea e pastagem 3 – erros de comissão referente a afloramentos rochosos.....	96
Figura 42: Cobertura da terra, Paraty (1985).....	97
Figura 43: Cobertura da terra, Paraty (1994).....	98
Figura 44: Cobertura da terra, Paraty (2005).....	99
Figura 45: Cobertura da terra, Paraty (2015).....	100
Figura 46: Matriz de confusão e Kappa (1985).....	101
Figura 47: Matriz de confusão e Kappa (1994).....	101
Figura 48: Matriz de confusão e Kappa (2005).....	102
Figura 49: Matriz de confusão e Kappa (2015).....	102
Figura 50: heterogeneidade da classe áreas urbanas.....	103
Figura 51: efeito de borda da ferramenta <i>features random</i> .....	103
Figura 52: Áreas urbanas em Paraty de 1985 a 1994, indicando as áreas de urbano consolidado em 1985 e a expansão urbana para o período.....	106
Figura 53: Vila residencial de Mambucaba.....	107
Figura 54: Condomínio Laranjeiras.....	107
Figura 55: Bairro Ilha das Cobras e Parque Mangueira.....	108
Figura 56: Bairro Jabaquara.....	109
Figura 57: Trindade.....	110
Figura 58: Áreas urbanas em Paraty de 1994 a 2005, indicando as áreas de urbano consolidado em 1994 e a expansão urbana para o período.....	111
Figura 59: Barra Grande.....	111
Figura 60: Arredores do Centro Histórico.....	112
Figura 61: Pantanal.....	112
Figura 62: Áreas urbanas em Paraty de 2005 a 2015, indicando as áreas de urbano consolidado em 2005 e a expansão urbana para o período.....	113
Figura 63: Prainha de Mambucaba.....	114
Figura 64: Taquari.....	115
Figura 65: São Roque.....	115
Figura 66: Graúna.....	116
Figura 67: Praia Grande.....	117

Figura 68: Pedra Branca.....	118
Figura 69: Praia do Sono.....	118
Figura 70: Mapa hipsométrico de Paraty demonstrando a influência das cotas mais baixas de 0 a 270 metros para a expansão urbana, assim como a influência dos rios e estradas principais..	120
Figura 71 – Simulações I e II comparadas com a cobertura da terra de Paraty – 2015.....	131
Figura 72 – Simulações III e IV comparadas com a cobertura da terra de Paraty – 2015.....	132
Figura 73 – Simulações V e VI comparadas com a cobertura da terra de Paraty – 2015.....	132
Figura 74: Similaridade espacial entre as simulações I, II e III considerando o mapa de cobertura da terra de 2015 de Paraty.....	133
Figura 75: Mapa de probabilidade de transição para áreas urbanas.....	134
Figura 76: Projeção para a expansão urbana em Paraty para o ano de 2030 destacando as áreas de maior expansão.....	135
Figura 77: Comparação das imagens históricas do Google Earth 2015-2018 – Prainha de Mambucaba.....	137
Figura 78: Prainha de Mambucaba, imóvel a venda em São Gonçalo, lote fracionado em São Gonçalo, dispersão urbana, Rio São Gonçalo, estrada de São Gonçalo.....	138
Figura 79: Prainha de Mambucaba a direita e São Gonçalo a esquerda.....	138
Figura 80: Comparação das imagens históricas do Google Earth 2015-2018 – São Roque.....	139
Figura 81: Cerca ao longo de terrenos próximos a BR-101 em Tarituba, entrada condomínio Quintal Club de Paraty, terreno a venda próximo a BR-101 entre Taribura e Taquari.....	139
Figura 82: Taquari e São Roque.....	140
Figura 83: Implantação de postes na nova avenida de Jabaquara, lote a venda, e loteamento Jardim Porto das Canoas.....	141
Figura 84: Bairro Jabaquara.....	141
Figura 85: Arredores do Centro Histórico.....	142
Figura 86: Núcleos urbanos dispersos, nova construção em condomínio, terreno a venda, loteamento Portão Vermelho.....	143
Figura 87: Pantanal, Pedra Branca e Corisco.....	144
Figura 88: Independência e Novo Horizonte.....	145
Figura 89: Laranjeiras e Vila Oratório.....	146
Figura 90: Cenários futuros a partir da implantação de projetos turísticos / imobiliários em Paraty para o ano de 2030.....	147
Figura 91: Simulação da expansão urbana em Paraty para o ano de 2030 e o impacto sobre comunidades tradicionais e a relação dos usos conflitantes entre as áreas mapeadas como território de comunidades tradicionais pelo OTSS Bocaina e as zonas de expansão residencial e turística mapeadas pelo INEA.....	149

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 PRESSUPOSTOS.....	4
1.2 OBJETIVO GERAL.....	5
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
<b>2 CAPÍTULO I: APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES.....</b>	<b>6</b>
2.1 PARATY: DO ISOLAMENTO AO DESENVOLVIMENTO DO TURISMO.....	7
2.2 GENTRIFICAÇÃO E SUBURBANIZAÇÃO EM LOCAIS TURÍSTICOS: UMA ESTRATÉGIA DE MARKETING IMOBILIÁRIO? .....	11
2.3 CONFLITOS POR TERRA EM PARATY.....	18
<b>3 CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
3.1 INTRODUÇÃO AO MODELO DE AUTÔMATOS CELULARES E AO SOFTWARE DINAMICA EGO.....	24
3.1.1 Origem, principais características e aplicação urbana do modelo de Autômatos Celulares.....	28
3.1.2 Principais características de um Autômato Celular.....	32
3.1.3 Modelos de Autômato Celular irregular.....	37
3.1.4 Autômato Celular para modelagem urbana.....	39
3.1.5 Outros tipos de modelos.....	44
3.2 APRESENTAÇÃO DO MODELO DINAMICA EGO.....	49
3.2.1 Variáveis estáticas e dinâmicas.....	52
3.2.2 Cálculo das taxas de transição.....	52
3.2.3 Cálculo das probabilidades espaciais de transição.....	53
3.2.4 Método de Pesos de Evidência.....	53
3.2.5 As funções de transição.....	55
3.2.6 Functors para simulação de modelos de uso e cobertura da terra.....	56
3.2.7 Método de validação.....	56
3.3 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM APOIO À GERAÇÃO DE CENÁRIOS E MODELOS PREDITIVOS DE ANÁLISE.....	57

3.3.1 Pré-processamento das imagens Landsat 5 e 8.....	59
3.3.2 Classificação baseada em objeto e detecção de mudanças Pós-Classificação.....	61
3.3.3 Demais métodos de detecção de mudanças.....	64
3.3.3.1 Técnicas de Pré-Classificação.....	65
3.3.4 Classificação baseada em objeto com o software eCognition.....	68
3.4 VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE COBERTURA DA TERRA PELO ÍNDICE KAPPA....	70
<b>4 CAPÍTULO III - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>73</b>
4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	74
4.1.1 Correção atmosférica.....	74
4.1.2 Normalização radiométrica.....	76
4.2 CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETOS.....	78
4.3 APLICAÇÃO DO ÍNDICE KAPPA.....	80
4.4 TRABALHO DE CAMPO.....	81
<b>5 CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>83</b>
5.1 ANÁLISE DA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA POR TRANSFERÊNCIA RADIATIVA.....	83
5.2 RESULTADOS DA NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA.....	88
5.3 AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS PELO ECOGNITION.....	90
5.4 APLICAÇÃO DO ÍNDICE KAPPA.....	100
5.5 PERFIL DA EXPANSÃO URBANA EM PARATY.....	104
5.6 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DA EXPANSÃO URBANA NO DINAMICA EGO.....	121
5.6.1 Cálculo da matriz de transição.....	121
5.6.2 Cálculo de intervalos para categorizar variáveis de tons de cinza e pesos de evidência.....	122
5.6.3 Pesos de evidência para as diferentes variáveis.....	122
5.6.4 Validação do modelo de simulação 2005 – 2015.....	129
5.6.5 Validação com o modelo <i>Calc Reciprocal Similarity Map</i> .....	133
5.6.6 Construção de cenários futuros de médio prazo.....	134
5.6.7 Análise das áreas de expansão urbana para o ano de 2030.....	136
5.6.8 Simulação da expansão urbana a médio prazo a partir de projetos turísticos / imobiliários.....	146

<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>150</b>
ANEXO 1.....	163

## 1 INTRODUÇÃO

Localizado ao sul do estado do Rio de Janeiro e na baía da Ilha Grande, o município de Paraty atualmente é considerado um dos 65 destinos indutores do desenvolvimento do turismo do Brasil, e este se constitui na principal atividade econômica da cidade. Todavia, Paraty permaneceu décadas isolada, com uma economia estagnada e acesso limitado devido à vegetação intransponível que se mantinha nas escarpas montanhosas da Serra do Mar. No encontro do Oceano Atlântico com a Serra do Mar, formam-se as baixadas costeiras, pequenas e numerosas, que, associado ao isolamento da cidade facilitou o estabelecimento de agrupamentos caiçaras que sobrevivem principalmente da pesca. Na década de 1970, a implantação da rodovia BR-101 (trecho Rio-Santos) findou esse isolamento, facilitando o acesso à cidade e iniciando um novo ciclo econômico baseado no turismo, principalmente em razão da proximidade de grandes metrópoles como Rio de Janeiro e São Paulo.

A construção da rodovia Rio-Santos foi um dos frutos do Projeto Turis, um Plano de Aproveitamento Turístico criado pela Empresa Brasileira de Turismo (EMBRATUR) que visava reordenar todo o território Sul Fluminense em função do turismo declarando a vocação turística da região. Por conseguinte, Paraty foi declarada como zona prioritária de interesse turístico destinando áreas para este fim ao longo da década de 1970 (CPDA-UFRRJ, 2015).

Prontamente, pretensos proprietários de terra surgiram instigados pela valorização local, fato que gerou conflitos com moradores locais, acarretando ora em processos de expropriação desses moradores, ora em movimentos de resistência, especialmente pelas comunidades tradicionais representativas na região.

Desde então, processos de gentrificação vêm avançando sobre a localidade onde se evidencia uma recomposição demográfica e consequente substituição social que não se limita apenas às áreas centrais. Regiões periféricas dotadas de belezas naturais e de fácil acesso são atrativas para grupos de investidores que através da oferta de novos produtos imobiliários e hoteleiros como condomínios fechados, resorts e outros, voltados para classes de maior poder aquisitivo, contribuem para reestruturação urbana e fragmentação social. Tais investimentos estão a serviço de uma ordem privada cada vez mais rígida, segregando grupos sociais locais como comunidades caiçaras, quilombolas e indígenas.

Com o objetivo de impedir o avanço do setor imobiliário e proteger os recursos naturais e a cultura caiçara de Paraty, diversas Unidades de Conservação (UC) foram criadas tais como: Parque Nacional da Serra da Bocaina em 1971, o Parque Estadual de Paraty-Mirim em 1972, a Área de Proteção Ambiental do Caiçu em 1983, a Área de Proteção Ambiental Municipal da

Baía de Paraty em 1984, a Estação Ecológica de Tamoios em 1990 e a Reserva Ecológica Estadual da Juatinga em 1992. Todavia, conflitos entre comunidades tradicionais, grileiros, empresas privadas e a própria administração das UC são constantes na localidade.

Atualmente, Paraty reúne um arcabouço turístico em expansão, formado por variados atrativos naturais, culturais, gastronômicos; equipamentos como diversas opções de meios de hospedagens, agências de receptivo e de turismo náutico, centro de atendimento ao turista; oferta de diversos restaurantes e lojas de souvenirs; eventos fixos como a Flip, Festival da Cachaça, Bourbon Festival Paraty e outros. Também apresenta uma certa superestrutura para o planejamento e organização da atividade como secretaria e fórum de turismo, políticas públicas voltadas para o setor e etc. Contudo, o destino falha em diferentes aspectos, que não apenas interferem na competitividade e qualidade da cidade como um destino turístico, mas sobretudo, limitam a qualidade de vida dos moradores locais, como saneamento básico precário, instabilidade no fornecimento de energia elétrica, ausência de elementos de acessibilidade, insegurança, carência de sinalização turística, inexistência de plano de marketing, etc. (MTUR, 2015). Todavia, devido às belezas naturais e o grande apelo histórico-cultural de Paraty, tais falhas não impedem seu forte posicionamento turístico e clara notoriedade em âmbito nacional e internacional. Logo, o Turismo é um evidente impulsionador do crescimento urbano em Paraty, de forma a atender as necessidades de crescente número de turistas na localidade.

Desse modo, faz-se necessário que as políticas públicas e processos de tomada de decisão relativo ao planejamento e organização do turismo, estejam alinhados aos de urbanismo e desenvolvimento para que ambos, turismo e crescimento urbano, não ocorram de forma desordenada, segregacionista e danosa aos turistas, e principalmente aos moradores locais.

Assim, de forma a contribuir para a relação entre turismo e expansão urbana, este trabalho visa à criação de cenários futuros do crescimento urbano que se deu por meio do modelo de autômatos celulares. Os autômatos são grades com células regulares, nas quais cada célula possui um valor discreto e um tempo definido, podendo estes serem alterados em função do valor das células vizinhas (WOLFRAM, 1983).

O recorte espacial deste modelo abrange todo o município de Paraty, pois as potencialidades turísticas compreendem todo o território, assim como a possibilidade de expansão urbana. A trajetória temporal compreende os anos de 1985, 1994, 2005 e 2015. Optou-se por um intervalo de aproximadamente 10 anos devido ao lento desenvolvimento urbano e crescimento populacional do município. Também optou-se por iniciar a trajetória temporal pela década de 1980 em razão da disponibilidade de imagens de satélite da série Landsat, de maneira a verificar a expansão urbana da cidade próxima a implantação da Rio-

Santos em 1970. Dessa forma, o modelo foi alimentado por meio de informação espacial extraída de imagens do Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI), mapas de infraestrutura, de superestrutura acerca de políticas públicas do turismo, de aspectos do relevo e outros. A simulação do resultado de políticas públicas de turismo por meio de autômatos celulares pode ser de grande valia para os planejadores e gestores da atividade, oferecendo uma percepção mais sensível quanto aos impactos do turismo.

Também por meio de uma série multitemporal de 30 anos de imagens do satélite Landsat, espaçadas em quatro datas, foi possível gerar mapas indicando o avanço das áreas urbanas. Objetivou-se, detectar as principais alterações em relação ao crescimento da cidade, identificando as áreas e o período de maior expansão urbana e a propagação desse crescimento, contribuindo para construção de um cenário evolutivo local.

A modelagem de aspectos urbanos integrando ferramentas tão poderosas como sensoriamento remoto, SIG e autômatos celulares é um desafio e também uma oportunidade alternativa e complementar de análise. Essas ferramentas apoiam a tomada de decisão de administradores locais, envolvidos com o planejamento e gestão urbana, ambiental e turística.

A identificação de áreas suscetíveis à expansão urbana dá suporte ao planejamento do território, permitindo minimizar eventuais problemas relacionados aos usos conflitantes, e maximizar os investimentos em ações com retorno para a sociedade. E no que diz respeito ao patrimônio imaterial de Paraty, é de grande valia para identificar investimentos que possam ameaçar comunidades tradicionais e sua forma de reprodução social, evitando a ampliação de processos de gentrificação.

## 1.1 PRESSUPOSTOS

Durante o governo militar existia a preocupação em consolidar o capitalismo favorecendo empresas multinacionais, e neste contexto, o turismo adquiriu notoriedade (CPDA-UFRRJ, 2015).

No plano nacional, na década de 1960, foi criada a Embratur que elaborou o Projeto Turis, e de acordo com Guanziroli (1983), Ribeiro (2007) e Almeida (1997), o novo planejamento territorial contido no projeto declarou a vocação turística do litoral Sul Fluminense e facilitou a apropriação das terras por pretensos proprietários e legitimou o processo de expulsão dos moradores locais (CPDA-UFRRJ, 2015).

O modelo de desenvolvimento turístico adotado foi à construção, ampliação e reforma de hotéis, serviços e obras com finalidades turísticas, propiciando ao poder público desapropriar áreas de interesse para atividades turísticas. E foi o que ocorreu em Paraty, quando áreas destinadas à intervenção fundiária tornaram-se áreas destinadas para fins de interesses turísticos (CPDA-UFRRJ, 2015). Logo, ao estimular a ocupação desordenada do território, gerar conflitos com moradores locais e causar danos ao patrimônio ambiental, nota-se que nem todos os efeitos dessa política de desenvolvimento turístico foram positivos.

Atualmente, existem novos projetos para impulsionar o crescimento do turismo na região, e dentre eles ressalta-se a duplicação da rodovia Rio-Santos<sup>1</sup>, de Itaguaí a Paraty, e especificamente em Paraty a pavimentação da Estrada Paraty-Cunha que facilita o acesso ao Vale do Paraíba Paulista e uma nova rodoviária, inaugurados recentemente, um centro de convenções, um centro cultural administrado pelo Sesc e outros.

Neste sentido, surgem as seguintes indagações que dão embasamento à proposta metodológica:

- Com a possível duplicação da rodovia Rio-Santos, os conflitos por terra em Paraty poderiam se intensificar e expandir os processos de gentrificação?
- Esses novos investimentos poderiam contribuir para degradação do patrimônio ambiental e cultural imaterial de Paraty, ameaçando comunidades tradicionais que resistem na localidade há décadas?

---

<sup>1</sup> Informação obtida junto ao arquiteto da Secretaria de Obras de Paraty via e-mail. A informação também pode ser conferida em: DNIT, 2010. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/governo-garante-a-duplicacao-de-mais-160-quilometros-da-br-101-no-rio-de-janeiro/>> e PREFEITURA DE MANGARATIBA, 2014. Disponível em: <<http://www.mangaratiba.rj.gov.br/novportal/noticias/duplicacao-da-br-101.html/>>

- Os modelos de autômatos celulares propostos neste trabalho, parametrizados por dados de sensoriamento remoto e mapas temáticos são válidos para criação de cenários futuros da expansão da mancha urbana, apoiando o processo de decisão e sendo representativos da realidade? Quais as maiores dificuldades na implementação e o quanto é possível replicar o método?

### 1.3 OBJETIVO GERAL

Definir o perfil temporal de áreas construídas no município de Paraty, identificando as áreas potenciais para expansão futura, a partir de modelos dinâmicos e construção de cenários futuros baseados em autômatos celulares.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a evolução das áreas construídas na cidade de Paraty em um período de 30 anos, compreendendo a trajetória de 1985 a 2015, em especial no litoral, visando identificar um possível padrão de ocupação das novas áreas e a direção de expansão no período;
- Verificar a função das áreas de mudança, apontando indícios da pressão sobre comunidades tradicionais devido à valorização local do turismo e empreendimentos imobiliários;
- Identificar áreas suscetíveis à expansão urbana por meio de simulações com autômatos celulares e apontar áreas com risco de desapropriação e mudança de função.

## 2 CAPÍTULO I: APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES.

A área de estudo deste trabalho compreende o município de Paraty (figura 1) que se localiza na Baía da Ilha Grande, ao Sul do Estado do Rio de Janeiro e na região turística da Costa Verde juntamente com Angra dos Reis, Mangaratiba, Rio Claro e Itaguai.

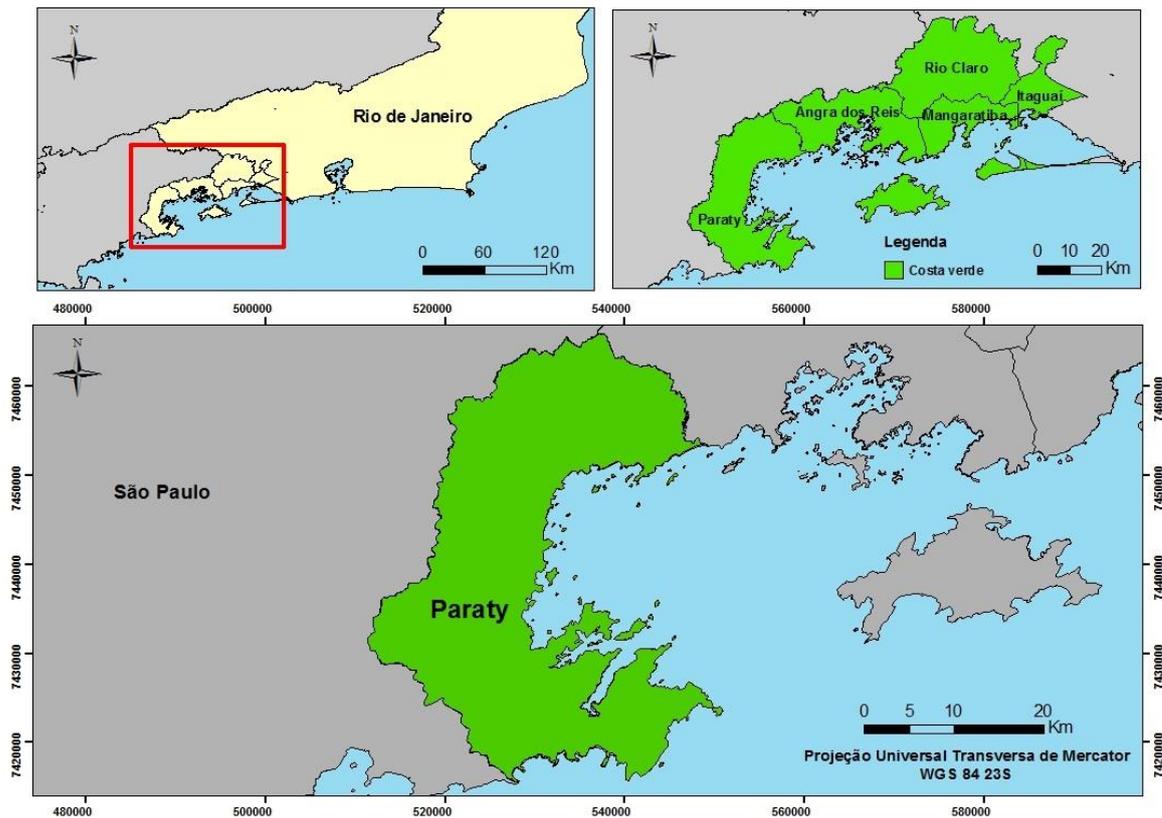


Figura 1: Localização do município de Paraty.

De acordo com o IBGE (2018), Paraty possui uma área de 933,8 km<sup>2</sup>, uma densidade demográfica de 40,57 hab/km<sup>2</sup> e um médio IDHM de 0,693. Com uma população de 37.533 pessoas em 2010, das quais 27.717 vivem em áreas urbanas e 9.858 em áreas rurais, ou seja, 74% e 26%, respectivamente. No censo do ano 2000, a população era de 29.544 pessoas, no qual 15.478 (52,39%) residiam em áreas rurais e 14.066 (47,61%) em áreas urbanas. Nota-se que em um período de 10 anos, a população urbana ultrapassa a rural, sendo a diferença em 2000 de 4,78% e em 2010 de 48%.

O quadro 01 demonstra a evolução populacional dos municípios da Costa Verde. No que concerne a Paraty, de 1970 a 1980 houve um aumento de 4.692 pessoas no município, de 1980 a 1991, 3.302 pessoas, de 1991 a 2000, 5.616 pessoas e de 2000 a 2010, 7.989 pessoas.

Percebe-se que comparado a outros municípios como Rio de Janeiro ou municípios da região da Costa Verde como Angra dos Reis e Itaguaí, o crescimento populacional da cidade é lento, porém nas duas últimas décadas, o município apresentou um crescimento mais acelerado, e como evidenciado uma porcentagem maior de áreas urbanas, o que pode indicar o crescimento da cidade em direção a urbanização.

<b>Quadro 01: População residente – Costa Verde (RJ)</b>					
	Censo 1970	Censo 1980	Censo 1991	Censo 2000	Censo 2010
Paraty	15.934	20.626	23.928	29.544	37.533
Angra dos Reis	40.276	57.869	85.571	119.247	169.511
Mangaratiba	12.338	13.841	17.925	24.901	36.456
Itaguaí	55.839	90.131	113.057	82.003	109.091
Rio Claro	14.251	12.916	13.685	16.228	17.425

Valores aproximados para o ano de 1970 e 1980. Fonte: Adaptado IBGE, 1970, 1980, 1991, 2000 & 2010.

Parte considerável do território de Paraty situa-se nas escarpas montanhosas da Serra do Mar sendo o ponto mais alto o Pico da Marcela com 1850 metros de altitude. A população urbana localiza-se predominantemente nas baixadas litorâneas constituídas por estreitas planícies sedimentares. O relevo também é marcado pela existência de inúmeras ilhas, e destaca-se na APA do Cairuçu o único fiorde do país, conhecido como Saco do Mamanguá com 10 km de extensão (PREFEITURA DE PARATY, 2003).

O município também está inserido na Baía da Ilha Grande e possui uma série de micro bacias em seu litoral com destaque para a Baía de Paraty com 33 km<sup>2</sup> e está inserido no domínio da Mata Atlântica com o maior segmento remanescente contínuo do país, além da presença de restinga e vegetação de mangue como o mangue branco, vermelho, preto e siriúba (PREFEITURA DE PARATY, 2003).

## 2.1 PARATY: DO ISOLAMENTO AO DESENVOLVIMENTO DO TURISMO.

O presente item apresenta de forma sucinta o histórico do município de Paraty e como sua relação com turismo acarretou em diversos conflitos por terra na cidade, principalmente com comunidades tradicionais caiçaras. Destes conflitos, surgiram casos de gentrificação no qual comunidades que viviam há décadas na região foram substituídas por outra de maior poder aquisitivo. Tais casos também são abordados.

Existem diversas datas para a fundação do município de Paraty de acordo com diferentes historiadores, todavia, considerar-se-á a data de 1667 quando Paraty emancipa-se de Angra dos

Reis com o título de Nossa Senhora dos Remédios de Paraty, sendo a primeira cidade brasileira a conquistar sua autonomia por voto popular (PREFEITURA DE PARATY, 2003).

Paraty passou por diferentes ciclos econômicos entre momentos de ascensão e de declínio. Em 1667 a cidade exportava cana de açúcar e mandioca para a produção de açúcar, cachaça e farinha. A Trilha Guaianá que ligava Paraty ao Vale do Paraíba, o transporte de rio, marítimo e canais navegáveis, constituíam-se na ligação mais rápida entre Rio de Janeiro e São Paulo (TANSCHHEIT, 2010).

Posteriormente, deu-se início ao Ciclo do Ouro, em 1695, período de intenso movimento na Costa Paritiense, devido ser esse o único caminho que ligava o Rio de Janeiro às Minas Gerais num trajeto que durava cerca de 40 dias. Nota-se que Paraty possuía uma posição estratégica e em 1702 o porto da cidade tornou-se de uso exclusivo e obrigatório para embarque do ouro vindo de Minas Gerais (TANSCHHEIT, 2010).

Segundo Tanscheit (2010), o período de escoamento do ouro foi curto, e para atender a demanda de produtos da população de Minas Gerais, Paraty passou de centro distribuidor de artigos como o sal, azeite, vinho, aguardente e manufaturados vindos da Europa, para fornecedor de gêneros alimentícios como feijão, milho, farinha de mandioca, queijo, rapadura, ovos, e legumes diversos. O comércio, a distribuição de artigos e a produção de gêneros alimentícios foram o sustentáculo da economia de Paraty desde sua origem até o ano de 1870.

De 1750 a 1800 houve uma queda no comércio da vila que só voltou a se fortalecer com a produção de café na Vale do Paraíba, sendo Paraty mais uma vez o porto mais próximo para embarcar o café com destino a Europa. Devido ao crescimento da vila principalmente pela demanda advinda da coroa portuguesa instalada no Brasil, Paraty conquistou o título de cidade em 1844 (TANSCHHEIT, 2010).

Com a abertura do caminho ferroviário D. Pedro II entre Rio de Janeiro e São Paulo, através do Vale do Paraíba, o trajeto de Paraty perdeu sua função, prejudicando intensamente a economia da cidade, afetada também, pela Abolição da Escravatura em 1888, fato que provocou um significativo êxodo populacional. Dos 16.000 habitantes existentes em 1851, restaram apenas 600, isolando Paraty por décadas (PREFEITURA DE PARATY, 2003).

Abriam-se estradas pelo resto do país, enquanto em Paraty, o acesso era realizado como na época Colonial, com barcos vindos de Angra dos Reis, e a partir de 1950 por terra, via Cunha, estrada que só possibilitava movimento quando não chovia. Contudo, o isolamento da cidade contribuiu para a preservação da arquitetura e dos costumes da localidade (PREFEITURA DE PARATY, 2003).

Também segundo Mussolini (1980), o isolamento de Paraty associado às numerosas pequenas baixadas costeiras e os diversos cursos d'água favoreceram o estabelecimento dos agrupamentos caiçaras, representativos na região.

A cidade só voltou a ser visada com a abertura da rodovia BR-101 na década de 1970, a Rio-Santos, e pelo decreto do IPHAN em 1966 ao declarar o município Monumento Histórico Nacional (TCE-RJ, 2006).

A partir da década de 1970 firma-se um novo ciclo econômico em Paraty baseado no Turismo, com a exposição da cidade a ricos mercados consumidores como Rio de Janeiro e São Paulo, acarretando uma série de transformações, devido sua inserção no âmbito regional e com impactos significativos de cunho cultural, econômico, social e ambiental.

O município recebeu diferentes tombamentos, o primeiro em 1958, quando o conjunto arquitetônico e paisagístico do mesmo foi tombado pelo IPHAN. Em 1966 recebeu o título de Monumento Nacional e em 1974 um novo tombamento incluiu o entorno do conjunto arquitetônico e paisagístico. Esses decretos reconhecem o valor excepcional, a extraordinária beleza natural, a originalidade da área do município, e sua representatividade histórica como elemento de ligação entre as capitânicas do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (IPHAN, 2014).

Atualmente, o município de Paraty integra um dos 65 destinos indutores do desenvolvimento turístico regional, sendo o turismo uma das principais atividades econômicas da cidade. Segundo dados da Chias Marketing, em 2003 o município atingiu o número de 231.948 turistas com estimativas de alcançar 400.000 em 2006<sup>2</sup>. Contingente este, muito superior ao número de habitantes que em 2010 somavam 37.533 pessoas (IBGE, 2010).

No que concerne as políticas públicas de Turismo, Paraty possui uma Secretaria Municipal de Turismo, um Conselho Municipal de Turismo criado em 2000 com reuniões regulares, Fundo Municipal de Turismo, Plano Diretor de Desenvolvimento Turístico publicado em 2003, Inventário Turístico lançado em 2010, porém atualmente encontra-se indisponível, Plano Estratégico de Turismo em vigor e um Convention & Visitors Bureau. A atual marca promocional turística do destino é: Paraty, cultura em verde e azul (MTUR, 2015).

O total de exportação gerado pelo Turismo no ano de 2003 foi de 94.879.645,28 lembrando que nem todo valor supracitado permanece no município, já que, parte considerável dos produtos e serviços utilizados pelo Turismo em Paraty provém de outros municípios (PREFEITURA DE PARATY, 2003).

---

<sup>2</sup> Turismoparaty, 2017.

Também segundo a Prefeitura de Paraty (2003), o Turismo é responsável por 39,22% da empregabilidade na cidade, gerando 5.290 postos de emprego, sendo 3.664 fixos e 1.625 temporários. Sobre a quantidade de estabelecimentos, em 2006, a cidade possuía 169 restaurantes e outros estabelecimentos de serviços de alimentação e bebidas, 89 hotéis e similares e 23 agências de viagens (MTE/ FAT. RAIS 2006 apud SEBRAE, 2008).

Segundo Ribeiro (2015), no dia 09 de dezembro de 2015, Paraty recebeu duas premiações, reconhecida como a cidade que mais evoluiu em temas como economia local e monitoramento, no estudo de competitividade do turismo realizado pelo Ministério do Turismo, que monitora os 65 destinos indutores do desenvolvimento do turismo, analisando a situação de 13 categorias que compõem a atividade.

Atualmente, a cidade possui uma vasta quantidade de programas e projetos, divididos em eixos estratégicos contidos no Plano Estratégico de Turismo<sup>3</sup>, com o objetivo de fomentar o turístico e desenvolver vantagens competitivas, de forma a eliminar, gradativamente, os entraves ao desenvolvimento sustentável da atividade turística. Desses eixos, interessa para este trabalho o eixo 3: Qualificação dos Serviços e do Destino, devido sua capacidade de interferir em áreas urbanas e atrair novas manchas. Este eixo possui o programa indicado no quadro 02.

<b>Quadro 02: Programa de Implantação de Infraestrutura Turística</b>	
Implantação de Equipamentos Turísticos	Terminal Rodoviário, Terminal Marítimo, Centro de Convenções, Centro Poliesportivo, Cinema, Teatro e Marina Pública.
Urbanização de Áreas Turísticas	Praias do Pontal, Praia da Jabaquara, Cais de Turismo, Avenida Roberto Silveira, Trindade, Paraty Mirim e Cachoeira do Tobogã.
Saneamento Básico	Água, Esgoto Sanitário, Coleta e Tratamento de Resíduo Sólido.

Adaptado do Plano Estratégico de Turismo. Fonte: PMPARATY, 2017.

É notória a importância da atividade turística para o município e a potencialidade que a mesma representa para o desenvolvimento urbano, melhorias em aspectos sociais, ambientais, econômicos, culturais e outros, desde que planejamento e gestão sejam constantemente monitorados e que os preceitos da sustentabilidade incorporados nas diversas políticas públicas

<sup>3</sup> PREFEITURA DE PARATY. **Plano Estratégico de Turismo**. Disponível em: <http://pmparaty.rj.gov.br/conteudo/acoeseoprojetos/Governo-Sectur.pdf>

sejam respeitados. Também destaca-se o fluxo de investimento programado para o município em prol do turismo com capacidade para atrair quantidade significativa de turistas e visitantes. Logo, é essencial que a cidade tenha estrutura para adaptar-se a esta realidade, para que os impactos do turismo não se tornem um motivo de atrito para a comunidade local.

## 2.2 GENTRIFICAÇÃO E SUBURBANIZAÇÃO EM LOCAIS TURÍSTICOS: UMA ESTRATÉGIA DE MARKETING IMOBILIÁRIO?

Segundo Fratucci (2008), entre 1966 a 1990, foi o período em que o Governo se fez presente na estruturação e regulamentação do setor turístico nacional reconhecendo institucionalmente a atividade turística como capaz de favorecer o desenvolvimento regional, instalando assim, o Conselho Nacional de Turismo (CNTur), de caráter normativo e a Empresa Brasileira de Turismo (EMBRATUR), órgão executor da política nacional de turismo.

Um sistema nacional de incentivos fiscais e financeiros foi instituído pelo Governo Federal a fim de estimular o desenvolvimento turístico, principalmente por meio da ampliação e melhoria da oferta de meios de hospedagem, acarretando um intenso reordenamento no território brasileiro. Ademais, os investimentos foram priorizados para atender à demanda internacional, categorizados pelos empreendimentos hoteleiros de luxo, ou seja, os chamados 5 estrelas (FRATUCCI, 2008).

Logo, o processo de turistificação concentrou-se em determinados trechos do território nacional como os litorâneos, guiados por interesses dos agentes do mercado e por estratégias do governo militar que dirigia o país. O primeiro projeto desenvolvido pela EMBRATUR foi denominado Projeto Turis, com a implantação do trecho da Rio-Santos e declarando em 1973 a faixa litorânea compreendida entre o mar até 1 km após o eixo da rodovia BR-101 entre Mangaratiba (RJ) e Bertioga (SP) como *Zona Prioritária de Interesse Turístico* (FRATUCCI, 2008).

Com isso, conflitos por terra eclodiram em determinados locais e se intensificaram em outros, como em Paraty. Tais conflitos envolviam pretensos proprietários interessados na valorização local pelo turismo e comunidades autóctones que por diversas vezes sofreram atos de violência na tentativa de permanecer em suas terras.

Diversos investimentos já haviam sido instalados em Angra dos Reis, cidade vizinha a Paraty, como o Estaleiro Verolme, a Eletronuclear e o Terminal da Baía da Ilha Grande

(TEBIG), resultando na valorização local e consequente especulação imobiliária, além de impactos sociais e ambientais.

Na tentativa de resguardar o território da especulação imobiliária e da devastação florestal, foi necessário o tombamento de Paraty que posteriormente foi estendido para a vegetação. Contudo, com a implantação da rodovia Rio-Santos, a valorização das terras foi inevitável e conflitos por terra eclodiram em toda região.

Fratucci (2005) enfatiza que o turismo na região ocorreu de forma espontânea e que as agressões ao ambiente não findaram com a conclusão da Rio-Santos e que uma nova fase de devastação iniciou-se, agora devido à especulação imobiliária.

Siqueira (1989 p. 63 apud CPDA-UFRRJ, 2015, p. 301) relata que “com frágeis equipamentos legais de proteção de uso do solo, as prefeituras dos municípios cortados pela estrada viram, aos poucos, muitas de suas florestas darem lugar a campos de golfe e quadras de tênis de poderosos empreendimentos turísticos”.

Tais empreendimentos são estruturas de médio e grande porte, que envolvem resorts, condomínios de veraneio, marinas, áreas de lazer e outros. Como exemplo pode-se citar: PortoBello e Club Med Rio das Pedras em Mangaratiba, PortoGalo, Porto Marina Bracuhy e Porto Frade em Angra dos Reis e Condomínio Laranjeiras em Paraty, que muitas vezes, representam casos emblemáticos de gentrificação, no qual comunidades locais, principalmente as tradicionais como os caiçaras, foram substituídas por outras de maior poder aquisitivo.

A criação de diversas UC foi uma forma de conter a degradação ambiental provocada pela valorização das terras (Almeida, 1997 apud CPDA-UFRRJ, 2015). Ao longo de três décadas foram criadas seis UC, sendo que algumas delas se sobrepõem parcial ou totalmente, como o Parna da Serra da Bocaina, a APA de Cairuçu e a Reserva Ecológica da Juatinga. Tanto a quantidade de UC quanto as datas de criação podem ser um indicativo da duração e intensidade dos conflitos sucedidos na região.

De acordo com a Comissão Camponesa da Verdade (2014) no Litoral Sul Fluminense ocorreram diversos conflitos entre as décadas de 1960 e 1980, especialmente, nos municípios de Angra dos Reis e Paraty, concentrando mais de 50% dos conflitos de terra denunciados ao Movimento Sindical dos Trabalhadores Rurais (MSTR). Os conflitos decorriam principalmente da especulação imobiliária resultante dos investimentos federais na região, da implementação do Parque Nacional da Serra da Bocaina e do tombamento da cidade de Paraty como Monumento Histórico Nacional.

Isto demonstra que quando o planejamento territorial não é realizado de forma sistêmica e de modo a incluir a população local, sérios impactos podem surgir, até mesmo em virtude de

instrumentos que teoricamente deveriam proteger o patrimônio ambiental e histórico-cultural, incluindo neste aspecto as comunidades tradicionais.

Sendo assim, casos de gentrificação envolvendo comunidades tradicionais não são incomuns em Paraty. Pode-se citar o Centro Histórico do município, que teve seu tecido urbano modificado para atender ao turismo, no qual residências de moradores locais foram paulatinamente substituídas por restaurantes, lojas de roupas, lojas de souvenirs e casas de segunda residência.

Segundo Deboni *et al.*, (2014) o custo de manutenção dos imóveis com o tombamento do Centro Histórico subiu significativamente impossibilitando muitos proprietários a manter esse custo. Com a venda dos imóveis, estes passam a ter outras funções, e o Centro Histórico que era residencial, torna-se primordialmente turístico e comercial.

Com a importância turística do Centro Histórico o mesmo tornou-se local de desejo de comerciantes e prestadores de serviços turísticos, assim como, de pessoas com alto poder aquisitivo para segunda residência (DEBONI *et al.*, 2014).

Velloso (2013) refere-se à Paraty como uma cidade dividida em menção ao surgimento de bairros carentes a partir dos anos 70 devido à especulação imobiliária impulsionada pelo turismo, constituídos principalmente por pescadores e outros moradores da área rural. O autor afirma que a prosperidade proveniente do turismo pode ser encontrada nesses bairros apenas de forma indireta e subalterna por encontrar-se aí parte considerável da mão de obra barata e artesanal da cidade.

Neste sentido, estes bairros invisíveis para os turistas, reúnem parte significativa da cultura tradicional local de técnicas como a pesca, construção naval, culinária e manufatura de artesanato. É possível dizer, portanto, que esta cisão sócio-espacial se dá inclusive entre patrimônio material e imaterial: a cidade histórica é desligada de sua cultura tradicional. Este desligamento é notável pelo processo de gentrificação do centro histórico, que paulatinamente perde seus moradores originais para dar espaço ao arsenal turístico de lojas, pousadas e casas de veraneio de alto padrão. (VELLOSO, 2013, p. 52).



De acordo com Neil Smith a gentrificação, a renovação urbana e o processo de reestruturação urbana são parte da diferenciação do espaço geográfico na escala urbana, e que esta é o resultado do desenvolvimento desigual do capitalismo ou da operação de um *rent gap*; tendo atualmente, a reestruturação urbana a função de reservar uma pequena parte do substrato geográfico para um futuro período de expansão (SMITH, 1984 APUD NEIL SMITH, 2007). O *rent gap* é um dos mais importantes processos, responsável pela origem e forma da reestruturação urbana e está ligado a suburbanização (NEIL SMITH, 2007).

O autor explica que a suburbanização retrata simultânea centralização e descentralização do capital e da atividade humana no espaço geográfico. Numa escala nacional, a suburbanização é a expansão para além das áreas centrais, ou seja, é o crescimento dos vilarejos em cidades e das cidades em metrópoles. Já na escala urbana a suburbanização é um processo de descentralização em relação ao centro urbano motivada pela elevada taxa de lucro que varia de acordo com a localização, sendo a renda da terra o indicador econômico que diferencia um local do outro (NEIL SMITH, 2007).

Nas palavras de Neil Smith (2007, p. 21 e 22):

Enquanto o preço da terra nas áreas suburbanas eleva-se com a proliferação de novas construções, o preço relativo da terra nas áreas centrais cai. [...] Isto resulta naquilo que denominamos um diferencial (*rent gap*) entre a atual renda da terra capitalizada pelo uso presente (deteriorado) e a renda da terra potencial que poderia ser capitalizada pelo “mais elevado e melhor” uso da terra (ou, ao menos, comparativamente “mais elevado e melhor” uso), em virtude da sua localização centralizada.

[...] é o deslocamento do capital para a construção de paisagens suburbanas e o conseqüente surgimento de um *rent gap* o que cria a *oportunidade* econômica para a reestruturação das áreas urbanas centrais. A desvalorização da área central cria a oportunidade para a revalorização desta parte “subdesenvolvida” do espaço urbano.

É neste contexto que o Turismo surge como estratégia para alimentar esse processo. Através de parceria público-privada o Estado investe no Turismo de determinada região que prioriza os espaços com apelo paisagístico ou cultural. E aí encontra o seu *rent gap*.

Uma localidade dotada de recursos naturais e culturais possui um determinado valor, contudo, esses recursos ao tornarem-se atrativos turísticos, ou seja, a localidade ao torna-se turística valoriza-se rapidamente, acarretando um aumento no custo de vida local como nos imóveis, e conseqüente deslocamento de parcela da população local, impossibilita de arcar com os novos valores, para locais mais afastados, fomentando a suburbanização.

No caso de Paraty, esse processo ocorre de forma mais lenta, pois quando se iniciaram os investimentos turísticos na região, a urbanização da mesma era incipiente. Todavia, com o tombamento do Centro Histórico deu-se impulso ao processo de gentrificação e suburbanização.

Neste sentido, Arreortua (2013) alerta para os casos de gentrificação no contexto da América Latina que se diferenciam do discurso anglo-saxão. Inspirado por autores como Jones e Varley (1994, 1999), Steel e Klaufus (2010) e Havey (2001), Arreortua (2013) aborda sobre a mudança do uso funcional dos edifícios, em especial, do uso habitacional para o uso comercial e outros, destacando usos destinados a hotéis, bares, restaurantes, agências de viagens, boutiques e etc; associando essa mudança a reestruturação das cidades latino-americanas. Outra tendência ligada às transformações urbanas seria a revitalização do patrimônio histórico, sendo este um catalisador para o processo de gentrificação, pois a recuperação do patrimônio histórico é visto como um produto de "marketing urbano" visando gerar áreas atraentes para o turismo e investimentos estrangeiros. Ressalta-se o papel do Estado na gestão urbana "empresarialista" ao estabelecer as condições necessárias para atração do capital privado.

Mendes (2011) traz outra perspectiva para a gentrificação enquanto processo de recomposição urbana que envolve a recentralização seletiva e a substituição social, contribuindo para formação de uma cidade volátil, segmentada, fragmentada, descentralizada e amorfa.

Aborda sobre as áreas urbanas em regiões também periféricas que conseguem atrair grupos de estatuto socioeconômico mais elevado, e que se caracterizam, geralmente, pela presença de condomínios fechados, enquanto enclaves urbanos e fortificados de uma nova ordem privada, tendo como exemplo a Barra da Tijuca e os condomínios Alphaville e a Granja Viana em São Paulo (MENDES, 2011).

Segundo o autor o conceito de gentrificação deverá se alargar, pautada principalmente, pela nova conjuntura econômica que "revela a constituição de uma nova forma de gentrificação permeada por processos de promoção e marketing imobiliário, submetidos à mediação do mercado e que, mais do que nunca, contribuem para transformar o espaço residencial da cidade centro em mercadoria" (MENDES, 2011, p. 480).

Mendes (2011) afirma que pelo processo de substituição social que a gentrificação implica, de uma classe de menor poder aquisitivo por outra de maior, acentua-se a segregação socioespacial nas áreas onde o fenômeno ocorre, e que neste contexto, Smith (2012 apud Mendes, 2011) reconhece que parcerias público-privadas beneficiam os mais ricos, assim

como, a malha empresarial mais poderosa e às funções e relações estratégicas de controle, poder e dominação do espaço urbano.

É que se, em última análise, a atração e o crescimento propiciados pela gentrificação a todos beneficiam, em primeiro lugar ganham os promotores imobiliários, as empresas e as instituições financeiras, muito frequentemente à custa da expulsão dos residentes e das empresas mais débeis dos lugares requalificados, lançados por via dessa (des) valorização, num processo de exclusão (MENDES, 2011, p.481).

Logo, no que concerne a essa nova forma de gentrificação associada à generalização dos condomínios privados, a Costa Verde é emblemática, tendo Paraty sua participação através da implantação do Condomínio Laranjeiras, resultado do conflito de terra entre o grupo Adela-Brascan e a comunidade caiçara de Trindade, onde viviam 25 famílias. O condomínio era destinado à construção de residências de luxo, um clube esportivo com piscina, lagoa artificial e esportes aquáticos (CPDA-UFRRJ, 2015).

Com o aumento da visibilidade de Paraty devido ao turismo que se desenvolve, o processo de gentrificação tem alcançado novos espaços afastados do centro, principalmente aqueles próximo à orla marítima, onde resorts e condomínios de luxo são instalados para atender uma demanda exógena e de maior capacidade financeira, gerando conflitos como moradores locais como os caiçaras, que nesse processo saem lesados, ora com a perda de suas moradias e fonte de renda devido ao trabalho de pesca e agricultura, ora por danos físicos e psicológicos, já que devido à sua resistência sofrem ameaças de morte, casas são queimadas, lavouras são destruídas e outros tipos de violência.

Com os fatos expostos, sabe-se da importância do turismo para a economia de Paraty, todavia, o planejamento e gestão do mesmo devem ser realizados de maneira a incluir e beneficiar os moradores locais e não segregá-los por meio de processos de gentrificação.

O quadro 03 apresenta o valor de determinados imóveis em Paraty em áreas valorizadas, em comparação ao rendimento mensal dos domicílios segundo o censo do IBGE 2010. Percebe-se que grande parte da população local não possui poder aquisitivo para residir nos locais citados e, provavelmente, antigos moradores que nestes locais habitavam, tiveram que dar lugar para outros com maior capacidade financeira.

<b>Quadro 03: Áreas valorizadas x rendimento mensal dos domicílios</b>				
<b>Localização</b>	<b>Descrição do imóvel</b>	<b>Valor em R\$</b>	<b>Rendimento nominal médio mensal per capita dos domicílios</b>	
Condomínio Laranjeiras	Casa com 11 suítes e vista para o mar.	40.000.000	Áreas urbanas	Áreas rurais
Condomínio Laranjeiras	Casa com oito quartos e seis banheiros.	7.200.000	535,50	405,00
Condomínio Laranjeiras	Casa com sete quartos e seis banheiros.	25.000.000		
Centro Histórico	Casa com cinco suítes e cinco quartos.	8.000.000		
Centro Histórico	Casa com três suítes e cinco quartos.	3.700.000		
Boa Vista	Casa com 4 suítes.	2.340.000		
Portal das Artes	Casa com 1 suíte e 04 quartos.	2.800.000		

Fonte: IBGE, 2010; COELHO DA FONSECA, 2018; IMOVEIS.TROVIT, 2018; PETTERETAUFNERIMOVEIS, 2018 E LMPARATYIMOVEIS, 2018.

O exemplo do grupo Adela-Brascan e a comunidade caiçara de Trindade citado, representa apenas um dos muitos conflitos por terra sucedidos em Paraty. Possivelmente, um dos motivos que frearam o avanço dessa forma de gentrificação associada a condomínios privados na cidade foi à criação de diversas UC, além da resistência formada pelas comunidades tradicionais. Por isso, o próximo tópico aborda sobre a relação entre as áreas de ocorrência dos conflitos por terra e os territórios de comunidades tradicionais situadas em Paraty.

### 2.3 CONFLITOS POR TERRA EM PARATY.

Como mencionado anteriormente, com a construção da Rodovia Rio-Santos e consequente desenvolvimento do turismo e especulação imobiliária, os conflitos por terra intensificaram-se em Paraty. Logo, surgiram grileiros interessados na valorização local, especialmente devido às riquezas naturais como áreas litorâneas de expressivo valor para o turismo.

Dos grileiros, em sua maioria, eram paulistas e cariocas de alta renda ou empresas nacionais e multinacionais. Estes usavam de vários artifícios para a prática da grilagem como

o uso de armas, cães especializados, capangas, cobrança forçada de documentos de arrendamento ou de parceria e de contratos de comodato aos posseiros. Tais contratos descaracteriza a posse aos posseiros e legalizava o grileiro como o proprietário da terra. Também houve invasão às propriedades, violências privadas e omissões do Estado frente aos conflitos (Comissão Camponesa da Verdade, 2014). Outra forma de pressão realizada sobre os agricultores e pescadores foi o cercamento das áreas de cultivo, o desvio do curso dos rios, a soltura de gado em roçados, inviabilizando assim, a sua produção e reprodução social (CPDA-UFRRJ, 2015).

Segundo CPDA-UFRRJ (2015) lavradores, trabalhadores rurais, caiçaras, posseiros de pequenas áreas e residentes da faixa onde foi implantada a Rio-Santos, foram os mais atingidos por estas violências. A maioria era nativo ou residia em Paraty há mais de três gerações. E devido aos conflitos, muitos passaram a habitar em favelas e periferias do entorno.

Uma reportagem da Revista Veja em 1972 já demonstrava a intensidade desses conflitos e a intenção de transformar o litoral das cidades cortadas pela Rio-Santos em um complexo de veraneio para atender a população dos grandes centros urbanos.

A primeira vista, reforma agrária não combina com o saudável ócio estimulado pelo sol e pela brisa marinha. Mas, sem dúvida, a corrida desenfreada em direção às praias, os conflitos entre posseiros e proprietários, e a antevisão do que está para acontecer ao longo do litoral num futuro próximo justificariam a presença simultânea dos organismos governamentais com poderes ainda maiores que o Incra ou a Embratur. Há quem veja no futuro da Rio-Santos não apenas hotéis e casas de veraneios, mas várias cidades interligadas numa fantástica megalópole que uniria Rio a São Paulo e todo o Vale do Paraíba (Veja, 01/11/1972, p. 64 APUD CPDA-UFRRJ, 2015, p. 310).

Mesmo com a criação das UC em Paraty, os conflitos nessas áreas não cessaram, e em relação às comunidades tradicionais caiçaras, até as UC que previam em seu plano de manejo a sua manutenção tornaram-se motivo de conflito. Fontes e Guerra (2016) afirmam que a Reserva Ecológica da Juatinga convive historicamente com sérios conflitos fundiários, sobretudo, entre grileiros e caiçaras.

O mapa croqui (figura 03) demonstra as principais causas de conflitos nas UC de Paraty.

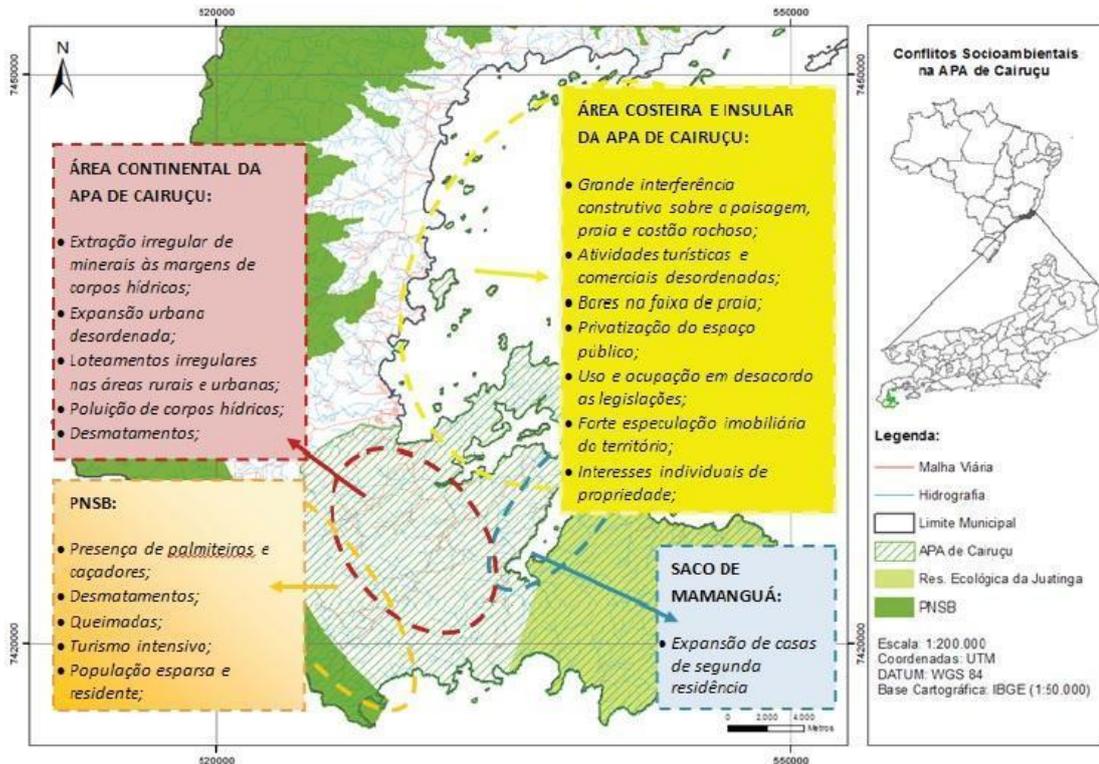


Figura 03: Mapa croqui dos conflitos socioambientais presentes no território da APA de Cairuçu, com destaque dos conflitos nas UC que se sobrepõem à APA de Cairuçu. Fonte: Fontes e Guerra (2016).

A densidade de conflitos por terra em Paraty também é retratada a seguir (figura 04) e constata um padrão na distribuição dos mesmos, que se concentram próximos a Rodovia Rio-Santos e ao longo do litoral, nas áreas de praia. Desta forma, determinados locais destacam-se devido à alta densidade de conflitos, tais como: São Gonçalo, Barra Grande, Praia Grande, Várzea do Corumbê, Pedra Branca, Ponta da Juatinga, Praia do Sono e Trindade. A exceção da Pedra Branca, os demais conflitos ocorrem em áreas de praia, podendo ser um indicativo da expressiva pressão imobiliária que sucede no local.

Esta densidade foi calculada por meio do estimador de densidade Kernel que segundo Câmara e Carvalho (2002) estima a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo, ajustando-se uma função bi-dimensional sobre os eventos considerados e compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área.

Os dados pontuais necessários para gerar a densidade foram criados por meio do levantamento dos conflitos sucedidos no município a partir dos documentos: Conflitos por Terra e Repressão no Campo no Estado do Rio de Janeiro (1946 - 1988), Violações de Direitos no Campo (1946 - 1988) e os arquivos da Comissão Pastoral da Terra. O primeiro retrata as disputas por terra e conflitos trabalhistas relacionados à especulação fundiária principalmente devido ao crescimento de atividades industriais e a transformação do litoral em polo de

investimento turístico. Das áreas litorâneas, destaca-se a Costa Verde, região turística onde Paraty está inserida. E o segundo, traz um resgate das violações de direitos de diversos camponeses, evidenciando sua luta e resistência contra o latifúndio amparado pelo Estado, reivindicando justiça e reparação para as famílias afetadas. O relatório reporta alguns casos emblemáticos dessas violações em diversos estados, e para este trabalho interessa os referentes ao estado do Rio de Janeiro, especificamente os do litoral Sul Fluminense.

O acervo da Comissão Pastoral da Terra – Centro de Documentação Dom Tomás Balduino, divulga os conflitos com trabalhadores no campo desde 1975, atos de violência por eles sofridos e outros, visando estimular e reforçar o protagonismo em suas lutas. A partir de 1985 tais conflitos foram publicados em cadernos anuais, intitulados Conflitos no Campo – Brasil e em 2012 e 2013 os documentos passaram a ser digitalizados e disponibilizados através do repositório online Google Drive.

No tocante ao estimador Kernel, este depende de dois parâmetros, o raio de influencia  $t$ , e a função  $K$  de estimação com propriedades de suavização do fenômeno (FREIRE, 2009). Assim, após alguns testes utilizou-se um raio de 4000 metros e a função quadrática do kernel, utilizada no software Arcgis 10.1.

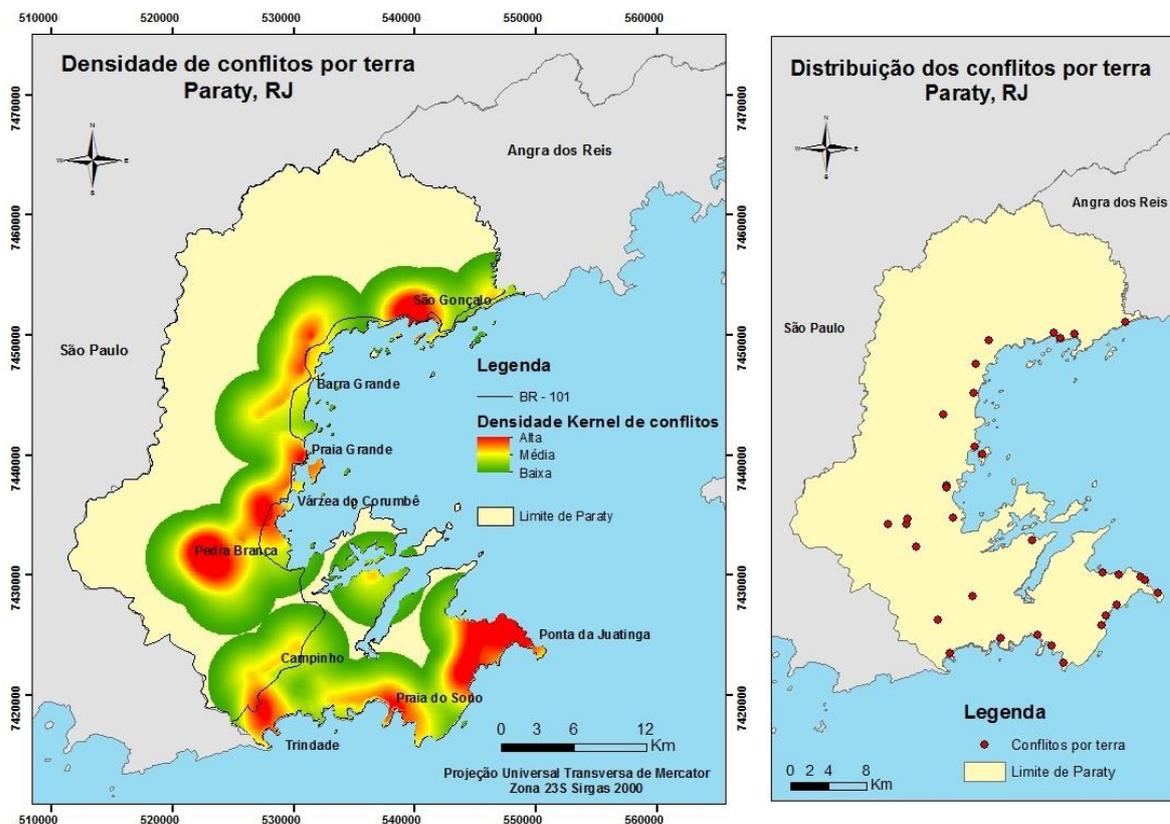


Figura 04: Densidade Kernel dos conflitos por terra em Paraty, RJ.

Igualmente, verificou-se a significativa relação entre os conflitos por terra em Paraty e a localização de comunidades tradicionais (figura 05), evidenciando a forte pressão sofrida pelas mesmas, principalmente as caiçaras. Também é notório como muitos desses conflitos ocorrem em áreas de UC.

Ao sul da cidade as densidades mais altas situam-se na Ponta da Juatinga, envolvendo conflitos com as comunidades tradicionais caiçaras Pouso da Cajaíba, Saco da Sardinha, Saco Claro, Martim de Sá e Saco das Anchovas. Na Praia do Sono, os conflitos abrangem as comunidades do Sono e Ponta Negra. Todas se localizam na R.E.E da Juatinga. E também Trindade com a comunidade caiçara de mesmo nome, na APA de Cairuçu.

Representada por uma média densidade de conflitos segue Parati-Mirim e a comunidade caiçara de Parati-Mirim e o Quilombo do Campinho na APA de Cairuçu. Há uma alta densidade de conflitos por terra com a comunidade caiçara da Praia Grande, e de média densidade com a aldeia indígena Rio Pequeno, porém estas não se localizam em UC. Já ao norte da cidade, correspondem os conflitos por terra de alta densidade as comunidades caiçaras de São Gonçalo, São Gonçalinho e Taribura, alcançando uma pequena parte do PARNA Serra da Bocaina.

Percebe-se a quantidade de conflitos que esses povos enfrentam para se manterem no território, conflitos esses, que em alguns casos, ultrapassam décadas. Paradoxalmente, também nota-se a influência das UC locais na vivência dessas comunidades, ora contribuindo para frear o avanço de grileiros e diversas empresas interessadas em suas terras, constituindo-se em uma forma de proteção ao território e dos recursos naturais, ora gerando conflitos com os moradores locais na medida em que impõem regras as suas atividades ou até mesmo sendo necessária a retirada dos mesmos. Outro aspecto importante é o fato de muitos conflitos ocorrerem com comunidades caiçaras, talvez pelo fato de comunidades quilombolas e as aldeias indígenas terem conquistado ao longo do tempo maior respaldo legal e, em termos de regularização fundiária, ambos são amparados por órgãos públicos específicos, tais como INCRA e FUNAI.

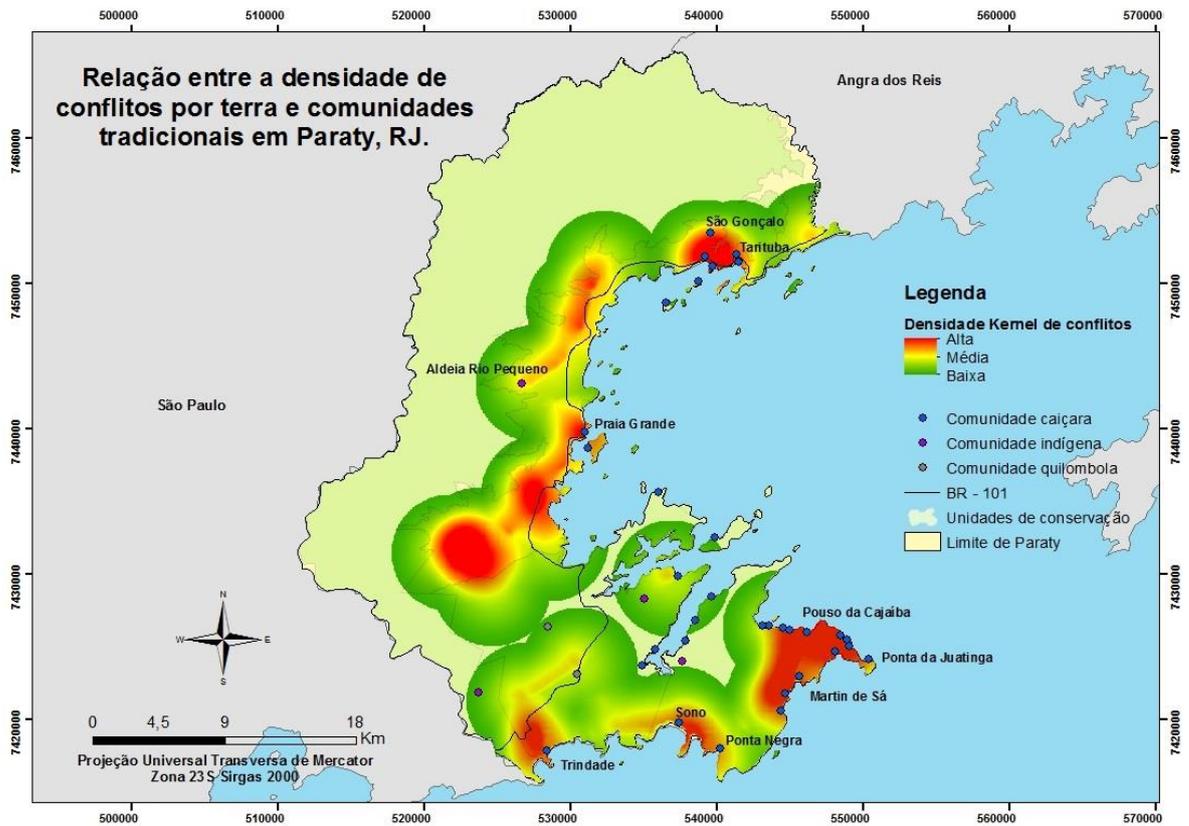


Figura 05: Relação entre a densidade de conflitos por terra e comunidades tradicionais em Paraty, RJ.

Assim, com a forte transição sofrida por Paraty da condição de isolamento para cidade turística, é necessário compreender as mudanças ocorridas na localidade, principalmente aquelas relacionadas ao crescimento urbano que é um dos focos de estudo deste trabalho.

### 3 CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO.

Neste item foram abordadas as principais ideias e seus respectivos autores que serviram como embasamento teórico-metodológico para o desenvolvimento do presente trabalho. Logo, para atender aos objetivos do mesmo, iniciou-se esta revisão bibliográfica com os modelos baseados em autômatos celulares, apresentando suas principais características e modo de funcionamento.

#### 3.1 INTRODUÇÃO AO MODELO DE AUTÔMATOS CELULARES E AO SOFTWARE DINAMICA EGO.

Existem uma variedade de modelos aplicados para a simulação da expansão urbana como aqueles baseados em cadeia de markov, modelos logísticos de difusão, modelos de regressão, modelos baseados em SIG, modelos de simulação de ecossistemas, redes neurais e outros. Contudo, para este trabalho foi utilizado o modelo baseado em autômatos celulares, devido sua capacidade de representar de forma simples, sistemas dinâmicos complexos, capturando uma rica variedade de comportamento (BAR-YAM, 1997).

Os autômatos celulares fornecem uma representação de alta resolução da dinâmica espacial urbana. Consequentemente, oferecem as previsões mais realistas da evolução estrutural urbana e, em particular, são capazes de replicar as várias dimensões fractal das cidades atuais (WHITE, 1998).

“Sendo uma forma de jogo inerentemente espacial, os autômatos celulares tornaram-se uma metáfora popular para uma variedade de processos geográficos e urbanos/regionais” (CONCLELIS, 1997, p. 3).

Baseado nos trabalhos de Couclelis (1985); Batty e Xie (1996) e Xie (1996), Almeida (2004) afirma que autômatos celulares (AC) (“cellular automata” - CA) são sistemas formais baseados em grades, e em cada célula da grade é representado um processo de mudança, como um simples mapeamento do estado atual de uma célula e das suas vizinhas para o estado da mesma no instante de tempo seguinte. Em uma cidade, um modelo de AC evidenciará dinâmicas urbanas e será utilizado para investigar processos de mudanças.

O conceito de AC nos últimos anos tem sido utilizado para modelar fenômenos físicos e urbanos, no qual o espaço é representado por um mosaico de células, usualmente de tamanhos e formatos idênticos (PEDROSA & CÂMARA, 2004).

Para Almeida *et al.*, (2003, p. 2) AC “concebem o espaço como uma grade de células com relações de vizinhança contíguas.”

Regras de transição são aplicadas em cada célula de um AC. Estas regras de transição podem ser qualitativas ou quantitativas e estabelecem quando e porque o estado de uma célula se altera (PEDROSA & CÂMARA, 2004).

Para explicar as regras de transição os mesmos autores utilizam um exemplo baseado em Câmara (1996):

Neste exemplo, uma célula pode assumir dois estados (branco e preto) e sua vizinhança é definida sobre duas células adjacentes. As regras de transição especificam que o estado de uma célula num instante  $t+1$  é igual ao dos seus vizinhos no instante  $t$ , se estes vizinhos tiverem os estados iguais; caso contrário, o estado da célula permanece o mesmo (PEDROSA & CÂMARA, 2004, p. 17).

Assim, os componentes básicos de um AC clássico são:

- Espaço euclidiano, dividido em um *array* de células;
  - Uma vizinhança de tamanho e formato definidos (Figura 6a)
  - Um conjunto de estados discretos (Figura 6b)
  - Um conjunto de regras de transição (Figura 6c)
  - Um conjunto de intervalos de tempo, com atualização simultânea das células (Figura 6d)
- (PEDROSA & CÂMARA, 2004, p. 18).

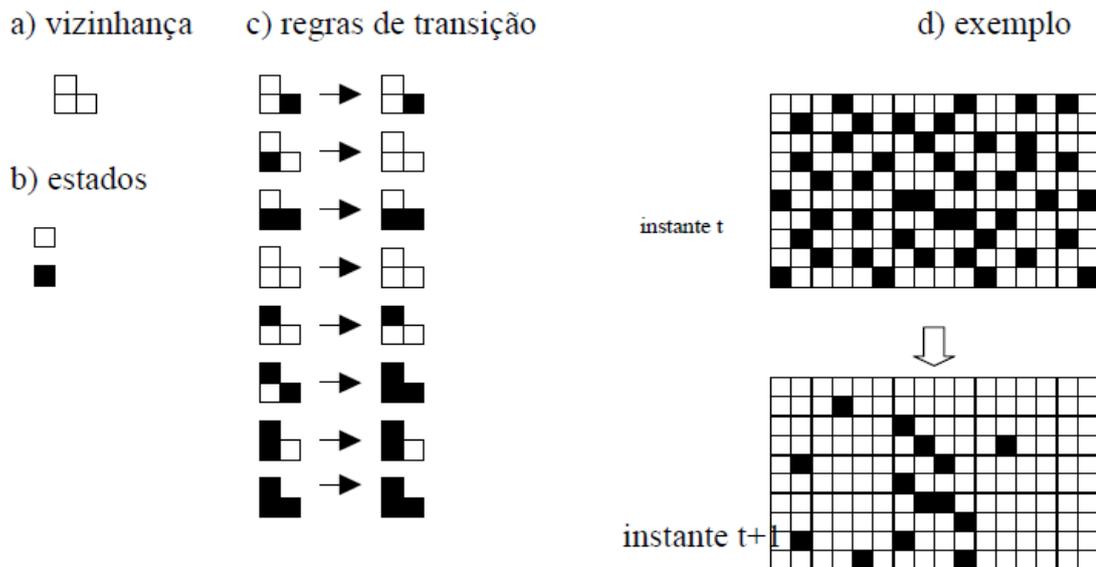


Figura 6: Exemplo de autômato celular no qual a letra a) representa as duas células vizinhas da célula considerada; b) o conjunto de estados discretos, preto ou branco; c) o conjunto de regras de transição e d) a atualização simultânea das células após a aplicação das regras de transição. (Fonte: Câmara 1996 apud Pedrosa e Câmara, 2001).

Considera-se as regras de transição da figura 6c aplicadas na figura 6d. Dessa forma, tem-se a 1ª regra de transição de um AC (figura 6c) representada na figura 6d, na qual, a primeira célula da segunda linha do autômato tem, no instante  $t$ , o estado branco e suas vizinhas possuem estados diferentes (uma é branca e outra preta). Nesta forma, o estado da célula permanece o mesmo. A 2ª regra de transição segue o mesmo mecanismo, a segunda célula da segunda linha, tem no instante  $t$  o estado preto e suas vizinhas, ambas o estado branco, logo o estado desta célula sofre uma transição para branco. O processo mantém o mesmo procedimento para as outras células até que todas tenham sido avaliadas (PEDROSA & CÂMARA, 2004).

Em síntese, “a dinâmica de aplicação das regras de transição em um autômato celular é semelhante a de um filtro espacial. Desta forma, todas as células são avaliadas e, quando for o caso, modificadas para um novo estado” (PEDROSA & CÂMARA, 2004, p. 18).

Fundamentado na ideia de vizinhanças estritamente locais, onde em uma determinada célula, as transições ocorrem única e simplesmente em razão do que ocorre na vizinhança imediata, os modelos de autômatos celulares, simulam processos de mudança ou crescimento. Sendo assim, ação à distância não existe, pois a dinâmica inerente aos autômatos e que produz fenômenos emergentes a nível global é inteiramente um produto de decisões locais, e tudo o que se passa além da vizinhança reconhecidamente imediata é desconsiderado (BATTY, 2000).

Baseados nas obras como de Phipps e Langlois (1997); White e Engelen (1997); White *et al.*, (1998), Almeida *et al.*, (2003) afirmam que os modelos urbanos de autômatos, na década de 90, passaram por sucessivos aperfeiçoamentos, incorporando dimensões ambientais, socioeconômicas e políticas, possibilitando articular níveis analíticos de micro e macro-escala.

Segundo Batty, 2000 (*apud* Almeida, 2004) existem pouco mais de vinte aplicações urbanas de AC, tais como intra-migração e segregação social (Portugali *et al.*, 1997), otimização de localização comercial (Benati, 1997), expansão do sistema viário (Batty e Xie, 1997), crescimento urbano (Clarke *et al.*, 1997; Clarke e Gaydos, 1998), mudanças do uso do solo urbano (Phipps e Langlois, 1997; White e Engelen, 1997; White *et al.*, 1998), etc.

Modelos de AC tornaram-se populares principalmente em razão da sua simplicidade operacional, por serem tratáveis, por reproduzirem processos tradicionais de mudanças por difusão, e serem complexos o suficiente para simular mudanças inesperadas e surpreendentes tais como em fenômenos emergentes. A flexibilidade destes modelos consiste em sua estrutura não sobrecarregada com suposições teóricas, e que é aplicável a um espaço representado como uma grade. Portanto, estes modelos articulam-se com dados matriciais, comumente usados em SIG (ALMEIDA *et al.*, 2003).

Com isso, embasada pelas melhorias alcançadas em modelos de AC, abrangendo âmbitos ambientais, socioeconômicos e políticos, o modelo de AC aplicado neste trabalho, se voltará para dinâmicas urbanas, visando simular áreas susceptíveis ao crescimento da mancha urbana.

Neste sentido, a modelagem será uma etapa primordial para o êxito do presente trabalho, pois facilitará a compreensão do comportamento dos objetos urbanos que se deseja estudar, discriminando os aspectos mais importantes para o objetivo do trabalho, e suprimindo os que não forem tão relevantes.

Segundo Soares Filho (2000), decompor o mundo real em uma série de sistemas simplificados, constitui-se na arte de modelagem, que proporciona uma visão das características essenciais de certo domínio. Existem vários tipos de linguagem para representação de modelos, como a matemática, lógica, gráfica ou física (modelo reduzido).

Em casos de simulação, modela-se a dinâmica do sistema, no qual a complexidade de seus mecanismos de desenvolvimento e os processos de troca de matérias, energia e espécies entre os elementos do sistema, reproduz-se em ambientes computacionais. Portanto, realizar a simulação significa testá-la face às diferentes hipóteses, que se manifestam pela dimensão da conjuntura atual ou pela introdução de cenários alternativos, abstraídos de variáveis exógenas tratadas, por exemplo, por modelos regionais (SOARES FILHO, 2000).

Costa (2010) afirma que investigações recentes em sistemas abertos e não lineares direcionaram o entendimento das cidades como sistemas complexos e evolucionários, compreendidas como sistemas auto-organizados, oportunos para a simulação computacional. Como o AC é caracterizado por fases de transições e podem gerar padrões complexos por meio de regras de transição simples, Liu (2009) relata que esta técnica parece ser ideal para modelar a complexidade dos sistemas urbanos.

As variáveis espaciais inseridas nos AC são atualizadas de forma dinâmica e geram desta forma, resultados não determinísticos. “Em contraste, a generalidade dos modelos SIG encontra dificuldades de simular a evolução do uso do solo sem recorrer a regras locais e ciclos iterativos, usando quase sempre variáveis espaciais estáticas” (TENEDÓRIO *et al.*, 2006). Assim, os autores defendem que os modelos de AC possuem capacidade de modelação superior à do SIG, seja em relação ao crescimento urbano, seja em relação às alterações de usos do solo.

De acordo com Wu e Webster (1998 *apud* Costa, 2010) a evolução do uso do solo em uma cidade auto-organizada, está intimamente ligado à história, em que a evolução passada influencia a futura através de interações locais entre as parcelas de terreno.

O modelo de AC utilizado neste trabalho será o DINAMICA, software desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR – UFMG), escrito em linguagem C++ orientada a objetos (SOARES-FILHO *et al.*, 2002).

Para operar o DINAMICA, necessita-se de um mapa inicial de uso do solo e dois conjuntos de dados correspondentes às variáveis de entrada estáticas e dinâmicas. As variáveis estáticas equivalem a mapas de infra e superestrutura, tipos de densidade de ocupação urbana, relevo, zoneamento urbano e outros. Já as variáveis dinâmicas referem-se a mapas de distância a certos tipos de uso do solo. Também há parâmetros obtidos pelo método de pesos de evidência e por regressão logística que em conjunto com os mapas supracitados são usados para o cálculo das probabilidades de transição das células (ALMEIDA, 2004).

De acordo com Almeida (2004) o DINAMICA é um modelo de AC baseado na vizinha de Moore (ou 8 células) e inclui os seguintes parâmetros:

- a) um arquivo contendo os valores dos pesos positivos de evidência ( $W+$ ) ou os parâmetros ( $\beta_0$ ,  $\beta_i$ ) dos modelos de regressão logística, dependendo do método de estimativa adotado;
- b) as probabilidades globais de transição para cada mudança de uso do solo identificada no período de simulação considerado;
- c) o tamanho e a variância de manchas para cada transição;
- d) a proporção dos algoritmos de transição ou alocação (função *expander* e função *patcher*) também considerando-se cada transição; e,
- e) o número total de iterações.

A última versão do DINAMICA permite o ajuste dos parâmetros por interfaces gráficas (ALMEIDA, 2004, p. 183).

### 3.1.1 Origem, principais características e aplicação urbana do modelo de Autômatos Celulares.

Este item aborda o conceito de autômatos celulares, suas principais características e aplicação para a criação de cenários futuros urbanos. Também é apresentado de forma mais aprofundada os parâmetros para manipulação do software Dinamica EGO.

Wolfram (1983) descreve os AC como idealizações matemáticas de sistemas físicos em que o espaço e o tempo são discretos e as quantidades físicas assumem um conjunto finito de valores discretos. Um AC consiste em uma rede uniforme regular (ou "matriz"), geralmente de extensão infinita, com uma variável discreta em cada célula. O estado de um AC é completamente especificado pelos valores das variáveis em cada célula. O AC evolui em

intervalos de tempo discretos, no qual o valor da variável em uma célula é afetado pelos valores das variáveis das células em sua "vizinhança" no período anterior. A vizinhança de uma célula geralmente é considerada a própria célula e todas as células imediatamente adjacentes. As variáveis em cada célula são atualizadas simultaneamente ("de forma síncrona"), com base nos valores das variáveis em sua vizinhança no período anterior, e de acordo com um conjunto definido de "regras locais".

Segundo Melotti (2009) os AC podem ser aplicados para o estudo de modelagem de sistemas complexos reais, de natureza física, biológica, econômica, etc. Os AC destacam-se, dentre outras ferramentas matemáticas de simulação como as redes neurais e modelos baseados em agentes, devido a sua simplicidade e por fornecer resultados semelhantes aos dos sistemas reais.

Existem vários fenômenos na natureza que são difíceis de serem modelados por equações e podem ser estudados a partir dos conceitos de sistemas complexos. Um sistema complexo, nas palavras de Christofolletti (1999), pode ser definido como sendo “composto por grande quantidade de componentes interagentes, capazes de intercambiar informações com seu entorno condicionante e capazes, também, de adaptar sua estrutura interna como sendo consequências ligadas a tais interações”. Tais sistemas “apresentam diversidade de elementos, encadeamentos, interações, fluxos e retroalimentação compondo uma entidade organizada” (CHRISTOFOLETTI, 1999).

De acordo com o mesmo autor, pesquisas relacionadas a diversos problemas ligados aos sistemas complexos em Física e Biologia vem sendo desenvolvidos nos últimos anos, principalmente, devido a crescente habilidade da informática e dos programas computacionais, e conseqüente aumento da velocidade de processamento e capacidade de manipular grandes quantidades de informação (CHRISTOFOLETTI, 1999).

As bases dos estudos da complexidade, fundamentam-se na concepção que a maior parte da natureza é não linear, agindo como sistemas dinâmicos e caóticos. A complexidade na teoria dos sistemas dinâmicos, significa uma grande diversidade de elementos com muitos graus de liberdade. Esta ciência investiga as regras e princípios comuns que amparam todos os sistemas e não somente os detalhes de uma categoria específica como organização social, ecossistemas, embriões, cérebro, geossistemas, etc. Os referidos sistemas possuem características comuns como serem constituídos por diversos elementos, possuem uma desordem natural intrínseca, as características assíncronas e aleatórias das interações resultam em comportamento caótico dos processos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A grande quantidade de variáveis e a não-linearidade dos sistemas complexos, tornam estes problemas difíceis de serem tratados analiticamente no que concerne à obtenção ou soluções por meio de modelos matemáticos. Assim, esse é o motivo de modelar tais sistemas via computação numérica, pois assim é possível superar as dificuldades analíticas (BAR-YAM, 1997).

Os computadores modernos permitem o processamento de grande quantidade de variáveis como nos estudos sobre clima, organismos vivos, fenômenos populacionais ou mesmo o cérebro humano, possibilitando que, simulações do comportamento de sistemas reais sejam feitas, prevendo assim, diversos acontecimentos (MELOTTI, 2009).

Logo, os AC são capazes de representar as interações entre os indivíduos que compõem determinado sistema, além de apresentar o comportamento coletivo gerado pelos indivíduos de um sistema complexo (MELOTTI, 2009). “As relações entre os elementos podem ser desenvolvidas por meio de regras locais, ou seja, cada informação que um elemento transmite aos seus vizinhos obedece a uma certa lei” (BAR-YAM, 1997).

Os AC são suficientemente simples para permitir uma análise matemática detalhada, mas suficientemente complexos para exibir uma grande variedade de fenômenos complicados. Os AC também são de generalidade suficiente para fornecer modelos simples para uma grande variedade de sistemas físicos, químicos, biológicos e outros (WOLFRAM, 1983).

O’Sullivan (2001) declara que os modelos de AC têm conquistado popularidade nos últimos anos como modelos facilmente construídos de muitos processos espaciais complexos, de forma especial nas ciências naturais, e também recentemente na geografia. O autor afirma que o formalismo estrito dos modelos de AC requer que o espaço seja representado por uma rede discreta, infinita e regular de células, tipicamente uma grade; que as células tenham vizinhos idênticos imediatos ou próximos na rede; que as mesmas só podem existir em um número finito de estados discretos (no caso mais simples um estado binário 0 e 1); com um tempo também discreto, de modo que todas as células mudem o estado simultaneamente em cada avanço do "tempo-passo". As mudanças de estado da célula são regidas por um conjunto de regras que especifica para cada vizinhança de célula possível qual o estado celular resultante no próximo passo. Apesar desta simplicidade formal e facilidade de implementação, os modelos de AC são capazes de exibir comportamentos extremamente complexos.

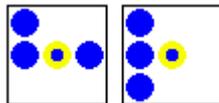
O conceito de AC foi inicialmente apresentado por John von Neumann e Stanislaw Ulam com o nome de "espaços celulares" como uma possível idealização de sistemas biológicos, com o propósito específico de modelar a auto reprodução biológica. Eles foram aplicados e rerepresentados para uma grande variedade de propósitos e designados por uma

variedade de nomes, como: estruturas celulares, estruturas homogêneas e outros (WOLFRAM, 1983).

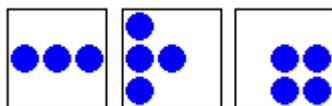
Roy e Snicars (1996) afirmam que uns dos melhores estudos na área, foi realizado por John Conway *et al.* em 1982, que culminou no Jogo da Vida (Game of Life). Este estudo demonstrou que regras muito simples aplicadas repetidamente sobre estados aleatórios iniciais, podem gerar padrões interessantes e recorrentes à medida que o estado do sistema evolui. O Jogo da Vida representa um sistema de vida e morte entre organismos, onde em uma grade de células, algumas estão vivas e outras mortas. Dado um estado inicial aleatório, a cada geração, novas células nascem e algumas morrem. O que determina o estado de uma célula é sua vizinhança que, neste caso, é definida por quatro células adjacentes. Uma célula viva morre se tiver duas ou três células vivas vizinhas, enquanto uma célula morta com três vizinhos vivos renascerá.

Nas regras do Jogo da Vida (figura 07) uma célula pode estar viva ou morta, onde na grade, cada célula possui oito vizinhanças em todas as direções. Na célula viva existe um marcador em seu quadrado, na célula morta o quadrado é deixado vazio. Considera-se o número de vizinhos vivos para cada célula como demonstrado abaixo (CALLAHAN, ANO):

- Uma célula morta com exatamente três vizinhos vivos torna-se uma célula viva (nascimento).



- Uma célula viva com dois ou três vizinhos vivos permanece viva (sobrevivência).



- Em todos os outros casos, uma célula morre ou permanece morta (superlotação ou solidão).

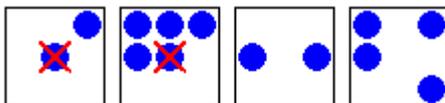


Figura 07: Regras do Jogo da Vida. Fonte: Callahan, ano.

Para aplicar um passo das regras, conta-se o número de vizinhos vivos para cada célula. O que acontece depois depende desse número.

Thumé (2001) apresenta algumas referências históricas sobre os AC como por exemplo:

- Konrad Zuse (1969) – sugere que o universo seria um autômato celular gigante regido por regras;

- John Conway (1970) – Game of Life;
- Stephen Wolfram (1983) – apresenta um massivo estudo sobre o comportamento de autômatos celulares e suas classificações;
- Stephen Wolfram (2002) em: A New Kind of Science, mostra um estudo empírico de sistemas gerais simulados em autômatos celulares.

A teoria dos AC tem sua origem nos trabalhos de notáveis lógicos, matemáticos, físicos, cientistas da computação, como Alan Turing, John von Neumann, Stanislaw Ulam, John Conway, Stephen Wolfram e Konrad Zuse. Autômatos celulares são representações matemáticas de sistemas complexos (ILabs, 2009).

Um diferencial nos AC é sua natureza discreta, tanto no espaço quanto no tempo e em sua maioria, os AC, possuem as seguintes características:

- Uma rede discreta de células (ou átomos): a rede pode ser 1, 2, 3 ou n-dimensional;
- Homogeneidade: cada célula é idêntica a qualquer outra célula na rede;
- Estados discretos: cada célula pode estar em um dos poucos estados discretos possíveis;
- Interações locais: cada célula interage apenas com um número finito de células, sua vizinhança;
- Dinâmica determinística: em cada instante, cada célula atualiza seu estado com uma função de transição. O estado de uma célula por vez  $t$  depende apenas dos estados da vizinhança da célula no tempo  $t-1$  (ILabs, 2009).

Algumas dessas principais características de um AC são explicitadas a seguir.

### 3.1.2 Principais características de um Autômato Celular

#### Tipos de Células

Pascoal (2005) ao estudar os AC, aborda que a célula é um de seus elementos básicos responsável por armazenar estados celulares que podem ser em forma de números binários. Porém, também podem ter estados diferenciados em casos de simulação com maior grau de complexidade. A forma geométrica dessas células (figura 08) pode apresentar diversas configurações como a quadrangular, triangular e hexagonal. Destas, a quadrangular possui maior facilidade e simplicidade para manipulação.

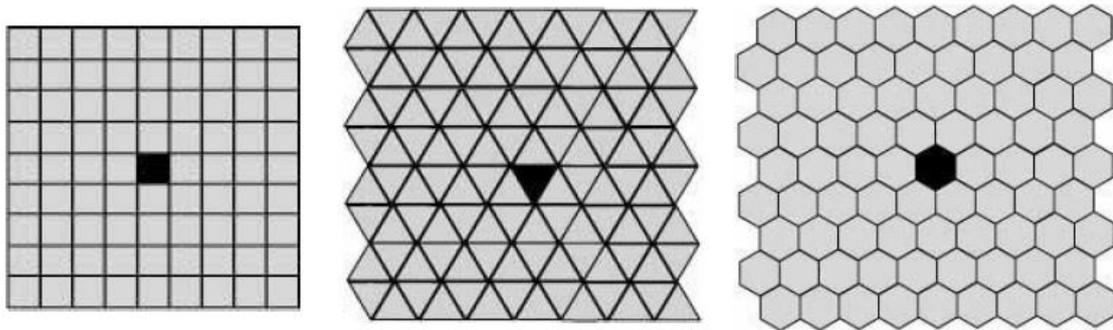


Figura 08: Representações de células em autômatos celulares. Fonte: Pascoal, 2005.

### Dimensões de uma grade celular

Os AC podem apresentar uma, duas ou três dimensões (figura 09), dispostos em uma rede espacial que forma a grade celular. A grade unidimensional é considerada a de maior simplicidade com todas as células posicionadas uma ao lado das outras como uma fita. Contudo, as grades bidimensionais são as mais usuais (PASCOAL, 2005).

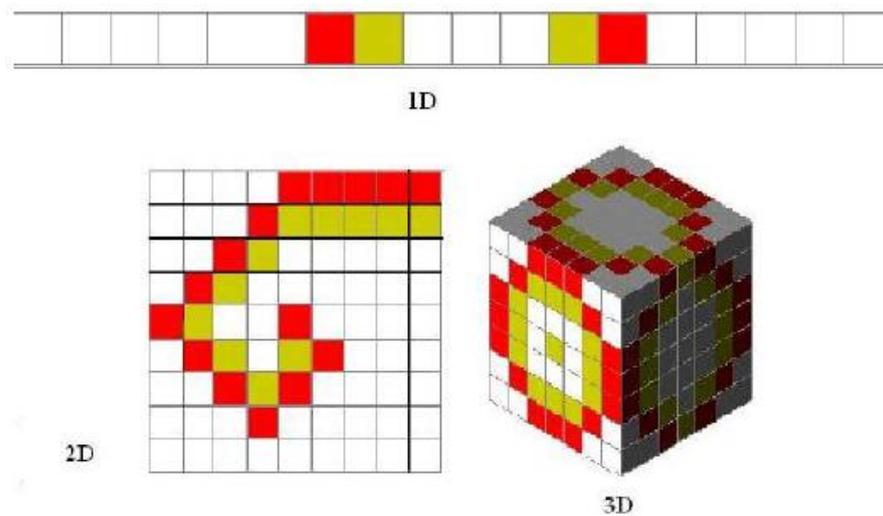


Figura 09: Dimensões de um autômato celular. Fonte: LIMA, 2007.

### Vizinhanças e Regras de transição

Em relação às regras e vizinhanças, para que um AC evolua, é preciso definir quais são as células vizinhas e qual a regra de transição que fará parte da atualização de todas as células a cada instante. A regra e as células vizinhas têm como função indicar o estado das células no próximo instante. Na figura 10, as células cinzas são as células vizinhas e a célula branca é que será atualizada (MELOTTI, 2009).

A Vizinhança de von Neumann (a) considera apenas quatro células como vizinhas da célula que será atualizada. A Vizinhança de Moore (b) considera oito células vizinhas da célula que será atualizada. Tanto a figura “a” quanto a “b” o raio de vizinhança é um, pois somente uma camada (linha e coluna) seguinte é considerada. Já a Vizinhança de Moore Estendida (c) considera um raio de vizinhança igual a dois, ou seja, duas camadas (linhas e colunas) são consideradas, assim a vizinhança da célula que será atualizada será igual a vinte cinco células. Também é possível aumentar a faixa de vizinhos ou escolher vizinhos aleatórios (figura 11), considerando assim, outros tipos de vizinhança (MELOTTI, 2009).

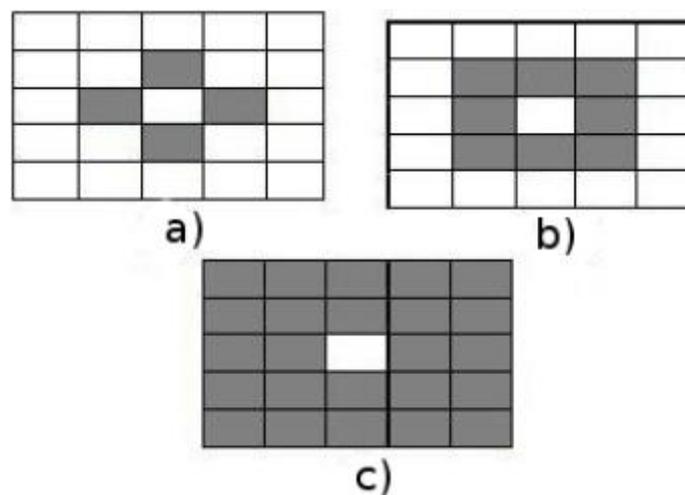


Figura 10: Vizinhança: a) Vizinhança de von Neumann, b) Vizinhança de Moore e c) Vizinhança de Moore Estendida. Fonte: MELOTTI, 2009

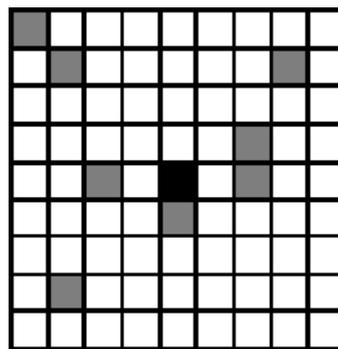


Figura 11: Vizinhança aleatória. Fonte: Pascoal, 2005.

Lima (2007) explica sobre o estado e as regras de transição de uma célula. Segundo o autor, existe um conjunto finito de estados que uma célula pode assumir, referente a qualquer tipo de dados ou informação. Para iniciar a simulação é necessário um valor inicial do problema e após alguns passos, o resultado da simulação será o estado de cada célula.

A regra de transição muda uma determinada configuração para uma nova configuração, podendo esta regra ser determinística ou probabilística. Uma regra de transição determinística é uma função na qual existe um único estado possível para a célula considerada, dada uma configuração e uma vizinhança determinada. A regra de transição probabilística considera que existe um conjunto de possíveis estados para a célula, escolhidos a partir de variáveis aleatórias, portanto, é uma função na qual as regras são definidas com a entrada de probabilidades de ocorrência (LIMA, 2007).

A regra de transição pode gerar uma diversidade de comportamentos elucidados pela variedade de modelos encontrados na literatura que fazem uso dos AC. Assim, a regra de transição determina a dinâmica de evolução de cada AC de acordo com a dependência da vizinhança (ALVES, 2015). Esta dependência pode ser:

- Não totalista: a regra de transição depende da configuração da célula analisada e da vizinhança da mesma;
- Totalista: a regra de transição depende apenas do número total de células vivas na vizinhança de célula (ALVES, 2015, p. 43).

### Condições de fronteira

Outro aspecto dos AC refere-se às condições de fronteira, ou seja, os limites de vizinhança para sua representação. Normalmente, de acordo com a definição de AC, é necessário que a rede seja infinita em todas as dimensões. Contudo, é impossível simular uma rede verdadeiramente infinita em um computador (a não ser que a região ativa permaneça sempre finita). Portanto, deve-se adotar condições de fronteira, que podem ser: periódico, reflexivo e fixo (WEIMAR & BRAUNSCHWEIG, 2000).

Os limites periódicos são obtidos estendendo-se periodicamente a rede, como na figura 12, que representa a versão unidimensional. As dez células no centro representam a rede que está sendo atualizada, as duas células na extremidade são células limite. Assim, a primeira célula terá como um de seus vizinhos a última célula, e esta, terá como um de seus vizinhos a primeira célula (WEIMAR & BRAUNSCHWEIG, 2000).

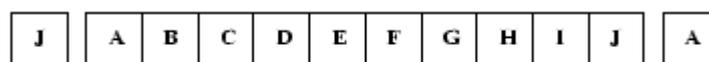


Figura 12: Limite periódico em uma dimensão. Fonte: WEIMAR & BRAUNSCHWEIG, 2000

Segundo Weimar & Braunschweig (2000) necessita-se armazenar apenas a matriz original e um limite de largura  $r$ , onde  $r$  é o raio de vizinhança de um AC. O limite periódico é frequentemente utilizado, pois aproxima-se da simulação de uma rede infinita.

O limite reflexivo é obtido refletindo a rede nas bordas como exposto na figura 13 (WEIMAR & BRAUNSCHEWIG, 2000).

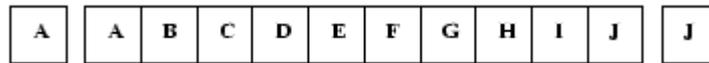


Figura 13: Limite reflexivo em uma dimensão. Fonte: (WEIMAR & BRAUNSCHEWIG, 2000).

Já o limite fixo (figura 14) é preciso simplesmente adotar um valor fixo para as células na borda (WEIMAR & BRAUNSCHEWIG, 2000).

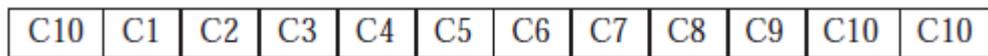


Figura 14: Limite fixo. Fonte: (LEITE ET AL., 2007 APUD MELOTTI, 2009).

### Classes de comportamento

Sobre as classes celulares, Wolfram (1984) relata algumas características qualitativas da evolução do AC de uma dimensão e fornece evidências empíricas para a existência de quatro classes básicas de comportamento em células:

Classe I: a evolução leva a um estado homogêneo, no qual todas as células possuem o mesmo valor;

Classe II: a evolução leva a um conjunto separado e simples de estruturas estáveis ou periódicas;

Classe III: a evolução leva a um padrão caótico;

Classe IV: a evolução leva a estruturas localizadas complexas (o modelo cresce ou pode contrair com o tempo), às vezes de longa duração.

Em um AC de uma dimensão (dois vizinhos e a própria célula) a quantidade de combinações considerando 2 estados, por exemplo 0 ou 1, é de  $2^3 = 8$  combinações. Com estas 8 possíveis combinações pode-se formar um total de  $2^8 = 256$  regras locais, ou seja, para cada combinação a célula que será atualizada pode receber 0 ou 1 (MELOTTI, 2009).

Na Vizinhança de Moore (oito vizinhos e a própria célula), considerando 2 estados, tem-se:  $2^9 = 512$  combinações, com esse total, pode-se obter  $2^{512}$  regras locais, e forma-se estruturas complexas (classe IV) (THUMÉ, 2011).

### Representação matemática de um Autômato Celular

Considere  $S_{xij}^t$  o estado de uma célula  $xij$  na localização  $i, j$  no tempo  $t$ .  $S_{xij}^t$  pertence a um número finito de estados de células em um espaço celular. Considere  $S_{xij}^{t+1}$  o estado de uma célula no tempo  $t+1$ . Então,

$$S_{xij}^{t+1} = f \left( S_{xij}^t, S_{\Omega_{xij}}^t \right)$$

onde  $\Omega_{xij}$  representa um conjunto de células na vizinhança da célula  $xij$ ,  $S_{\Omega_{xij}}^t$  é o conjunto de estados de uma célula  $\Omega_{xij}$  no tempo  $t$ , e  $f$  é uma função que representa um conjunto de regras de transição. Se a própria célula for considerada como membro de sua vizinhança, então a Equação 1 pode ser reescrita como:

$$S_{xij}^{t+1} = f \left( S_{\Omega_{xij}}^t \right)$$

A Equação 1.1 pode ser expressa de forma verbal que elucida um princípio genérico do desenvolvimento de um AC, a saber:

IF (Se) – algo acontecer na vizinhança de uma célula,

THEN (Então) - algo mais acontecerá com a célula no próximo intervalo de tempo.

Geralmente, um modelo de AC consiste em um conjunto de condições IF-THEN implicam regras de transição específicas (LIU, 2009).

#### 3.1.3 Modelos de Autômato Celular irregular

Apesar da homogeneidade, ou seja, da grade regular de células ser uma das principais características de um AC, existem estudiosos que exploram os modelos irregulares, como O'Sullivan (2001) que apresenta uma abordagem interessante para modelos geográficos, a partir da investigação de relacionamentos entre estrutura espacial e dinâmica de processos espaciais através dos grafos. Segundo o autor, ao permitir que as vizinhanças das células não sejam estacionárias, ou seja, que exista uma variação ao longo da rede, o resultado é uma grade irregular, isto é, um grafo das relações de adjacência. Um grafo consiste em um conjunto de vértices e um conjunto de arestas, em que cada aresta consiste em um par de vértices não ordenados (O'SULLIVAN, 2001). Exemplo dessa modelagem segue na figura 15.

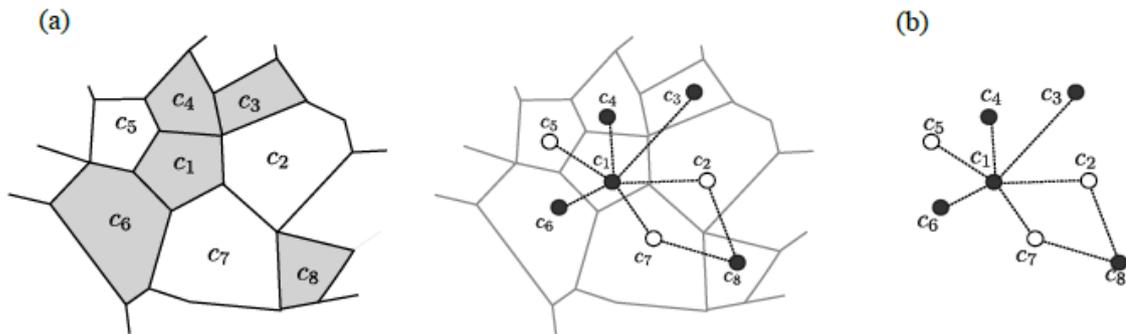


Figura 15: (a) exemplo de tesselação irregular. (b) rede complexa: grafo não orientado modelando o exemplo de tesselação dado em (a). Fonte: BAETENS & DE BAETS (2011 APUD JUSTO, 2013).

Liu (2009) apresenta outros autores além de O’Sullivan (2001) que sugeriram o uso de AC irregulares para modelagem urbana, como: Yeh e Li (2006); White e Engelen (2000); Couclelis (1985) e outros. Contudo, o autor alerta que devido à dificuldade na definição de uma vizinhança irregular e a necessidade de intensa operação computacional, somente alguns trabalhos como de Batty e Xie (1994) implementou unidades espaciais irregulares em sua prática de modelagem urbana ao empregar unidades cadastrais para modelar a mudança de uso da terra em uma área suburbana de Buffalo, Estados Unidos (LIU, 2009).

O autor também cita Shi e Pang (2000) que empregou um modelo de Voronoi baseado em AC para simular interações dinâmicas entre objetos espaciais. O modelo espacial Voronoi foi projetado para representar objetos espaciais como objetos vetoriais, capaz de simular as interações entre pontos, linhas e polígonos com formas e tamanhos irregulares em um sistema dinâmico (LIU, 2009).

O’Sullivan (2001) menciona outros tipos de desvios no formalismo dos AC como por exemplo, as células podem não ser uniformes, podem ser invariantes no estado, as regras podem ser estocásticas em vez de determinísticas, a vizinhança pode se estender além das células imediatamente adjacentes, e diferentes células podem estar sujeitas a intervalos de tempo de duração diferentes.

Conclelis (1997) destaca que a integração de dados reais com modelos de AC no contexto de um SIG é uma das justificativas para a atual retoma de interesse em AC como modelos de processos geográficos reais. E aliado a este fato, surgiu a possibilidade técnica de suavizar qualquer ou todas as premissas de AC padrão que se apresentam inadequadas para a experiência de cidades e regiões. Como demonstrado na figura 16 abaixo, o espaço não precisa ser homogêneo em suas propriedades ou em sua estrutura; a vizinhança não precisa ser uniforme em todo o espaço, as funções de transição não precisam ser igualmente aplicáveis em todos os

pontos; o sistema não precisa ser fechado para influências externas, um intervalo de tempo variável pode ser ajustável para algum cronograma externo, como por exemplo, as variações sazonais na taxa de crescimento da vegetação e outros.

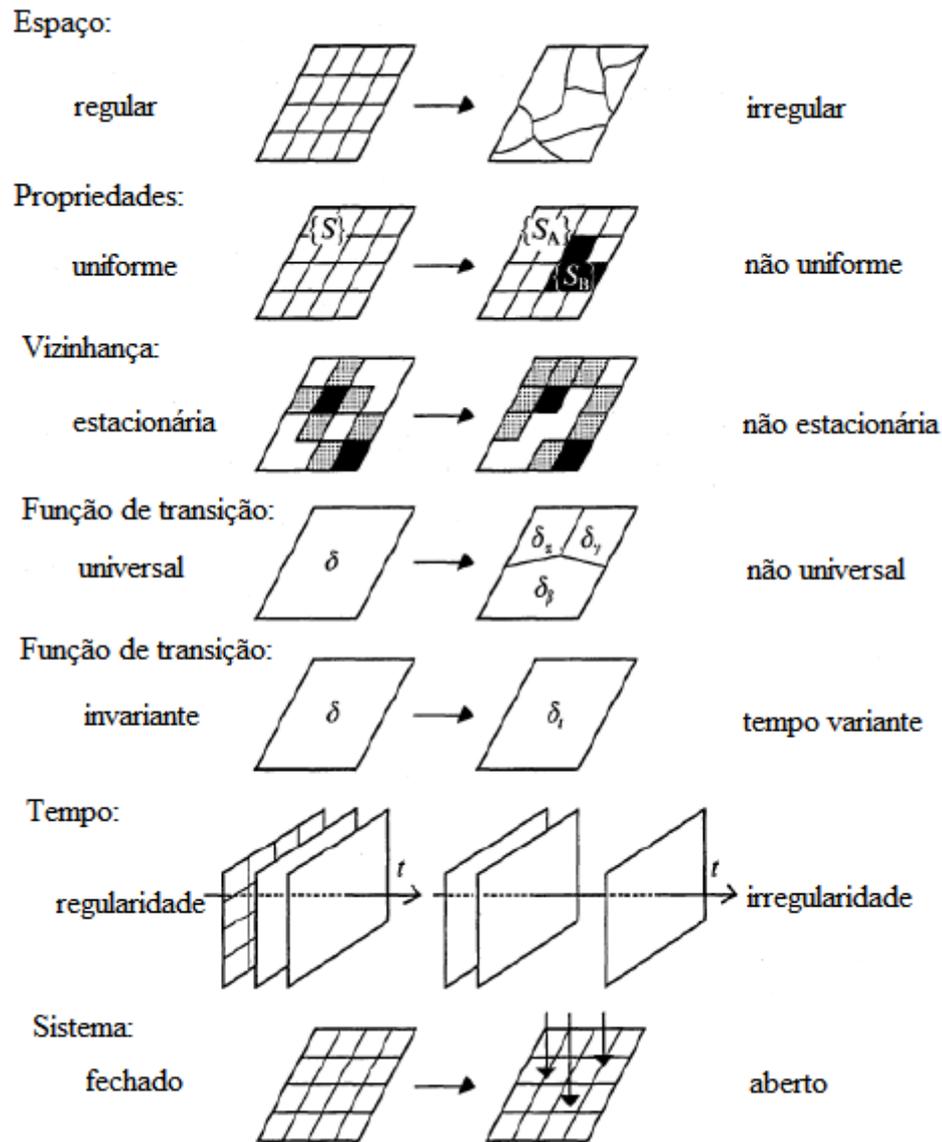


Figura 16: Generalizações comuns de Autômatos Celulares. Fonte: Conclelis, 1997.

### 3.1.4 Autômato Celular para modelagem urbana

Segundo O'Sullivan (2001), nos últimos anos, modelos de AC tem sido amplamente utilizados na tentativa de compreender uma variedade de fenômenos geográficos como em Batty (1998); Chopard, Luthi e Queloz (1996); Clarke, Hoppen e Gaydos (1997); Couclelis (1997); White e Engelen (1997); Xie (1996) e outros.

Essa notoriedade justifica-se, em parte, pela relativa simplicidade do conceito de AC e à sua pronta implementação computacional. Também deve-se a clara ligação entre esses modelos e trabalhos anteriores, como a Geografia Celular de Tobler (1979) e os Modelos de Difusão de Hagerstrands (1968). Geograficamente, os modelos de AC também são interessantes porque são inerentemente espaciais, incorporando o conceito intrinsecamente espacial da vizinhança. Outro motivo é a complexidade dos resultados que os modelos de AC podem produzir, apesar de sua aparente simplicidade (O'Sullivan, 2001).

De acordo com Costa (2010), a aplicação de AC em modelos urbanos é proveniente da Geografia quantitativa teórica com o trabalho precursor de Waldo Tobler (1970). Tobler propõe um modelo de espaço celular que além do objetivo instrutivo, possibilita simular o crescimento populacional, com ênfase na distribuição geográfica desse crescimento para a cidade de Detroit (EUA), alegando a primeira lei da geografia: “Tudo está relacionado com tudo, mas coisas próximas estão mais relacionadas do que coisas distantes” (TOBLER, 1970, p. 236).

Liu (2009) em seu livro: *“Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata”*, desenvolveu um modelo de simulação de desenvolvimento urbano baseado nos princípios dos AC, aplicado para simular os processos espaciais e temporais do desenvolvimento urbano da área metropolitana de Sydney, Austrália de 1976 a 2031. Para o autor, em muitos aspectos, o desenvolvimento urbano assemelha-se ao comportamento de um AC. O espaço de uma área urbana pode ser considerado como uma combinação de um número de células, cada célula tendo um conjunto finito de possíveis estados que representam a extensão do seu desenvolvimento urbano com o estado de cada célula evoluindo em intervalos discretos de acordo com regras de transição local (LIU, 2009).

O autor afirma que perante a justificativa da mudança ambiental global, o estudo do desenvolvimento urbano tem atraído atenção e para atender a este fim, vários modelos urbanos foram construídos, dentre eles, os modelos baseados nos princípios dos AC que se desenvolvem mais rapidamente (LIU, 2009).

Segundo Liu (2009), na geografia, os termos modelo e modelagem receberam amplas interpretações na década de 1960, como empregado por Chorley e Haggett em 1967, no qual um modelo poderia ser uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma ideia estruturada, um papel, uma relação, uma equação ou uma série de equações, uma síntese de dados, uma palavra, mapa, gráfico ou algum tipo de computador ou hardware de laboratório organizado para fins experimentais. Apesar de ser aceito que modelos são diferentes de teorias, estes são importantes na medida que servem como uma estrutura para que as teorias sejam expressas em uma linguagem precisa, além de ser possível examinar teorias ou hipóteses neles incorporadas.

O uso de modelos possibilita que os complexos sistemas da realidade possam ser simplificados, e com isso, possam ser entendidos e gerenciados. Pesquisadores podem fazer uso de modelos para representar a estrutura ou função do sistema real e para entender, explicar ou prever o comportamento do sistema. Outra possibilidade é utilizá-los para criar um ambiente artificial para experimentação. Por estes motivos, os modelos têm sido amplamente aplicados no planejamento urbano, alocação de recursos e previsão, bem como na assistência às práticas de tomada de decisão (LIU, 2009).

Liu (2009) cita diversos modelos na pesquisa urbana a começar por von Thünen em 1826 e o modelo de Localização Agrícola; Localização Industrial de Weber em 1909, Walter Christaller (1933) e a Teoria do Lugar Central; o modelo de Zona Concêntrica de Burgess (1925), o modelo de Setor de Hoyt (1939) e os modelos de Núcleos Múltiplos de Harris e Ullmans (1945).

Entretanto, Liu (2009) explica que tais modelos são estáticos, com pouca ou nenhuma consideração pela natureza dinâmica do desenvolvimento urbano, além de não serem operacionais. Com o desenvolvimento da computação digital e a possibilidade de manipular modelos matemáticos complexos, diversos tipos de estilos, técnicas e aplicações de modelos urbanos foram desenvolvidos. No entanto, estes modelos receberam críticas de diversos pesquisadores, devido a sua ênfase nas técnicas de modelagem ao invés de suas representações teóricas, o que resultou, no final da década de 1970, em uma mudança de interesse sobre a pesquisa urbana, do uso de modelos matemáticos para análises qualitativas. Esta mudança perdurou até o final da década de 1980, quando o estudo sobre sistemas complexos e abertos forneceu formas alternativas de compreender as cidades como sistemas evolutivos e complexos (ALLEN, 1997). Também, o desenvolvimento e a integração dos SIG com modelagem urbana facilitaram a realização da mesma com novas técnicas e ricas fontes de dados (LIU, 2009).

Baseado na teoria dos sistemas abertos, o curso do desenvolvimento urbano pode ser estudado sob novas perspectivas. Uma cidade em constante troca de bens e energia com outras cidades e seu interior, pode ser considerada como um sistema auto-organizado aberto e complexo, longe do equilíbrio. A estrutura deste sistema emerge de ações locais em que a tomada de decisão local não coordenada pode dar origem a padrões globais coordenados. Portanto, o desenvolvimento urbano exhibe aspectos fundamentais de um sistema auto-organizado, sendo um processo espacialmente dinâmico (LIU, 2009).

Um exemplo de modelagem urbana apoiada pelos AC encontra-se em Liu (2009). Pressupõe-se uma cidade construída em um espaço celular numa grade regular bidimensional de células  $n \times n$  ou parcelas de terra, existindo dois estados possíveis para as mesmas: urbano

ou não urbano, e podem transitar de um estado para o outro a partir de regras de transição, acarretando assim, o processo de desenvolvimento na localidade. A vizinhança representa uma região que afeta o desenvolvimento de determinada parcela de terra. As regras de transição geralmente são expressas como um conjunto de comandos "*IF-THEN*", que são intrinsecamente simples, porém, também podem gerar padrões complexos de desenvolvimento.

Em toda região, assume-se condições sociais, econômicas e ambientais uniformes. As parcelas urbanizadas, ou seja, representadas pelo estado urbano são exibidas em preto, o restante caracteriza o estado não urbano, com condições socioeconômicas e ambientais idênticas (figura 17,  $t = 0$ ). Portanto, o único fator que impulsiona o desenvolvimento de parcelas de terra é a vizinhança de uma parcela em questão, o que implica o crescimento de novas parcelas urbanas que possam ser influenciadas pelas parcelas urbanizadas. Utilizando a vizinhança Moore, a transição do estado das parcelas é regida pela seguinte regra (LIU, 2009).

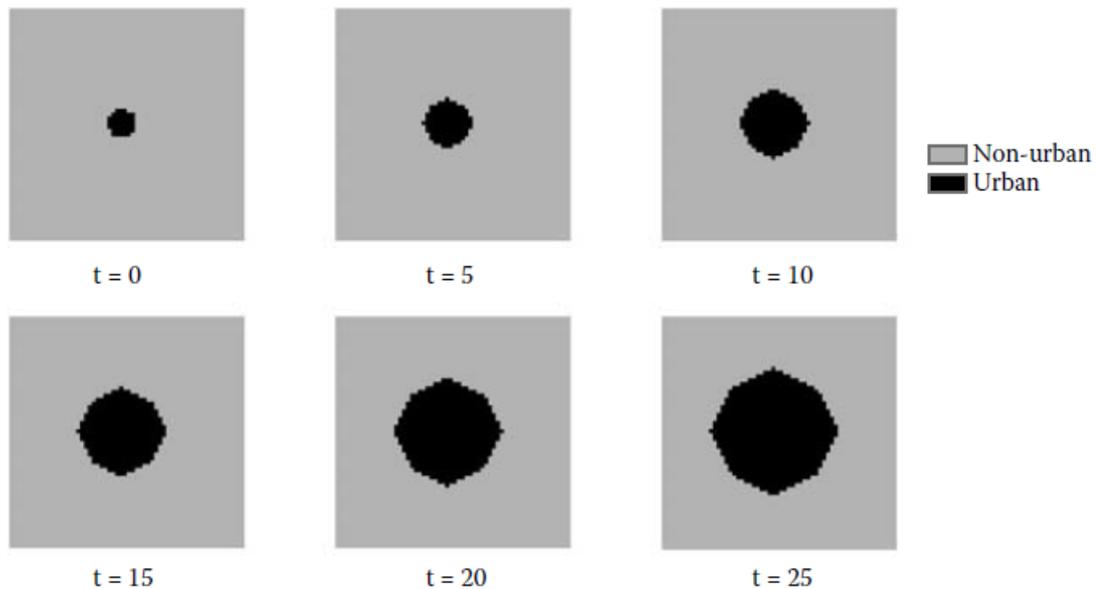


Figura 17: Exemplo de expansão urbana gerada por autômatos celulares em uma área simples. (As células pretas são urbanas e as cinzentas não-urbanas,  $t$  é o intervalo de tempo). Fonte: (LIU, 2009).

#### 1ª Regra:

Se (*IF*) houver três ou mais parcelas urbanas na vizinhança de uma parcela de terra não urbana Então (*THEN*), a parcela não urbana transitará para um estado urbano.

Em uma situação real, as condições geográficas dentro de uma área nunca podem ser uniformes, como as formas na paisagem. Por exemplo, com o objetivo de conter gastos em obras municipais, como esgoto e abastecimento de água, o desenvolvimento urbano pode limitar-se a áreas com relevo inferior a 300 m (figura 18). Desse modo, uma nova regra precisa ser implementada no modelo para refletir a restrição do terreno, que pode ser apresentada como outro comando *IF-THEN*.

2ª Regra: Se o relevo da paisagem for superior a 300 m  
Então, a parcela da terra permanecerá como não-urbano.

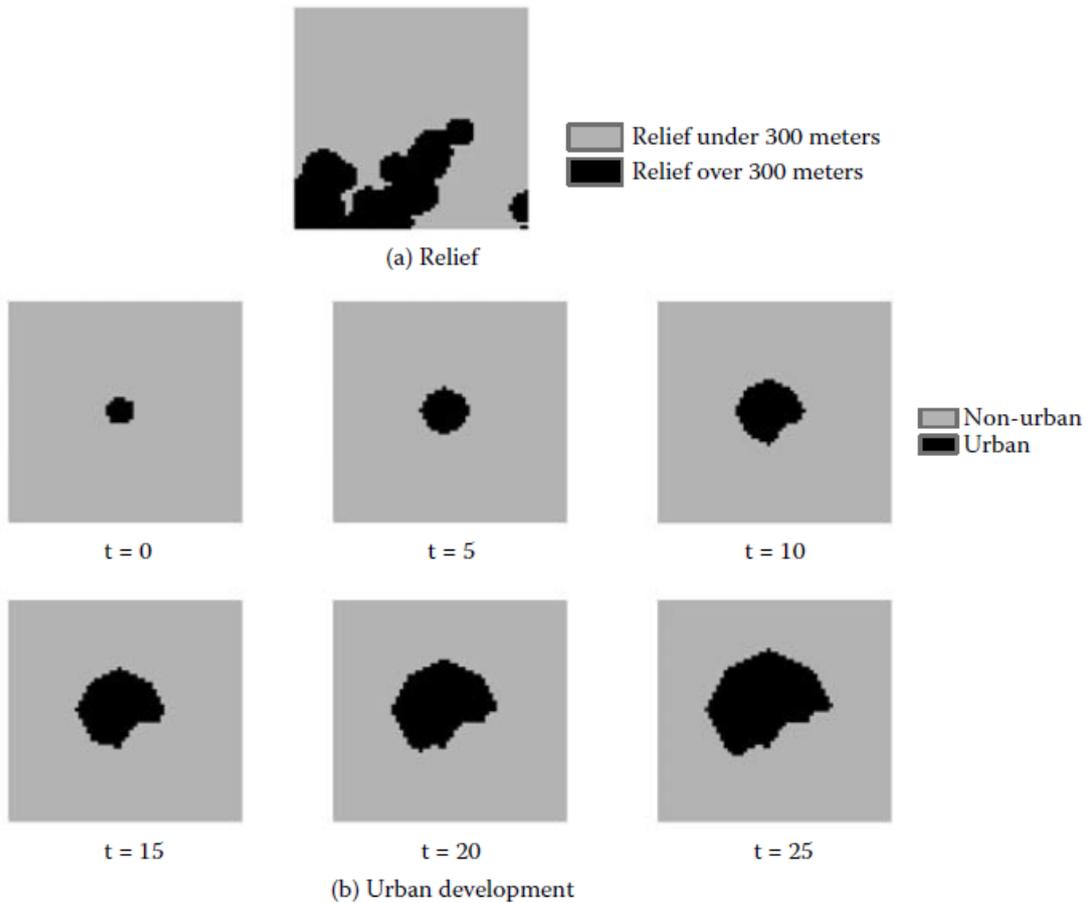


Figura 18: Simulação da expansão urbana com restrição do terreno. a) relevo (preto: mais de 300m; cinzento: menos de 300m). b) Desenvolvimento urbano (preto: parcelas urbanas; cinzento: parcelas não urbanas; t: período temporal). Fonte: (LIU, 2009).

Outro exemplo poderia ser uma variação na rede de transporte (figura 19). Caso exista uma estrada principal que atravessa a cidade, o desenvolvimento pode ser atraído para áreas ao longo da estrada. Logo, acrescenta-se outra regra de transição para representar a implicação do transporte para o desenvolvimento urbano.

3ª Regra:

Se houver uma ou duas parcelas de terra urbanas na vizinhança de uma parcela não urbana, e existe uma estrada que atravessa essa parcela

Então, a parcela não urbana transitará para um estado urbano.

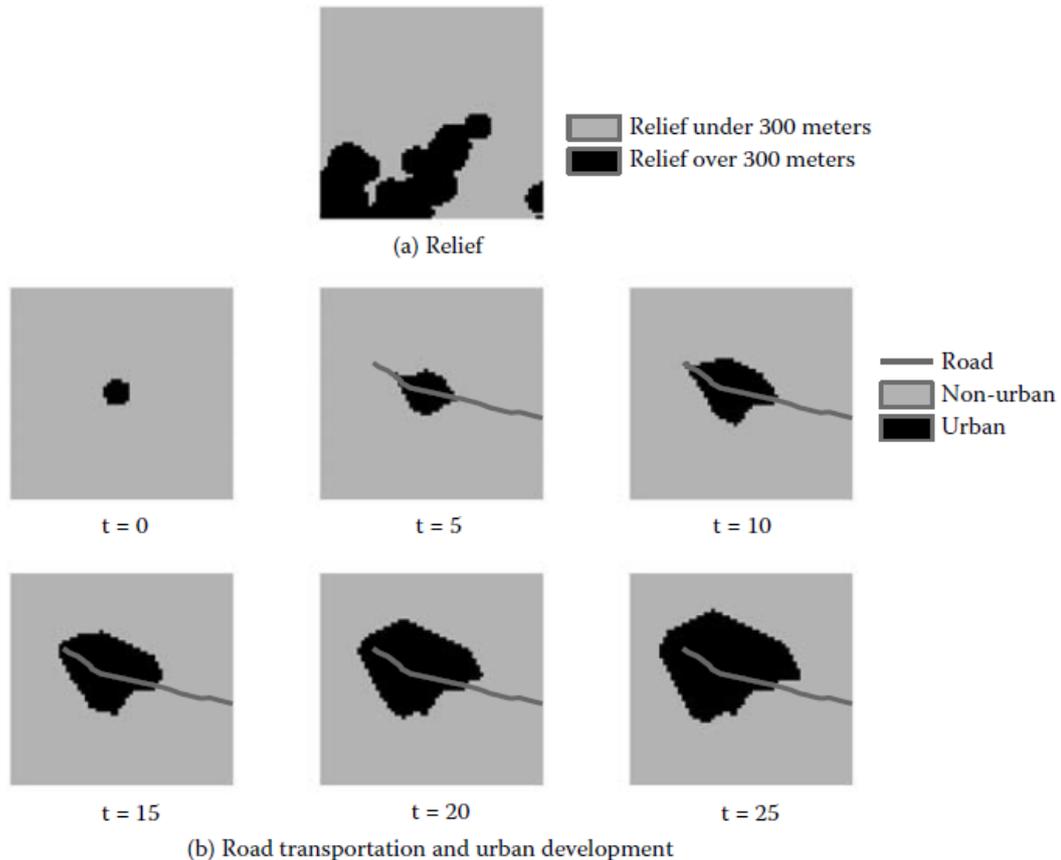


Figura 19: Simulação da expansão urbana com influência da rede viária. a) relevo (preto: mais de 300m; cinzento: menos de 300m). b) Rede de transporte (linha cinzenta); Desenvolvimento urbano (preto: parcelas urbanas; cinzento: parcelas não urbanas; t: período temporal). Fonte: (LIU, 2009).

Com esta estrutura de modelagem para o desenvolvimento urbano, outras regras de transição podem ser implementadas ao modelo para representar os vários apoios ou restrições de âmbito social, econômico ou ambiental. Apesar da simplicidade do modelo, este fornece uma percepção de como regras de transição definidas localmente podem ser implementadas em um autômato celular urbano e como a partir de regras simples pode-se simular o comportamento complexo de um sistema urbano (LIU, 2009).

### 3.1.5 Outros tipos de modelos

Segundo Pedrosa e Câmara (2004), variáveis, relacionamentos e processos são os 03 elementos mínimos que constituem um modelo e de acordo com o objetivo do mesmo, pode-se destacar um ou outro destes elementos. Desse modo, os modelos podem ser agrupados em empíricos e de sistemas. Lambin (1994 *apud* Pedrosa e Câmara, 2004) explica que os modelos empíricos evidenciam os relacionamentos entre as variáveis do modelo, apoiado na hipótese de que as relações observadas outrora continuarão no futuro. Já os modelos de sistemas correspondem a descrições matemáticas de processos complexos que interagem entre si, e ressaltam as interações entre todos os componentes de um sistema.

Os modelos empíricos correspondem a modelos em: cadeias, logísticos e de regressão. Modelos de sistemas incluem: modelos de simulação e dinâmico (figura 20).

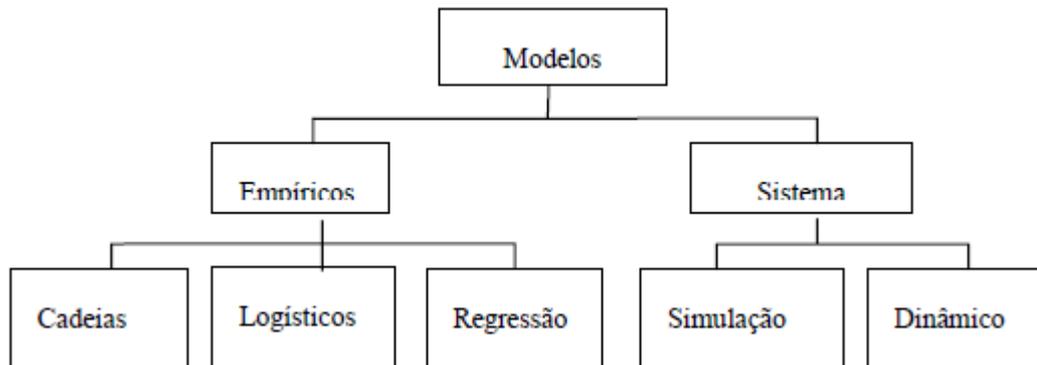


Figura 20: Tipos de modelo. Fonte: PEDROSA & CÂMARA (2004).

### Modelos empíricos

Modelos matemáticos simples e um número reduzido de variáveis são características dos modelos empíricos que embora sejam eficazes para a realização de predições, apresentam determinadas limitações como retratar a evolução espacial e apontar os aspectos causais do sistema. No que concerne aos processos, modelos empíricos possuem três componentes principais: uma configuração inicial, uma função de mudança e uma configuração de saída. A configuração inicial pode ser composta por séries temporais, ou seja, dados históricos do fenômeno em estudo. Isto posto, o processo pode ser classificado como determinístico se equações diferenciais que englobam pelo menos um termo derivado no tempo, forem utilizadas para representar o modelo. Ou pode ser classificado como estocástico-probabilístico, quando variáveis aleatórias são utilizadas para explicar um sistema (PEDROSA & CÂMARA, 2004). Três modelos empíricos são apresentados a seguir, a saber: cadeias de markov, modelos logísticos de difusão e modelos de regressão.

### Cadeias de Markov

Cadeias de Markov são modelos matemáticos para descrever processos estocásticos e podem ser representados por:

$$\Pi(t+1) = P^n \cdot \Pi(t)$$

onde  $\Pi(t)$  é o estado do sistema no tempo  $t$ ,  $\Pi(t+1)$  é o estado do sistema após o intervalo  $t+1$  e  $P^n$  são os estados suscetíveis de acontecer, que são representados em matrizes de

possibilidades de transição. Essas matrizes de transição representam a possibilidade de um determinado estado  $i$  permanecer o mesmo ou mudar para o estado  $j$  durante o intervalo de tempo  $t \rightarrow t+1$ . Geralmente, as probabilidades de transição são resultantes de amostras concernentes a um certo intervalo de tempo. O estado futuro do sistema, em uma Cadeia de Markov de 1ª ordem, depende apenas do seu estado presente e das possibilidades de transição, sendo independente da trajetória que o levou àquele estado (estados em um tempo  $t-1$ ) (PEDROSA & CÂMARA, 2004).

As Cadeias de Markov são caracterizadas como um processo estacionário, pois as probabilidades de transição não mudam com o tempo. Também apresentam como principais vantagens a simplicidade operacional e matemática, a facilidade de aplicação a dados provenientes de sensoriamento remoto e implementação em SIG, e a não necessidade de numerosa quantidade de dados antigos para prever o futuro. Por outro lado, existem limitações como o fato do modelo não explicar o fenômeno (Porque), ser restrito na resposta espacial (Onde) e não suportar de imediato a inserção de variáveis externas, a exemplo de variáveis socioeconômicas ou outras, ainda que esta restrição pode ser solucionada. Apesar das limitações apresentadas, o modelo pode fazer previsões (Quando) desde que os processos sejam estacionários (PEDROSA & CÂMARA, 2004).

### Modelos Logísticos de Difusão

Modelos logísticos consideram as interações temporais entre as variáveis do sistema e através da matemática descrevem fenômenos que inicialmente, as variáveis apresentam variações em um ritmo lento que posteriormente intensifica-se, voltando a reduzir-se até atingir o nível de saturação. Este modelo pode ser expresso por:

$$dP/dt = r P [ (U - P) / U ]$$

onde  $P$  é a variável de um fenômeno de crescimento ao longo do tempo  $t$ , como por exemplo, o aumento da população;  $r$  é a taxa de crescimento e  $U$  uma função de crescimento (Lambin 1994 *apud* Pedrosa e Câmara, 2004). Os modelos de difusão destacam-se dentre os modelos baseados em funções logísticas, que enfatizam a velocidade do processo e permitem a inserção de variáveis relacionadas às causas do fenômeno (PEDROSA & CÂMARA, 2004). A maior contribuição dos modelos de difusão associa-se a previsão do comportamento futuro do fenômeno, contudo também não explicam as causas do mesmo, mas permitem a agregação de variáveis ecológicas e socioeconômicas. Tal modelo também não incorpora a dimensão

espacial, entretanto, sua inclusão pode ocorrer através da integração com um SIG (LAMBIN, 1994 *apud* PEDROSA & CÂMARA, 2004).

### Modelos de Regressão

Os modelos de regressão visam estipular relações estatísticas entre um fenômeno em análise e as variáveis independentes que exercem influência sobre o mesmo, que também são conhecidas como forças dirigidas. Logo, variáveis exógenas como as socioeconômicas podem ser incluídas neste modelo, o que colabora para a compreensão do fenômeno estudado, todavia, não é o suficiente para explicá-lo, pois apenas o relacionamento estatístico entre duas variáveis não determina causalidade entre as mesmas. Por meio de um modelo de regressão, por exemplo, pode-se apontar que o crescimento populacional tem ligação com o crescimento do desmatamento de uma certa região, todavia, os mecanismos que relacionam estas variáveis não são explicados (Lambin, 1994 *apud* Pedrosa e Câmara, 2001). Os mesmos autores também abordam sobre algumas limitações do modelo como ser aplicável apenas a processos estacionários. Outro fator, é a distribuição espacial do fenômeno, que apesar de ser considerada, não é desenvolvida através do modelo, se o modelo for combinado com SIG, esta restrição pode ser superada (LAMBIN, 1994 *apud* PEDROSA & CÂMARA, 2004).

### Modelos de Sistemas

Modelos de sistemas buscam representar as interações entre todos os componentes de um sistema e são eficientes em considerar a dimensão espacial, sustentando o uso combinado de múltiplas escalas e utilizando-se de concepções como as relações de vizinhança, a exemplo de duas classes de modelos de sistema como os modelos de simulação de ecossistemas e os modelos de simulação dinâmica espacial (PEDROSA & CÂMARA, 2004). Tais classes são expostas a seguir:

### Modelos de Simulação de Ecossistemas

Projetados para imitar o comportamento de um sistema, tais modelos são firmados na composição de ecossistemas complexos em um número de equações diferenciais. São apropriados para representar processos não estacionários, porém, no que concerne a dimensão espacial são restritos, devido tratarem o espaço como uma entidade homogênea (LAMBIN, 1994 *apud* PEDROSA & CÂMARA, 2004).

De acordo com Pedrosa e Câmara (2004, p 15), faz-se premente que em modelos de simulação, “os principais aspectos que afetam o fenômeno estejam bem integrados, que seus relacionamentos funcionais estejam bem representados e que o modelo possa prever os impactos ecológicos e econômicos das mudanças ao longo do tempo.”

#### Modelos de Simulação Dinâmica Espacial

Fundamentados em modelos de ecossistemas com extensões para acomodar a heterogeneidade espacial e processos de tomada de decisão, uma das maneiras de desenvolver modelos de simulação dinâmica espacial, é ter o espaço como uma matriz de células e concomitantemente, equações matemáticas são aplicadas a cada uma delas. Devido a relação de vizinhança entre as células, é possível estabelecer um fluxo entre células adjacentes, o que facilita o processo de predições do sistema, pois por exemplo, se uma célula tem três vizinhos com estado  $x$ , é altamente provável que o estado desta célula venha a ser  $x$  também, além desta lógica poder ser otimizada em regras de transição. Outrossim, são as regras de tomada de decisão implementadas nestes modelos através de abstrações bastante semelhantes àquelas que sucedem na mente humana (PEDROSA & CÂMARA, 2004).

Pedrosa e Câmara (2004) também apresentam um resumo (figura 21) dos principais aspectos de cada tipo de modelo, de acordo com o respectivo potencial destes para responder as questões porque, quando e onde.

Modelo	Porquê	Quando	Onde
Cadeias de Markov	não pode explicar a razão de um fenômeno por ser processo estocástico e não suportar a inclusão de variáveis exógenas	pode prever a evolução de processos estacionários	pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com GIS
Logístico de Difusão	permite a inclusão de poucas variáveis exógenas, entretanto é um modelo descritivo, não suportando investigações exploratórias	suporta a dimensão temporal, podendo prever a evolução de processos não estacionários	pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com GIS
Regressão	contribui para identificar forças direcionadoras, entretanto são modelos descritivos, não sendo capaz de estabelecer relações causais entre as variáveis	pode prever a evolução de processos estacionários	não são modelos espaciais, entretanto podem ser combinados com GIS
Simulação de Ecossistemas	modelo exploratório que requer descrições funcionais dos sistemas ecológicos	pode formular cenários de mudanças futuras no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo	apresenta dificuldades na representação espacial
Simulação Espacial Dinâmica	requer modelos funcionais espacialmente definidos	pode prever mudanças temporais no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo	pode prever evolução de padrões espaciais em processos determinísticos

Figura 21: Tipos de modelo e potencial para simulação. Fonte: PEDROSA & CÂMARA, 2004.

O próximo tópico descreve as principais características do modelo Dinamica EGO, software utilizado para construção dos cenários futuros de expansão urbana para o presente trabalho.

### 3.2 APRESENTAÇÃO DO MODELO DINAMICA EGO.

Dinamica EGO consiste em uma sofisticada plataforma para modelagem ambiental com possibilidades para o design, desde um modelo espacial estático simples até modelos dinâmicos complexos, que podem envolver iterações aninhadas, transições múltiplas, feedback dinâmico, abordagem multi-região e multi-escala, processos de decisão para bifurcar e juntar pipelines (encadeamentos) de execução e uma série de algoritmos espaciais complexos para análise e simulação de fenômenos espaço-temporais (CRS.UFMG, 2015). De acordo com Rodrigues *et*

*al.*, (2007), Dinamica EGO é um acrônimo para *Environment for Geoprocessing Objects* (ambiente para objetos de geoprocessamento).

Esta plataforma foi desenvolvida em ambiente C++ e Java, contém uma série de algoritmos chamados “*functors*” que executam diferentes operações. Implementou-se algoritmos de análise espacial comuns disponíveis em SIG comercial, além de uma série de algoritmos especialmente projetados para simulações espaciais, incluindo funções de transição e métodos de calibração e validação (CRS.UFMG, 2015).

Os “*functors*” do Dinamica EGO são sequenciados em um gráfico para estabelecer um fluxo de dados visual. Com a ajuda de sua interface gráfica, pode-se criar modelos simplesmente arrastando e conectando “*functors*” através de suas portas, cada um dos quais representa um conector para um elemento de dados, como um mapa, uma tabela, uma matriz, uma expressão matemática ou uma constante. Assim, os modelos podem ser projetados como um diagrama, cuja execução segue uma cadeia de fluxo de dados. Esta interface permite o design criativo de modelos espaciais que são salvos em formato de script XML ou EGO. Em suma, o Dinamica EGO favorece a simplicidade, a flexibilidade e o desempenho, otimizando a velocidade e os recursos do computador, como a memória e o processamento paralelo (CRS.UFMG, 2015).

Segundo Soares Filho *et al.*, (2002), Dinamica possui propriedades cibernéticas de um típico modelo de AC que envolve: espaço euclidiano, vizinhança celular com tamanho e forma definidos, conjunto de estados discretos e intervalo de tempo discreto, geralmente projetado para simular mudanças na paisagem. O modelo também emprega uma simulação estocástica de tempo-passo múltiplo com probabilidades espaciais dinâmicas de transição calculadas dentro de uma vizinhança cartográfica. Assim como a regra local de um AC, seu principal mecanismo utiliza funções de transição especialmente projetadas para reproduzir as dimensões e formas de mudanças na paisagem.

O Dinamica utiliza como principal entrada (*input*) um mapa de paisagem, como um mapa de uso e cobertura da terra, obtido a partir de classificação digital da imagem de sensoriamento remoto. O modelo também emprega como entrada, variáveis espaciais selecionadas, estruturadas em dois subconjuntos cartográficos, um de natureza dinâmica e outro estática. Como saída (*output*), são gerados mapas de simulação da paisagem (um para cada intervalo de tempo), mapas de probabilidade espacial de transição, que descrevem a probabilidade de uma célula em uma posição (x, y) mudar do estado i para o estado j (sendo i e j tipos de uso e cobertura da terra) e mapas das variáveis espaciais dinâmicas. O modelo recebe um conjunto de cubos de dados em raster e produz novos. Para executar as simulações, o

modelo funciona em etapas, cada uma com seus próprios parâmetros (SOARES FILHO *et al.*, 2002). Tais etapas consistem em:

1. O número de intervalos de tempo;
2. A matriz de transição, sendo as taxas fixadas na fase;
3. Um eventual valor de saturação para cada tipo de uso e cobertura da terra;
4. O tempo mínimo de permanência para cada tipo de transição antes que uma célula altere seu estado;
5. Os coeficientes do modelo logístico aplicado para calcular cada  $P_{ij}$  espacial;
6. A porcentagem de transições executadas por cada função de transição com os parâmetros, tamanho médio da mancha e a variância do tamanho da mancha de cada tipo de classe de uso e cobertura da terra (SOARES FILHO *et al.*, 2002).

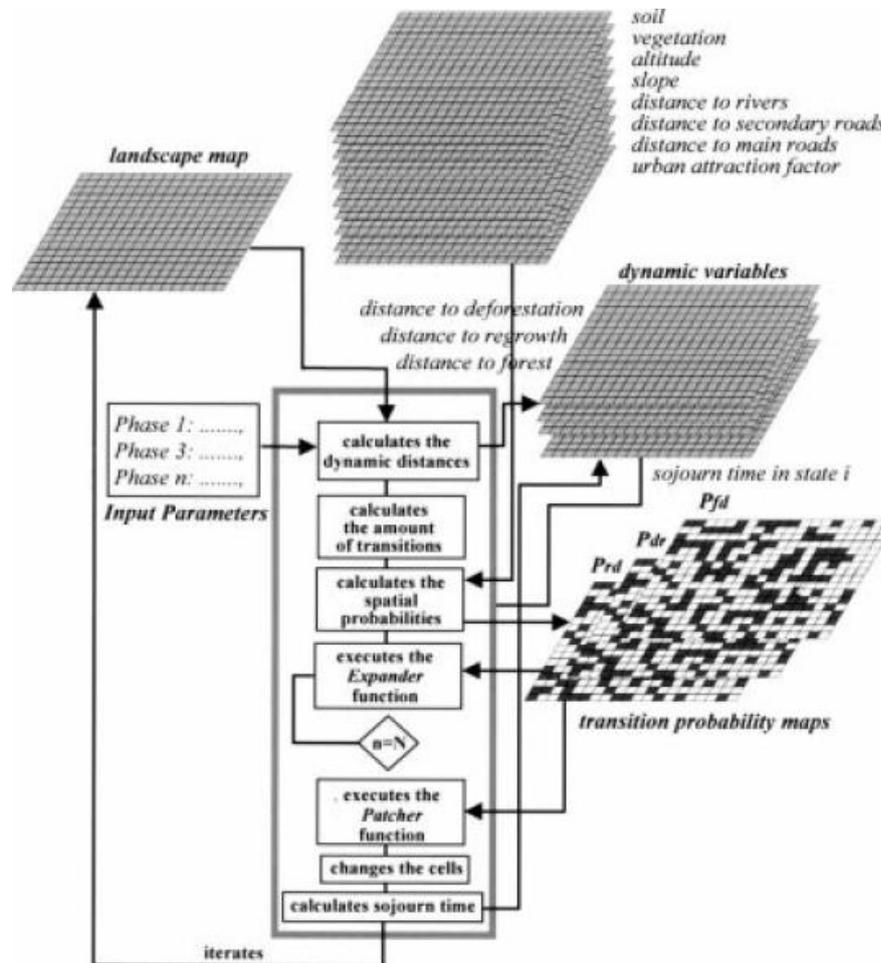


Figura 22: Fluxograma – Modelo Dinamica.

### 3.2.1 Variáveis estáticas e dinâmicas

Como já mencionado, o Dinamica EGO faz uso de variáveis estáticas e dinâmicas para alimentar o modelo de simulação. As variáveis estáticas precisam ser calculadas apenas uma vez antes da simulação, e posteriormente são armazenadas em um cubo de dados raster. É possível definir qualquer quantidade e tipos de variáveis estáticas para compor o modelo. O grupo das variáveis dinâmicas necessita ser recalculado a cada iteração do programa, e são representadas por mapas que mostram a distância euclidiana entre cada célula e a posição da célula mais próxima que se encontre em um diferente estado de uso do solo e o tempo de permanência para cada célula. Desse modo, haverá um mapa de distância e um mapa de tempo de permanência para cada classe. O tempo de permanência é importante devido seu uso na imposição de um tempo mínimo para ocorrência de determinadas transições (SOARES FILHO *et al.*, 2002; SOARES FILHO *et al.*, 2001).

### 3.2.2 Cálculo das taxas de transição

Por meio dos mapas de uso do solo inicial e final, o Dinamica EGO realiza uma operação de tabulação cruzada para geração da matriz de probabilidades de transição e definição das taxas de transição e através de um processo estacionário, essas taxas são calculadas com base em cadeias de Markov, utilizadas para a projeção de taxas futuras de transição de acordo com o princípio de permanência das condições iniciais (SOARES FILHO *et al.*, 2002).

O autor explica que o programa foi projetado para funcionar em várias fases e para variar as taxas de transição usando um parâmetro chamado valor de saturação na tentativa de superar a limitação dos modelos Markovianos em simular mudanças realistas de uso e cobertura da terra devido a variação das taxas de transição ao longo do tempo em função das circunstâncias políticas, sociais, econômicas e naturais (SOARES FILHO *et al.*, 2002).

Dentro de uma determinada fase, as taxas de transição são encaminhadas para o modelo como um parâmetro fixo, e o modelo pode lidar, tanto quanto necessário, com diferentes fases dinâmicas. Como as quantidades de taxas representam porcentagem de transição, é necessário calcular a quantidade de células a serem alteradas por cada transição especificada durante uma iteração. Isso é feito multiplicando o número de células de cada classe de uso e cobertura da terra, ocorrendo em um intervalo de tempo, pela taxa de transição. O valor de saturação é um parâmetro usado para fins de projeção. Esse parâmetro força a interrupção da transição  $i-j$ ,

quando o número de células no estado  $i$  atinge uma quantidade mínima (SOARES FILHO *et al.*, 2002).

### 3.2.3 Cálculo das probabilidades espaciais de transição

A partir das probabilidades de transição, os mapas de transição de uso do solo são elaborados e representam a probabilidade de uma célula na posição  $(x, y)$  mudar do estado  $i$  para o estado  $j$ . As probabilidades espaciais de transição são calculadas para cada célula no mapa e para cada transição especificada. Para tanto, dois métodos podem ser empregados utilizando todas as variáveis dinâmicas e estáticas: pesos de evidências e regressão logística. Ambos os métodos utilizam uma equação logit politômico para selecionar as áreas mais favoráveis para cada tipo de transição. Posteriormente, esses mapas são utilizados pelas funções de transição na seleção de células a serem transicionadas (SOARES FILHO *et al.*, 2002; SOARES FILHO *et al.*, 2003).

### 3.2.4 Método de Pesos de Evidência

O método Pesos de Evidência fundamenta-se no teorema de probabilidade condicional de Bayes (Bonham-Carter, 1994 apud Almeida, 2004). Este verifica, dado uma ocorrência, também chamada variável explicativa, a probabilidade de um evento ocorrer, como demonstra o exemplo (figura 23) de Almeida (2004):

Ex.: uso não-urbano para residencial.

Ocorrência ou evidência: suprimento de água.

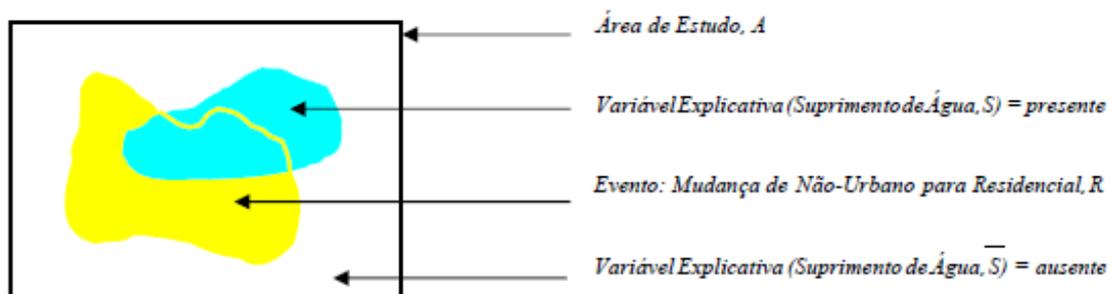


Figura 23: Esquema ilustrativo do método de pesos de evidência. Fonte: (ALMEIDA, 2004).

Este método foi introduzido no Dinamica EGO para modelar espacialmente a mudança de uso da terra. O mesmo foi adaptado de autores como: Agterberg & Bonham-Carter (1990); Goodacre *et al.*, (1993) e Bonham-Carter (1994) para calcular as relações empíricas das

variáveis espaciais, representadas por mapas categorizados ou de tons de cinza (variável contínua), em relação ao uso e mudança da cobertura da terra (CSR.UFMG, 2015). O método Pesos de Evidência depende da probabilidade a priori e a posteriori (JURKEVICZ, 2015).

O método de Pesos de Evidência usa os logaritmos naturais dos *odds*, conhecidos por *log odds* ou *logits*. *Odds* é definido como a razão da probabilidade de que um evento irá ocorrer pela probabilidade de que ele não irá ocorrer (ALMEIDA, 2004).

Em suma, duas razões são utilizadas, *LS* conhecida como razão de suficiência e *LN* razão de necessidade, também denominadas razões de probabilidade ou *likelihood ratios*. Desse modo, Almeida (2004, p. 139) explica que:

Quando evento e evidência são *positivamente correlacionados*, o valor de *LS* é maior do que 1, ao passo que *LN* situa-se no intervalo [0,1]. Entretanto, se uma evidência é *negativamente correlacionada* com o evento, *LN* será maior do que 1, e *LS* se encontrará no intervalo [0,1]. Se a evidência é *descorrelacionada* com o evento, então  $LS=LN=1$ , e a probabilidade *a posteriori* se iguala à *a priori*, e a probabilidade de um evento não se altera pela presença ou ausência de uma dada evidência. De modo semelhante,  $W+$  é positivo e  $W-$ , negativo, devido à correlação positiva entre as evidências e os eventos. Inversamente,  $W+$  seria negativo e  $W-$ , positivo, para os casos em que uma porção muito limitada do evento ocorresse na área da evidência do que seria de se esperar devido ao acaso. Se os eventos independem do fato da evidência estar presente ou não, então  $W+ = W- = 0$ , e as probabilidades *a posteriori* e *a priori* se igualariam (BONHAM-CARTER, 1994 *apud* ALMEIDA, 2014, p. 139).

Sobre os pesos de evidência, Caixeta (2014) também elucida que os mesmos “indicam a influência que cada variável apresenta em relação ao fenômeno de transição em questão, sendo que, quando maiores que zero, representam um valor positivo ao fenômeno e quando menores que zero, o fator é negativo (repulsão)”. Este método possui como condição que todas as variáveis sejam espacialmente independentes. Para isto, o Dinamica EGO aplica um conjunto de medidas para avaliar a correlação espacial entre as variáveis como o teste de Cramer e da Incerteza da Informação Conjunta. Dessa forma, as variáveis correlacionadas devem ser desconsideradas ou combinadas em uma nova variável (CSR.UFMG, 2015). Segundo Caixeta (2014), os valores resultantes tanto do teste de Cramer quanto da Incerteza da Informação Conjunta variam de zero (0) a um (1), e quanto mais próximo a zero, menor é o grau de dependência.

### 3.2.5 As funções de transição

O modelo Dinamica EGO utiliza como regra de AC local, um mecanismo de transição composto por duas funções de transição complementares, o *Expander* e o *Patcher*. A função *Expander* é destinada apenas à expansão ou contração de manchas previamente existente de uma determinada classe. A função *Patcher* é projetada para formar ou gerar manchas a partir de células nucleadas. Para cada transição, a porcentagem de transições executadas pelo *Expander* em relação ao *Patcher* deve ser definida. Ambos os processos possuem como parâmetros de entrada a isometria, variância e o tamanho médio das manchas. (SOARES FILHO *et al.*, 2003).

A isometria das manchas (*Patch Isometry*) é um número variando de 0 a 2. As manchas assumem uma forma mais isométrica à medida que esse número aumenta. O tamanho das novas manchas e franjas de expansão é definido de acordo com uma distribuição de probabilidade lognormal. Portanto, é necessário especificar os parâmetros dessa distribuição representada pela média e variância dos tamanhos das manchas a serem formadas. (SOARES FILHO *et al.*, 2003).

A função *Patcher* procura células em torno de um local escolhido para uma transição combinada. Isso é feito primeiro, eletrizando a célula central da nova mancha e selecionando um número específico de células em torno da célula central, de acordo com suas probabilidades de transição  $P_{ij}$ , conforme descrito na figura 24.

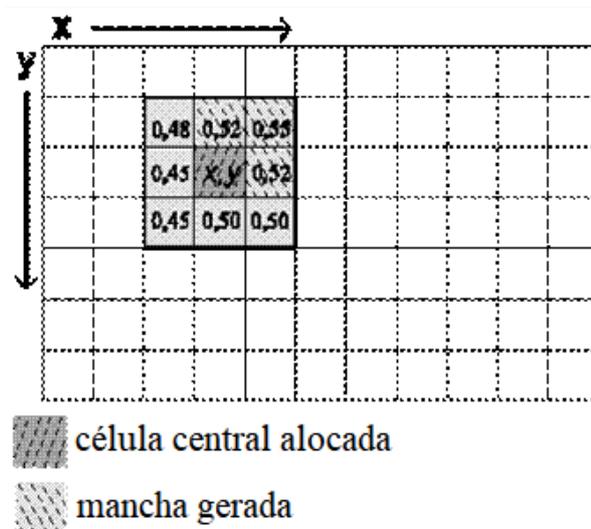


Figura 24: Seleção do algoritmo *Patcher* para células vizinhas. Fonte: CRS.UFMG, 2015

Ambas as funções de transição empregam um mecanismo de seleção estocástica. O algoritmo aplicado consiste no escaneamento do mapa de uso do solo inicial para selecionar as

células com probabilidades mais altas e depois dispô-las de forma ordenada em uma matriz de dados. Em sequência, a seleção de células ocorre de forma aleatória de cima para baixo da matriz de dados (o mecanismo estocástico de seleção interna pode ser suavizado ou realçado, dependendo do grau de aleatoriedade desejada). Por fim, o mapa de uso do solo é novamente escaneado para executar as transições selecionadas. Para cada função, o software controla o número de iteração necessário para realizar a quantidade de transições especificadas. No caso de a função *Expander* não executar a quantidade de transições desejadas, após um número limitado de iterações, ela transfere para a função *Patcher* um número residual de transições, de modo que o número total de transições sempre atinja um valor esperado. (SOARES FILHO *et al.*, 2002).

### 3.2.6 *Functors* para simulação de modelos de uso e cobertura da terra

Para operar a simulação no DINAMICA EGO com o objetivo de calibrar, executar e validar o modelo, os seguintes *functors* são necessários:

- Determinar os pesos das faixas de evidências - define as melhores faixas ou intervalos empregados para categorizar variáveis contínuas de tons de cinza;
- Determinar pesos de coeficientes de evidência - determina os coeficientes de pesos de evidências para variáveis espaciais selecionadas em relação a uma transição ou conjunto de transições;
- Calcular mapa de probabilidade de pesos de evidência - calcula um mapa de probabilidades aplicando o método Pesos de Evidência;
- Calcular a Matriz de transição - calcula a quantidade de mudanças, multiplicando as taxas de transição pelo número de células de cada categoria a ser alterada;
- *Patcher* - gera novas manchas de determinada classe ou categoria usando um mecanismo de nucleação;
- *Expander* - expande ou contrai manchas anteriores de uma determinada classe ou categoria.

### 3.2.7 Método de validação

Uns dos métodos do Dinamica EGO para validar modelos espaciais denomina-se *Calc Reciprocal Similarity Map*, utilizando uma função exponencial de decaimento. Adaptado de Hagen (2003), o modelo emprega uma função exponencial de decaimento com distância para

peso da distribuição do estado celular em torno de uma célula central. Este método é aplicado pois, segundo os autores:

modelos espaciais exigem uma comparação dentro de um contexto de vizinhança, porque mesmo os mapas que não correspondem exatamente células por célula ainda podem apresentar padrões espaciais similares e também acordo espacial dentro de uma determinada vizinhança celular (CRS.UFMG, 2015).

Este modelo recebe como entrada os mapas de paisagem inicial, final e a paisagem simulada e calcula o mapa de diferenças entre um mapa inicial e um mapa final e as diferenças entre um mapa inicial e um mapa simulado. Dessa forma, o mapa resultante representa apenas as células que mudaram (CRS.UFMG, 2015).

O tópico seguinte aborda sobre o pré-processamento necessário para manipulação das imagens Landsat como a correção atmosférica e normalização radiométrica e o processamento das mesmas para geração dos mapas de cobertura da terra de 1985, 1994, 2005 e 2015. Posteriormente foi possível analisar a evolução das manchas urbanas em Paraty e alimentar o modelo de simulação.

### 3.3 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM APOIO À GERAÇÃO DE CENÁRIOS E MODELOS PREDITIVOS DE ANÁLISE.

Os dados que alimentaram o modelo de AC foram provenientes principalmente de sensoriamento remoto, a partir da classificação de imagens Landsat 5 e Landsat 8 em uma série temporal de 30 anos com intervalo de 10 anos aproximadamente. Estas classificações foram geradas no software eCognition 9.0, sendo posteriormente realizada a detecção de mudanças por meio da técnica de pós-classificação no ArcGis 10.1.

Segundo Jensen (2009, p. 132) “O sensoriamento remoto é especialmente útil no monitoramento da atividade do homem através do tempo, indicando um caminho promissor para o desenvolvimento sustentável e para as decisões governamentais”.

Dentre as diversas técnicas do sensoriamento remoto, a detecção de mudanças é uma etapa de grande importância para este estudo, pois apontará os locais que sofreram mudanças significativas em relação à urbanização. “Normalmente, o estudo das mudanças aumenta o nosso entendimento sobre os processos – naturais e induzidos pelo homem – que atuam sobre uma paisagem” (JENSEN, 2009, p. 132).

Em relação à detecção de mudanças, Coppin *et al.*, (2004) afirma que devido à sustentabilidade ter-se tornado um objetivo primário na gestão ambiental, a necessidade de dados precisos e atualizados tornou-se uma consequência. Ademais, quando se trata de grandes áreas, a compreensão das mudanças deve basear-se em um monitoramento rigoroso dos atributos da superfície terrestre durante, pelo menos, algumas décadas.

Carvalho *et al.*, (2016) declaram que a detecção de mudanças na cobertura e uso do solo é possível por meio da análise de dados de Sensoriamento Remoto de épocas distintas, o que possibilita inferir sobre as transformações em diversos outros aspectos como intensidade, tipo de mudança e taxas de mudança detectadas em uma localidade durante um determinado período. Tais mudanças podem acarretar impactos socioeconômicos consideráveis.

Coppin *et al.*, (2004) ao aplicar a detecção de mudanças para o estudo das alterações em ecossistemas, afirma que nem todas as alterações detectáveis são igualmente importantes, sendo provável que algumas mudanças de interesse não sejam identificadas adequadamente, ou em absoluto, por determinado sistema.

Em seu estudo, o autor também alerta que, geralmente, para a aquisição das imagens, assume-se que as condições fenológicas sejam comparáveis, ou seja, as condições climáticas devem ser semelhantes, seja numa escala de tempo bi-temporal ou numa escala de tempo contínua. Isto quando esta condição climática não for o objeto de estudo (Coppin *et al.*, 2004). As imagens Landsat adquiridas para este trabalho também possuem condições climáticas próximas com datas que variam de maio a agosto.

O principal desafio para obter informações precisas em relação à mudança nos ecossistemas concerne ao problema padrão do sensoriamento remoto: “maximização da relação sinal-ruído. O ruído inerente afetará as capacidades de detecção de mudanças de um sistema ou mesmo criará fenômenos de mudança irreal” (Coppin *et al.*, 2004, p. 5). As causas destes erros podem ser: diferenças na absorção atmosférica e dispersão devido a variações no vapor de água e concentrações de aerossóis na atmosfera, variações temporais nos ângulos zênite e/ou azimute e inconsistências de calibração do sensor para imagens separadas (COPPIN *et al.*, 2004).

Logo, para estudos de múltiplas datas, o pré-processamento da imagem torna-se ainda mais exigente, e esse geralmente compreende calibração de radiação ou reflectância do satélite, correção ou normalização atmosférica, correção geométrica, mosaicagem e outros (COPPIN *et al.*, 2004).

Também, qualquer detecção de mudança digital é afetada por restrições espaciais, espectrais, temporais e temáticas, por isso, o tipo de método implementado pode afetar

profundamente o resultado da mudança, já que, diferentes abordagens podem produzir diferentes mapas de mudança (COPPIN *et al.*, 2004).

Os métodos aplicados para detecção de mudanças são variados e segundo Kiel (2008), em sua maioria, são orientados para a identificação quantitativa das transformações indicando o que “mudou ou não mudou” e qualitativa com discriminação em classes das mudanças. Estipula-se assim, pontos comparativos no tempo e espaço para o monitoramento e análise das transformações, sendo as relações de causa e efeito entre os impactos, as mudanças e seus determinantes buscados para melhorar a capacidade de previsão sobre o futuro.

Como explica Coppin *et al.*, (2004) ao se utilizar apenas duas imagens para detecção de mudanças tem-se uma análise bi-temporal, se forem três ou mais, a metodologia é de análise da trajetória temporal. Neste trabalho se emprega quatro imagens (1984, 1994, 2005 e 2015), logo, tem-se uma análise da trajetória temporal.

Dentre os métodos de detecção de mudanças pode-se citar: Análise de Pós-classificação, Análise de Vetor de Mudança, Análise por Componentes Principais, Razão de Imagens, Subtração de Imagens e Diferença de Índices de Vegetação (Rosendo & Rosa, 2007); Análise Composta, Regressão de Imagens, Transformada Kauth-Thomas (KT), Transformada Chi-Quadrado (Kiel, 2008); e outros.

Métodos como Subtração de Imagens, Diferença de Índices de Vegetação, Análise de Vetor de Mudança geralmente são métodos lineares que estimam a mudança com base em uma combinação linear das bandas espectrais de imagens de entrada. Outros métodos, como por exemplo, a Análise de Componente Principal (PCA), usam as propriedades estatísticas da imagem para extrair o componente de mudança, assumindo que a variabilidade causada por mudanças reais é diferente de outras fontes de variabilidade nas imagens. Contudo, provavelmente, a abordagem mais popular na análise de detecção de mudanças é o método de comparação Pós-Classificação (FOODY, 2002).

Segundo Mas (1999), o método de comparação Pós-Classificação é uma análise comparativa de imagens obtidas em momentos diferentes após a classificação prévia independente.

O método selecionado para detecção de mudanças neste trabalho é o de Pós-Classificação, não por ser o mais popular, mas pela necessidade de classificação das imagens *a priori*, o que neste caso, constitui-se em vantagem, pois alimentará o modelo de AC que necessita de um mapa inicial e final para análise de trajetórias. Também por indicar a natureza da mudança, facilitará a realização da proposta de análise da trajetória temporal.

### 3.3.1 Pré-processamento das imagens Landsat 5 e 8.

Este item aborda sobre a etapa de pré-processamento das imagens Landsat como a correção atmosférica e a normalização radiométrica, necessárias para uma melhor resposta espectral das cenas utilizadas que foram classificadas no software eCognition com a técnica Geobia, etapas estas que também são tratadas neste item. Outrossim, consiste na validação dos mapas por meio do índice Kappa apresentados ao final deste.

Para a manipulação e análise dos dados das imagens Landsat, primeiramente, realizou-se um importante segmento do processamento digital de imagens, o chamado pré-processamento de imagens que segundo Meneses e Almeida (2012, p. 82) objetiva “corrigir preliminarmente os erros que os dados originais possam apresentar”.

Erros e distorções introduzidos nas imagens pelos sistemas sensores são removidos ou corrigidos com as técnicas de pré-processamento. E tais erros envolvem erros instrumentais (ruídos espúrios), as interferências da atmosfera (erros radiométricos) e a geometria de imageamento (distorções geométricas) (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Por isso, a técnica supracitada torna-se importante, tendo como principal objetivo, melhorar a qualidade visual da cena. Também, caso estas imperfeições não sejam corrigidas, as mesmas serão realçadas em processos subsequentes, tais como em transformações de realces espectrais. Ademais, conhecendo-se qual é a fonte de distorção, as correções dos diferentes tipos de erros que a imagem pode apresentar são modeladas de acordo com o tipo da estrutura dos mesmos (MENESES & ALMEIDA, 2012). Contudo, os autores afirmam que “mais comprometedor do que os ruídos aleatórios ou coerentes, são as degradações que alteram radiometricamente a imagem por completo” (MENESES & ALMEIDA, 2012, p. 87).

Sabe-se que o Sensoriamento Remoto é “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (MENESES, 2012, p.3).

A radiação eletromagnética (REM) oriunda do Sol ou emitida pela Terra, na sua passagem através da atmosfera, interage com as moléculas dos constituintes gasosos e com o material particulado suspenso na atmosfera. Assim, tanto na sua trajetória descendente entre o Sol e a Terra quanto na trajetória ascendente da radiação refletida e emitida da superfície terrestre para o sensor, a atmosfera interfere na intensidade do fluxo radiante, na distribuição espectral e na direção dos raios incidentes (MENESES, 2012).

De acordo com Meneses e Almeida (2012), a atmosfera afeta a radiância medida de duas maneiras: primeiro, agindo como um refletor, adicionando ao sinal detectado pelo sensor uma radiância extra. Segundo, agindo como um absorvedor, diminuindo a intensidade de energia que ilumina o alvo na superfície. Quando essa diminuição é superior a um valor, em determinados comprimentos de onda a transparência da atmosfera torna-se opaca, impossibilitando a obtenção de imagens. Sendo assim, em uma imagem, deve-se verificar apenas a possível degradação causada pelo espalhamento atmosférico, avaliando quanto de radiação foi adicionada ao pixel e que se sabe não ser proveniente do alvo. A radiância medida pelo sensor difere da radiância real do alvo, pois os aerossóis, gases e moléculas d'água da atmosfera causam o efeito aditivo do espalhamento dos raios. Tal efeito aditivo denomina-se *haze* responsável pela redução do contraste da imagem.

Com isso, torna-se necessário remover os efeitos que a atmosfera introduz para uma interpretação confiável das imagens de satélite. Para tanto, deve-se conhecer os parâmetros que caracterizam o estado atmosférico da área, contudo, devido à dificuldade de se obter esses dados, técnicas de processamento opcionais de correção atmosférica foram desenvolvidas, estimadas a partir dos próprios dados das imagens multibandas. Esses métodos se aplicam às imagens CBERS, Landsat e SPOT que são multiespectrais com bandas de ampla largura espectral (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Segundo Freire (1996 *apud* Latorre *et al.*, 1998) os métodos de correção atmosférica podem ser divididos em físicos e alternativos. Aqueles são mais completos e se baseiam na teoria da transferência radiativa, já estes, são simplificados e normalmente supõem a interferência da atmosfera como aditiva.

Neste trabalho, para a correção atmosférica, utilizou-se o método ATCOR baseado no algoritmo MODTRAN que é um modelo de transferência radiativa como já explicitado, lembrando que o MODTRAN corrige espalhamento e absorção, mais sentido na faixa do infravermelho.

### 3.3.2 Classificação baseada em objeto e detecção de mudanças Pós-Classificação.

O sensoriamento remoto fornece uma fonte viável de dados dos quais informações atualizadas da cobertura da terra podem ser extraídas de forma eficiente e econômica a fim de inventariar e monitorar essas mudanças de modo eficaz. Assim, a detecção de mudanças tornou-se a principal aplicação de dados de sensoriamento remoto devido à cobertura repetitiva em curtos intervalos e a consistência na qualidade das imagens (MAS, 1999).

Dentre as diversas técnicas de detecção de mudanças como Análise de Vetor de Mudança, Análise por Componentes Principais, Razão de Imagens, Subtração de Imagens, Diferença de Índices de Vegetação e outros, este item tratará sobre a técnica de Pós-Classificação, considerada mais apropriada para o presente trabalho devido a sua necessidade de classificação *a priori* como já explicitado.

Pós-Classificação é o método no qual todas as imagens são classificadas separadamente (baseada apenas nas informações contidas em cada imagem), e então, os mapas temáticos gerados são comparados (FOODY, 2002).

Stow *et al.*, (1980 apud Mas, 1999) alerta que o mapa de mudanças de duas imagens, geralmente, será apenas tão preciso quanto o produto das precisões de cada classificação individual.

Segundo Colwell *et al.*, (1980 apud Coppin *et al.*, 2004) a principal vantagem da técnica de Pós-Classificação está no fato de que as duas datas de imagens são classificadas separadamente, minimizando assim o problema da calibração radiométrica entre as datas. Ao escolher o processo de classificação apropriado, o método também pode ser insensível a uma variedade de tipos de mudanças transitórias em características selecionadas do terreno que não interessam.

Contudo, Howarth e Wickware (1981 *apud* Coppin *et al.*, 2004) afirmam que a precisão da pós-classificação é totalmente dependente da precisão das classificações iniciais. A precisão final muito se semelhante à resultante da multiplicação das precisões de cada classificação individual e pode ser considerada intrinsecamente baixa. Assim, a dificuldade consiste na identificação de alvos completamente consistentes, análogos e altamente precisos para cada iteração. Os erros de classificação e de registro que podem estar presentes nas imagens originais são combinados e os resultados obtidos usando a Pós-Classificação são, portanto, frequentemente julgados insatisfatórios.

Foody, (2002) também aborda que ao usar imagens multisensores de várias datas, o método de comparação pós-classificação pode levar a resultados errados devido às diferenças nas características radiométricas das imagens a partir das quais os mapas temáticos foram obtidos.

Por isso, optou-se pela normalização radiométrica das imagens, para diminuir a diferença entre as mesmas, ao remover ou compensar fatores como diferenças na resposta radiométrica relativa entre sensores; mudanças na calibração do sensor; variação nos efeitos atmosféricos; efeitos de inclinação e outros. Nas palavras de Paolini *et al.*, (2006): “Desta

forma, as imagens corrigidas radiometricamente devem aparecer como se fossem adquiridas com o mesmo sensor e sob as mesmas condições atmosféricas e de iluminação.”

Kiel (2008) afirma que são encontradas na literatura vantagens e desvantagens no uso do método de detecção de mudanças pós-classificação. O autor cita Singh (1989) e Canty (2007) que ressaltam que erros de classificação nas imagens I1 e I2 deverão ocasionar falsos indicativos de mudança e alerta sobre o cuidado na escolha das classes, pois delas depende o sucesso deste tipo de abordagem. Já a vantagem do procedimento encontra-se no fato de as classificações independentes minimizarem problemas decorrentes de efeitos atmosféricos, luminosidade e sensor entre as duas datas. Outra vantagem está na simplicidade de interpretação em relação à matriz de mudanças resultante da comparação entre as classificações.

Kiel (2008) também apresenta o trabalho de Bruzzone e Serpico (1997) que aplicaram um procedimento iterativo pós-classificação podendo aumentar a acurácia em relação a simples comparação entre duas classificações e destaca que os autores obtiveram resultados satisfatórios.

Também se destaca o trabalho de Mas (1999) que utilizou imagens Landsat (MSS) para detectar mudanças na região de Lagoas de Términos na zona costeira do estado de Campeche, México, comparando seis técnicas de detecção de mudanças: diferenciação (bandas 2 e 4), diferenciação de NDVI, análise por componentes principais (PCA), análise composta e a pós-classificação, com e sem máscara de mudança. A acurácia do resultado obtido de cada técnica foi avaliada por meio de comparação com fotografias aéreas utilizando o coeficiente Kappa. A técnica de comparação pós-classificação apresentou o melhor resultado devido à alta acurácia obtida na classificação de cada imagem e a correta junção das classes que não contrastaram bem, além da vantagem de indicar a natureza das mudanças. O autor considera que métodos baseados em classificação são menos sensíveis às variações espectrais, e mais robustos ao lidar com dados capturados em diferentes datas.

Em seu trabalho, Beltrame *et al.*, (2009), apresentou resultados baseados na distribuição binomial e implementou um teste de hipóteses para tomada de decisão de um ponto de vista estatístico. Assim, os autores utilizaram a proposta de pós-classificação e informações contextuais de uma janela em movimento no qual o teste foi realizado. Foram apresentados experimentos utilizando um par de imagens Landsat TM, e os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, especialmente porque minimiza falsos alarmes sobre as mudanças na cobertura da terra.

Contudo, no trabalho apresentado por Singh (1989), o autor comparou sete técnicas de detecção de mudanças em áreas de floresta: diferenciação de imagens, diferenciação de

transformadas de NDVI, divisão de imagens, regressão de imagens, análise de componentes principais, análise composta e pós-classificação. Também foram aplicadas técnicas de realce espacial como filtragem, subtração de fundo, realce de limites e texturas. Os resultados do trabalho apontaram a técnica de regressão de imagens (banda 2 do Landsat MSS) como o método de maior acurácia e pouca ou nenhuma resposta aos tratamentos de realce espacial. Já o método de pós-classificação foi considerado o de menor acurácia.

Sobre o método pós-classificação, Deer (1995, p.6) considera que:

o uso dos resultados fica sempre restrito as classes inicialmente escolhidas, que geralmente são discretas, ou seja, os pixels classificados não guardam informações sobre a incerteza de sua classificação e conforme as probabilidades associadas às classes individuais, pequenas indicações de mudança poderão ser tratadas como estatisticamente não significantes. Finalmente os erros de classificação possuem um efeito componente, ou seja, a acurácia das classificações de cada imagem deve ser multiplicada de forma que se possa estabelecer o erro da comparação, assim duas classificações com 90% de acurácia, quando comparadas estabelecem uma probabilidade de erro de 19%.

Já Kiel (2008) alerta sobre a dimensão da área de estudo, pois o risco é sempre maior quando esta é muito extensa e relata que o número de classes utilizadas é diretamente proporcional ao crescimento do erro da detecção de mudança. Logo, devido às diversas técnicas de detecção de mudanças que atendem a diferentes objetivos, Kiel (2008), em seu trabalho, confirma a inviabilidade de se estabelecer, a priori, a melhor técnica ou a mais acurada, sem considerar plenamente os objetivos, a escala, a natureza do ambiente analisado, as classes de mudança estabelecidas para o trabalho e a qualidade das imagens disponíveis.

Da mesma forma, Coppin *et al.*, (2004) declara sobre a escolha do algoritmo de detecção, referindo-se a impossibilidade de se eleger o melhor dentre os vários existentes, estando pacificado na literatura que cada algoritmo possui uma forma própria de lidar com a extração e com a classificação das mudanças e que resultados diferentes serão obtidos ao se empregar diferentes algoritmos sobre os mesmos dados, o que também ocorrerá, se um algoritmo for aplicado sobre o mesmo conjunto de dados, mas com variáveis espaciais espectrais, temporais e temáticas configuradas de forma diferente, podendo assim concluir, que não há um algoritmo aplicável em todas as situações.

No que concerne aos demais métodos de detecção de mudança, no próximo item será abordado aqueles mais facilmente encontrados na literatura, baseado principalmente no trabalho de Kiel (2008) que agrupa as diferentes abordagens sobre detecção de mudanças.

### 3.3.3 Demais métodos de detecção de mudanças

Em seu trabalho (Kiel, 2008) sistematiza os métodos de detecção de mudanças do uso e cobertura do solo em dois grupos, baseado nas diferenças intrínsecas dos algoritmos: o grupo baseado na pós-classificação das imagens e o baseado na pré-classificação. O autor relata que outros grupos seriam possíveis, porém, optou-se por incluí-los como subgrupos da pré-classificação, tais como as técnicas consideradas mistas, ou híbridas, nas quais a detecção de mudanças é integrada com dados e informações espectrais e não espectrais como dados literais, analógicos, históricos em sistemas de informações geográficas.

Um terceiro grupo foi formado por técnicas consideradas demasiado experimentais, além de citar técnicas que utilizam sistemas especialistas, baseados em inteligência artificial e em segmentação de imagens com classificadores de lógica de conjuntos nebulosos (KIEL, 2008).

#### 3.3.3.1 Técnicas de Pré-Classificação

Das técnicas de detecção de mudança pré-classificação, o autor aborda sobre a Análise Composta, Técnicas Algébricas (caracterizam-se pela utilização de equações algébricas entre bandas e transformadas das imagens em comparação, assim como de mapas temáticos) incluindo Subtração de Imagens, Razão de Imagens, Regressão de Imagens e Análise da Mudança Vetorial.

Em relação a estas técnicas, as fases quantitativas e qualitativas, ocorrem após a aplicação do algoritmo de detecção de mudanças, ou seja, primeiro são detectadas as regiões onde houver mudanças e em seguida tais mudanças são analisadas, quantificadas e qualificadas (KIEL, 2008).

#### Análise Composta

É realizada por um conjunto de dados combinados ou um subconjunto de bandas correspondente, sob condições fenológicas similares, porém de diferentes datas. Construída a imagem multitemporal, é realizada uma única classificação para a detecção das mudanças, segundo o princípio de que nas áreas onde ocorreram as transformações se concentrem discrepâncias estatísticas quando comparadas com o restante da imagem, que se manteve inalterado, ou com poucas mudanças. Esta técnica é considerada complexa, em parte devido à

junção das imagens aumentarem a dimensionalidade dos dados, podendo ser necessárias muitas classes, aumentando o risco de redundância, se não for realizada uma análise discriminante prévia. Além disso, exige conhecimento prévio das inter-relações lógicas das classes e deve ser usado somente quando o pesquisador está intimamente familiarizado com a área de estudo (COPPIN *et al.*, 2004).

### Subtração de Imagens

Este é o algoritmo de detecção de mudanças mais utilizado. Trata-se de subtrair duas imagens originais ou transformadas (por exemplo, índices de vegetação, albedo, etc.) co-registradas, obtidas em datas diferentes. Com dados "perfeitos", isso resultaria em um conjunto de dados em que os valores positivos e negativos representam áreas de mudança e os valores zero não representam nenhuma alteração (COPPIN *et al.*, 2004).

### Razão de Imagens

Conceitualmente, a razão de imagens, é um dos métodos de detecção de mudanças mais fáceis de entender, apesar de não ser tão rápido e simples quanto a subtração de imagem. Neste caso a operação aritmética é a razão em uma base pixel-por-pixel. Um pixel que não mudou apresentará o valor da razão de um. As áreas de mudança terão valores maiores ou inferiores a um (COPPIN *et al.*, 2004).

### Análise da Mudança Vetorial (CVA)

A análise da mudança vetorial é uma técnica de detecção de mudanças multivariada que processa a dimensionalidade total (espectral + temporal) dos dados da imagem e produz duas saídas: mudança de magnitude e direção de mudança. Uma grande vantagem é a capacidade de analisar a mudança simultaneamente em todas as camadas de dados em oposição às bandas selecionadas (COPPIN *et al.*, 2004).

Revisando o conceito vetorial do pixel de uma imagem multiespectral, sabe-se que os valores em cada dimensão (banda) representam seu nível de brilho e por isso, podem ser plotados em sistemas de coordenadas. Quando comparadas imagens (ou suas transformadas) de datas distintas, os dados associados a cada pixel definem vetores de cada data respectiva no espaço multidimensional. A trajetória destes vetores pode

ser comparada por subtração vetorial e as mudanças em amplitude e direção (tipo da mudança), que a partir de limiares definidos, diferenciarão os pixels com mudança daqueles inalterados (DEER, 1995, p 11).

### Diferenciação de Índices

Para atender a necessidades específicas de determinadas análises, várias técnicas combinam os dados de diferentes comprimentos de onda, através de operadores matemáticos, aproveitando-se da natureza multidimensional da informação nas imagens multi e hiperespectrais. A partir dos dados originais, estas combinações entre diferentes bandas geram novas imagens transformadas (KIEL, 2008).

De acordo com Deer (1995) o cálculo de Índices de Vegetação é uma das formas mais comuns de combinação de bandas e baseiam-se em duas propriedades espectrais da vegetação: forte refletância do infravermelho-próximo e alta absorção do vermelho. Apesar desses índices apresentarem pequenas diferenças, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o mais empregado.

### Técnicas com Transformações Lineares

As técnicas com transformações lineares referem-se aquelas que aplicam o princípio de descorrelacionamento dos dados, com tratamentos matemáticos dos dados variados. Tal princípio visa concentrar as informações relativas às menores modificações estatísticas nos componentes ortogonais para ressaltar as diferenças. Para aplicá-las a detecção de mudanças no uso e na cobertura da terra, compara-se duas imagens com n-dimensões, ou bandas espaçadas no tempo. (COPPIN *et al.*, 2004).

### Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica de transformação linear de imagens dentre as várias existentes. Esta técnica permite o tratamento de duas imagens em um espaço “2n-dimensional” de forma simultânea, onde o número n é o número de bandas utilizadas na comparação. (COPPIN *et al.*, 2004). Possui como vantagem a possibilidade de redução da dimensionalidade dos dados, “pois ao serem aplicada a uma imagem gera novas imagens (componentes) a partir do descorrelacionamento dos dados apoiado na criação de um novo sistema ortogonal de coordenadas orientado para realçar as diferenças estatísticas entre os dados.” Assim, perante uma nova distribuição espacial, concentra os dados significativos nas primeiras componentes. (KIEL, 2008, p. 59).

### Análise por Modelo de Mistura Espectral (SMA)

É possível construir um modelo de mistura espectral a partir de um conjunto de assinaturas espectrais puras, ou “*endmembers*” de uma imagem. Este modelo expressa a totalidade da refletância dos elementos da imagem em diferentes composições de “*endmembers*”, a partir dos pesos que suas coberturas possuem na superfície. Assim, por meio da análise das alterações destas composições no tempo é possível realizar a detecção de mudanças, pois, presume-se que se existe mudança nos “*endmembers*” que compõe um pixel ou elemento da imagem, logo este sofreu alteração durante o tempo transcorrido entre as imagens. Devido a capacidade dos “*endmembers*” de fornecer medições padronizadas da presença física das frações de tipos de cobertura, estes, normalmente, são escolhidos para representar a assinatura espectral de coberturas de interesse como copa das árvores, solo, sombra e outros (COPPIN *et al.*, 2004).

#### 3.3.4 Classificação baseada em objeto com o software eCognition

Como já mencionado o método de classificação definido para este trabalho é o baseado em objeto, devido este considerar, além dos valores de refletância dos pixels, aspectos relacionados à forma, textura, cor e outros, o que pode significar resultados mais precisos no que concerne a classificação, fato imprescindível para o produto deste trabalho, pois ao se utilizar a técnica de detecção de mudança pós-classificação é necessário uma acurácia significativa dos dados, já que o erro inerente de cada classificação se propaga com a comparação dos mapas.

Segundo Cruz *et al* (2009) o grau de automatização na geração de produtos temáticos a partir do processamento de imagens é um grande desafio, e portanto, é alvo de muitos esforços na tentativa de aprimorar a classificação de imagens para elaboração de mapas temáticos.

A edição manual ainda é uma necessidade para a maioria das técnicas de classificação, demandando esforço significativo, fato que divide a comunidade acadêmica acerca das vantagens da adoção de técnicas automatizadas, e por esta razão, muitos estudos fazem uso apenas da interpretação visual, apesar do uso de segmentações antes da classificação ser crescente (CRUZ *et al.*, 2009).

Neste sentido, a classificação baseada em objetos, “busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para a identificação de feições,

baseada na descrição de padrões identificadores, tais como, cor, textura, métrica, contexto” (CRUZ *et al.*, 2009, p. 7790). No software eCognition, é possível a combinação de diferentes tipos de classificação como a identificação visual, o uso convencional da técnica vizinho mais próximo baseado em áreas de treinamento e modelagem de descritores através de funções booleanas ou fuzzy, de forma interativa e iterativa, aproveitando as vantagens de cada um (CRUZ *et al.*, 2007).

Sobre o eCognition, o sistema suporta diferentes resoluções, assim como diferentes tipos de sensores. O processo de segmentação de imagens resulta em regiões de imagens homogêneas que fornecem a camada base para as etapas seguintes de análise. Já a análise pode ser implementada com base em condições, amostras ou uma combinação de ambos. Por meio da análise de contexto, feições que não são identificáveis apenas com base em atributos espectral ou textural podem ser extraídas. As feições extraídas podem ser exportadas em formato raster ou em vetor, o que permite integração com os fluxos de trabalho em SIG. Um conjunto de regras e aplicações desenvolvidos para uma tarefa podem ser reutilizados em grandes áreas, efetivamente automatizando a análise de imagens (ECOGNITION, 2017).

Em relação a segmentação, Reis *et al.*, (2009) informa sobre o parâmetro “escala”, que previamente definido, estabelece o limiar de crescimento das regiões, delimitando o máximo de heterogeneidade permitida para os objetos. Geralmente, quanto maior a escala, maior o tamanho dos objetos, mas de fato, definido o parâmetro de escala, o tamanho resultante dos objetos dependerá das características dos dados utilizados na segmentação.

De acordo com Campos (2005 *apud* Reis *et al.*, 2009) na classificação baseada em objeto, a segmentação prévia das imagens e o uso de lógica *fuzzy* (decisão pelo grau de pertinência que o objeto apresenta em relação a todas as classes) aproximam-se do processo cognitivo humano, e devido a classificação mais acurada é possível melhorar significativamente a qualidade de um mapeamento automático.

Cruz *et al.*, (2007) explica outra característica importante acerca do processo de análise e seleção dos descritores para construção das classes. Os descritores mais significativos para determinada tarefa são dispostos em um histograma que compara duas classes por vez em um ambiente que possibilita a construção dos modelos de forma automática ou manual. Então, cada classe é definida por um ou mais modelos, e pode-se ter classes cujo modelo é por exclusão (*not* demais classes), normalmente aplicados a classe de maior ocorrência, desta forma, evita-se áreas não classificadas. Também é garantida a herança entre níveis de classificação e de objetos, o que evita redundâncias e simplifica o processo de identificação. Para exemplificar, os autores em seu trabalho citam floresta e reflorestamento que podem ser classes pertencentes

a uma classe mais genérica, denominada Áreas Florestadas, e herdarem os modelos que caracterizam a classe mãe além dos que as diferenciam entre si.

Em seu trabalho, Pinheiro (2005 *apud* Alves *et al.*, 2007) também fazem uso do eCognition para classificação de imagens Landsat e sinalizam que a classificação baseada em objeto nesse software baseia-se em 2 passos: Segmentação Multiresolução e Classificação. Naquele, objetos são criados em diferentes escalas (segmentação em diferentes níveis), conectados entre si e configurados com critérios de forma e cor. Neste, por meio da definição da rede hierárquica (herança dos atributos que descrevem a classe) e da rede semântica (estrutura lógica de relação entre as classes), os objetos passam a se relacionar.

Rosário *et al.*, (2009) ressalta que dentre as aplicações usuais, a classificação digital destaca-se e ganha importância perante o processamento digital de imagens. E afirmam que o uso de diferentes técnicas de classificação são comumente encontradas em estudos de caso, todavia, o uso de classificadores baseados em objeto através da modelagem do conhecimento ainda é relativamente raro, especialmente para escalas de média resolução como as imagens Landsat 5 e 8 utilizadas no presente estudo.

### 3.4 VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE COBERTURA DA TERRA PELO ÍNDICE KAPPA.

De acordo com Banko (1998) a avaliação da acurácia é uma importante etapa no processo de análise de dados de sensoriamento remoto. Os produtos de sensoriamento remoto podem servir de base para decisões políticas e econômicas, assim, os usuários potenciais devem saber sobre a confiabilidade dos dados quando confrontados com mapas derivados de dados de sensoriamento remoto.

Segundo Story e Congalton (1986), a maneira mais comum para expressar a acurácia de imagens / mapas, está na declaração da porcentagem da área de mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou “verdade terrestre”. Esta declaração geralmente é derivada de uma contagem da correção da classificação gerada pela amostragem dos dados classificados e expressa na forma de uma matriz de erro (às vezes chamada de matriz de confusão ou tabela de contingência). Neste tipo de contagem, os dados de referência (geralmente representados pelas colunas da matriz) são comparados aos dados classificados (geralmente representados pelas linhas). A diagonal principal indica o acordo entre esses dois conjuntos de dados. A exatidão global para uma determinada imagem / mapa classificado é então calculada dividindo a soma das entradas que formam a diagonal principal (ou seja, o número de classificações corretas) pelo número total de amostras colhidas. Explicações mais

detalhadas da acurácia são muitas vezes derivadas da matriz de erros sob a forma de precisão individual da categoria de cobertura da terra.

Esta forma de expressar a acurácia como uma matriz de erro é uma maneira eficaz de avaliar erros de inclusão (erros de comissão) e erros de exclusão (erros de omissão) presentes na classificação. Também, uma situação ideal, seria aquela na qual todos os elementos da matriz, fora da diagonal fossem iguais a zero, indicando que erros na fase de classificação não foram cometidos (CONGALTON *et al.*, 1983).

Congalton *et al.*, (1983) afirmam que o índice de Exatidão Global é o uso mais comum da matriz de confusão para avaliação de precisão. No entanto, técnicas estatísticas adicionais estão sendo utilizadas para avaliar ainda mais a precisão da classificação. Assim, métodos de acurácia podem ser divididos em dois grupos: análise de variância e análise multivariada discreta (muitas vezes chamada análise de tabela de contingência).

A análise de variância utiliza apenas os elementos diagonais na matriz de erros. Além disso, a técnica exige que os dados sejam normalmente distribuídos. Todavia, os dados de classificação são discretos, seguindo uma distribuição binomial. No entanto, outra suposição de análise de variância é que as categorias na matriz de confusão são independentes. Esta suposição muitas vezes não é atendida em dados de sensoriamento remoto devido à confusão entre categorias (CONGALTON *et al.*, 1983).

A análise multivariada discreta, por outro lado, não assume que as categorias sejam independentes, nem exigem qualquer transformação dos dados. Em vez disso, essas técnicas são projetadas especificamente para lidar com dados categóricos. A análise multivariada discreta também usa toda a matriz de erros e não apenas os elementos diagonais (CONGALTON *et al.*, 1983).

Congalton *et al.*, (1983) explicam que a análise multivariada discreta é uma técnica apropriada porque é projetada para a análise de dados discretos, como os dados de classificação, pois correspondem a uma categoria particular de cobertura da terra ou não. Por exemplo, um pixel pode ser classificado como pinho, madeira ou água, mas não como meio pinho e meia água.

Também em seu trabalho, Congalton *et al.*, (1983), avaliaram três métodos diferentes de comparação de matrizes de erro usando técnicas de análise multivariada discreta. O primeiro método permite a comparação direta de matrizes de erro através de um processo chamado de normalização. O segundo método calcula uma medida de concordância entre matrizes de erro que podem ser usadas para testar se as matrizes são significativamente diferentes. O terceiro método prevê o exame simultâneo de todos os fatores que afetam a classificação. Destes

métodos, Ponzoni e Almeida (1996) afirmam que o segundo método que se refere ao índice Kappa (K) é utilizado com frequência. Os autores esclarecem que este índice é utilizado como medida de concordância entre o mapa e a referência adotada para a estimativa da exatidão.

O índice Kappa foi desenvolvido por Cohen (1960) para escalas nominais que medem o relacionamento além da concordância por puro acaso com o desacordo esperado. Esta medida de concordância utiliza todas as células da matriz, e não apenas elementos diagonais. O índice Kappa (K) é a proporção de concordância após a concordância por puro acaso ter sido removida da consideração (ROSENFELD & FITZPATRICK-LINS, 1986).

Cohen indica  $K = 0$  quando a concordância obtida é igual a concordância por puro acaso. Os valores positivos de Kappa ocorrem quando a concordância é maior do que o acaso e os valores negativos de Kappa ocorrem quando a concordância é menor do que o acaso. O limite superior de Kappa (+ 1.00) ocorre apenas quando há concordância perfeita. O limite inferior do Kappa depende das distribuições marginais e provavelmente não terá interesse prático (ROSENFELD & FITZPATRICK-LINS, 1986).

De acordo com Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), o índice Kappa é mostrado como uma medida de precisão para a classificação temática como um todo e também uma medida de precisão para categorias individuais. Assim, o índice Kappa é um dos poucos que também são justificáveis como coeficientes de correlação intraclasse.

Isto posto, optou-se pelo índice Kappa, considerado o mais apropriado para validação dos mapas temáticos deste trabalho, visto que a análise da correlação das classes individuais, especialmente no que concerne às áreas urbanas, também é um fator importante, devido este ser o principal alvo estudado neste trabalho.

O próximo capítulo relata a metodologia utilizada para alcançar os objetivos do presente estudo, e envolve aspectos da correção atmosférica e normalização radiométrica, classificação e validação das imagens Landsat.

#### 4 CAPÍTULO III - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.

A fim de atender a proposta do presente trabalho foi necessária, primeiramente, a realização de pesquisa bibliográfica dentre fontes primárias e secundárias acerca de trabalhos relevantes relacionados com o tema da pesquisa como: autômatos celulares, sensoriamento remoto, detecção de mudanças, classificação baseada em objeto, características do município de Paraty, conflitos por terra, políticas públicas de turismo, gentrificação, e outros. O fluxograma a seguir (figura 25) sintetizada as etapas necessárias para o desenvolvimento deste trabalho e para o alcance do objetivo final que é a criação dos cenários futuros da expansão urbana em Paraty.

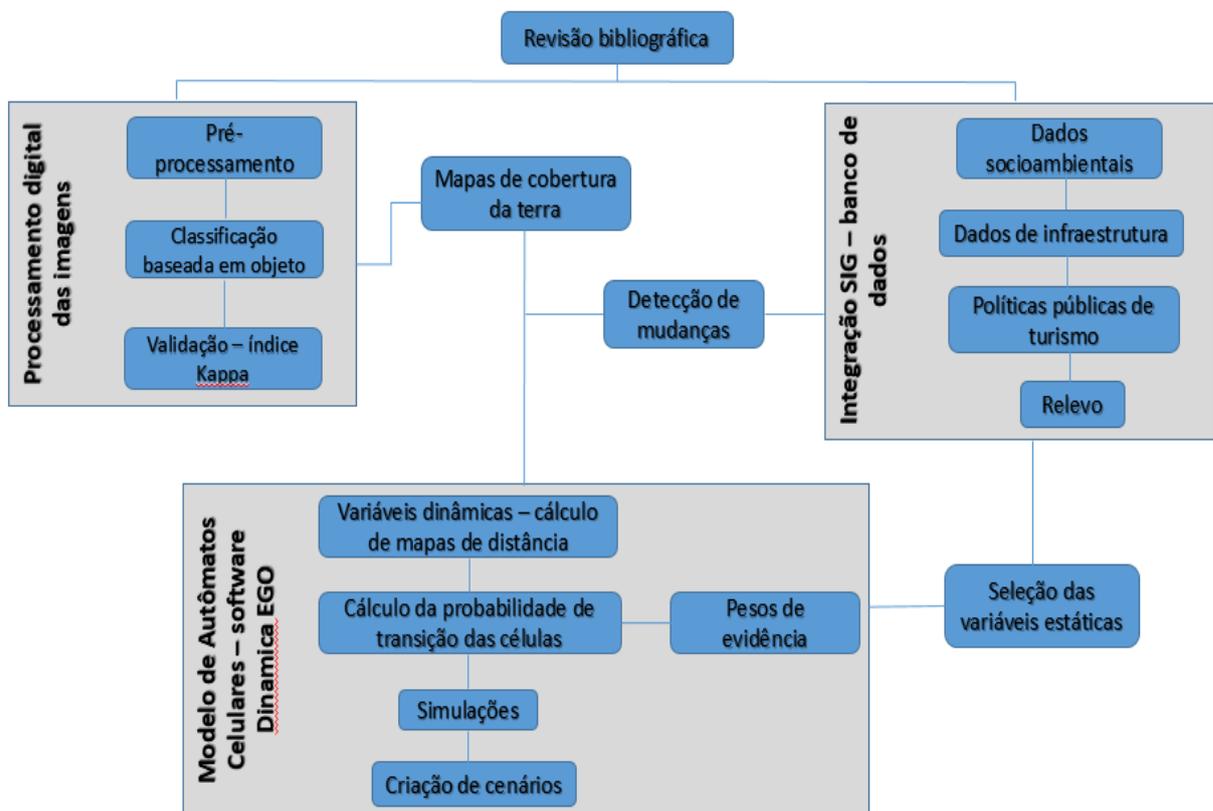


Figura 25: Fluxograma metodológico.

Para a detecção de mudanças foi necessário a escolha e o tratamento de 04 cenas Landsat. Optou-se pelas imagens da série Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) por ser um programa de longa duração, lançado em 1972, possibilitando assim, a aquisição de imagens do início da urbanização de Paraty, que se deu após a implantação da rodovia Rio-Santos na década de 1970.

As imagens foram adquiridas gratuitamente no site da earthexplorer.usgs.gov com características indicadas abaixo (quadro 04):

Quadro 04: Características do Landsat 5 e Landsat 8.

<b>Data</b>	<b>Série (órbita/ponto)</b>	<b>Resolução espacial</b>	<b>Resolução radiométrica</b>	<b>Resolução espectral</b>	<b>Resolução temporal</b>
21/05/1985	Landsat TM 5 (218/76)	30m	8 bits	Bandas de 1 a 7	16 dias
20/07/1994	Landsat TM 5 (218/76)	30m	8 bits	Bandas de 1 a 7	16 dias
03/08/2005	Landsat TM 5 (218/76)	30m	8 bits	Bandas de 1 a 7	16 dias
31/08/2015	Landsat OLI 8 (218/76)	30m	16 bits	Bandas de 1 a 9	16 dias

Fonte: Adaptado de landsat.usgs.gov, 2018.

O período de cobertura das imagens é de 30 anos com intervalo de aproximadamente 10 anos e procurou-se escolher datas próximas para diminuir a influência do clima, iluminação da cena e etc.

#### 4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Em relação ao pré-processamento, as imagens Landsat distribuídas pela Earth Explorer já apresentam algumas correções, como a ortorretificação, por isso, as imagens utilizadas neste trabalho passaram apenas pelo processo de correção atmosférica e normalização radiométrica como será descrito a seguir.

##### 4.1.1 Correção atmosférica.

A correção atmosférica neste trabalho realizou-se por meio do módulo ATCOR contido no software PCI-Geomatica com o uso do algoritmo MODTRAN. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), o MODTRAN é um modelo de transferência radiativa e possui como principal vantagem o fato de considerar também o fenômeno de absorção da radiação eletromagnética. Este algoritmo é utilizado para resgatar valores originais ou próximos de Reflectância de Superfície dos alvos (Rubim *et al.*, 2015). A Reflectância de Superfície deriva da Reflectância Hemisférica ou FRB aparente (PONZONI *et al.*, 2012)

A FBR aparente (Fatores de Reflectância Bidirecional) é calculada a partir da Radiância aparente, que é registrada nos sensores orbitais como Números Digitais (ND). Logo, os métodos

de correção atmosférica transformam os ND em valores de radiância e calculam a reflectância de superfície a partir das informações fornecidas de acordo com o modelo. Com a Reflectância Aparente os alvos podem ser caracterizados conforme seu comportamento espectral (RUBIM *et al.*, 2015).

No PCI-Geomatica, o ATCOR é o algoritmo central de correção atmosférica, reduzindo a influência da atmosfera (vapor d'água e tipo de aerossol), iluminação solar, geometria de visualização do sensor e iluminação do terreno nos números digitais que compõem a imagem óptica. Este método é aplicável a sensores ópticos com um pequeno ângulo de varredura onde os efeitos do ângulo de varredura no brilho e na transmitância são desprezíveis. O método calcula a reflectância do solo para cada pixel, em cada banda espectral. No PCI-Geomatica, o assistente preenche automaticamente a maioria dos parâmetros necessários usando os metadados da imagem, contudo, é possível alterar as condições atmosféricas, o tipo de aerossol, a visibilidade e a altura (PCIGEOMATICS, 2016).

Para a correção atmosférica neste trabalho foi alterado apenas o modelo atmosférico, que determina o nível de umidade utilizado para estimar a coluna de vapor de água, no qual foi escolhido *verão em latitudes médias*, com um conteúdo total de vapor de água de 2,92 (g cm<sup>-2</sup>) e o modelo de aerossóis, utilizando o modelo *rural*, que representa as condições de aerossol encontradas em áreas continentais que não são diretamente influenciadas por fontes de aerossóis urbanos e / ou industriais. Este fundo de aerossol continental e rural é em parte o produto de reações entre vários gases na atmosfera (70%) e em parte devido a partículas de pó recolhidas da superfície (30%) (PCIGEOMATICS, 2016).

Através do comportamento espectral dos alvos, foram construídos gráficos para analisar o valor de reflectância dos mesmos, comparando a imagem corrigida com a imagem original em TOA.

Para tanto, foram escolhidas 05 amostras das classes água, vegetação e áreas urbanas para cada cena e plotadas no software ArcGis 10.1. Os valores de reflectância de cada alvo foram extraídos com a utilização da ferramenta *Extract Multi Values to Points*.

Após a análise dos gráficos, constatou-se que a imagem de 2005 apresentou um comportamento espectral mais próximo daquele descrito por Jensen (2009), para água pura, vegetação e áreas urbanas. Logo, a normalização radiométrica foi realizada a partir desta imagem.

#### 4.1.2 Normalização radiométrica.

Para Paolini *et al.*, (2006), quando se utilizam imagens multisensores e múltiplas datas para detecção de mudanças com o método de pós-classificação, pode-se deparar com resultados errados devido às diferenças nas características radiométricas das imagens.

Ao usar imagens de duas ou mais datas para detecção de mudanças, um determinado alvo pode ter respostas radiométricas diferentes de um sensor ao longo do tempo, devido a vários fatores, incluindo:

- Alterações na calibração do sensor do satélite ao longo do tempo;
- Diferenças na resposta radiométrica relativa entre sensores;
- Diferenças nos ângulos de iluminação e de observação;
- Variação dos efeitos atmosféricos;
- Anisotropia de reflectância;
- Topografia; E
- Mudanças reais na reflectância do alvo (PAOLINI *et al.*, 2006).

O objetivo das correções radiométricas é remover ou compensar todos os efeitos supracitados, exceto para as mudanças reais no alvo terrestre (PAOLINI *et al.*, 2006).

Também segundo Coppin *et al.*, (2004), para uma detecção de mudanças bem sucedida, uma resposta radiométrica comum é necessária para a análise quantitativa de uma ou mais pares de imagens adquiridas em datas diferentes.

Para muitas aplicações de detecção de mudanças, a correção radiométrica absoluta é desnecessária, mas as variações nas condições de iluminação solar, na dispersão e absorção atmosféricas e no desempenho do detector precisam ser normalizadas ou, em outras palavras, as propriedades radiométricas de uma dada imagem precisam ser ajustadas para de uma imagem de referência (COPPIN *et al.*, 2004).

A normalização radiométrica é baseada em dois passos:

- 1) aquisição de um conjunto de dados de controle caracterizado pela baixa ou nenhuma variação em seus valores de reflectância média entre as imagens; 2) determinação empírica dos coeficientes para transformação linear de todas as imagens em relação aos dados de referência (HALL *et al.*, 1991 APUD PONZONI, 2009, p. 76).

Esses dados de controle são constituídos por valores de FRB considerados invariantes ao longo do tempo, compostos por objetos claros e escuros em cada banda espectral fato que

permite uma regressão linear para nova definição dos valores dos FRB intermediários (PONZONI, 2009).

Assim, a normalização radiométrica foi realizada com o uso do software livre e gratuito R<sup>4</sup>, que fornece uma grande variedade de estatística e de técnicas gráficas.

Seguindo os passos supracitados, foram escolhidos 300 pontos invariantes (figura 26) como solo exposto, estradas, corpos d'água, sombras, sendo 150 claros e 150 escuros. Esse processo foi realizado em toda série temporal e uma data de referência foi escolhida, neste caso a imagem de 2005 que apresentou os melhores resultados após a correção atmosférica. Logo, esta será a referência para normalizar as demais datas (1985, 1994 e 2015) que serão utilizadas em sua forma original.

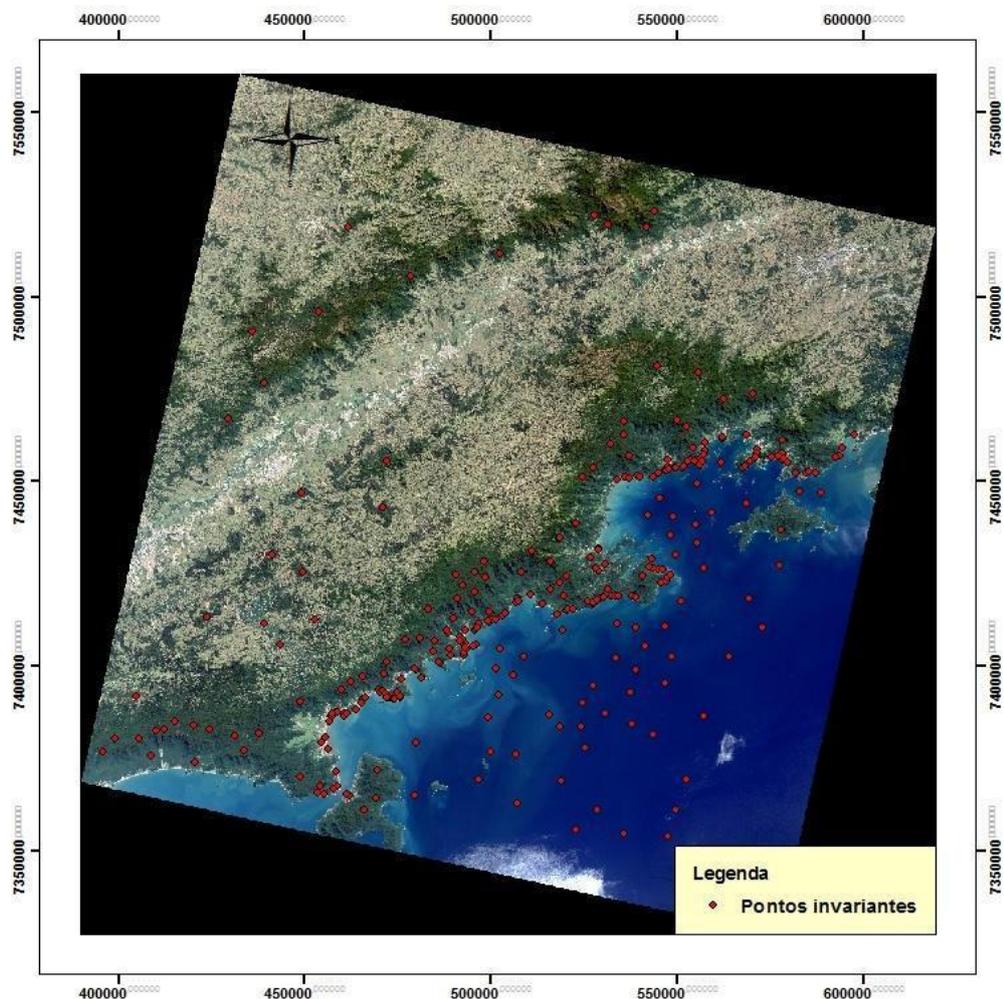


Figura 26: Distribuição dos 300 pontos invariantes.

<sup>4</sup> O software R está disponível para download em: < [www.r-project.org/](http://www.r-project.org/)>.

Para realização da normalização radiométrica foi necessário transformar os valores físicos das imagens em valores inteiros, assim como a resolução radiométrica que passou de 32 bits para 16 bits, para que assim, os valores das imagens pudessem ser reconhecidos pelo R.

Concluído o pré-processamento das imagens, iniciou-se a classificação das mesmas através da classificação baseada em objetos no software eCognition 9.0 para posteriormente ser possível realizar a detecção de mudanças e geração do perfil de expansão das áreas de mudança.

#### 4.2 CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETOS.

Para detecção de mudanças optou-se pelo método pós-classificação com a classificação separada das imagens, para que o mapa temático de cada data se constitua em um dado de entrada para o modelo de AC.

Como não existe relação entre as imagens para detecção de mudanças, a normalização radiométrica poderia ser descartada, contudo, a escolha de mantê-la possibilita a comparação com outros métodos de detecção de mudanças.

De acordo com Hay e Castilla (2008), a abordagem baseada em objetos possui vantagens em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagens por considerar regiões de pixels, ao invés de pixels isolados. Deste modo, descreve-se cada região de acordo com as características do objeto (área, altura, largura, densidade, altura da borda, e outros), assim como, textura, relações entre objetos vizinhos e etc. Desta forma, obtém-se um aumento significativo no número de variáveis consideradas na classificação, pois esta não se fundamenta apenas em informações espectrais.

O software utilizado, eCognition Developer 9.0, considera a imagem como de natureza fractal e a segmentação da mesma resulta em segmentos ou objetos (conjunto de *pixels*) que, de acordo com parâmetros espectrais, de forma e outros, podem ser reagrupados em objetos maiores ou “super-objetos”, sendo homogêneos quanto aos procedimentos estipulados, e representados por meio de redes semânticas. Cada segmento é associado a uma classe (abstrata) e essa classificação inicial pode ser remapeada. Outra característica do eCognition consiste na construção de uma rede hierárquica de objetos de imagens, que permite de modo simultâneo representar o conteúdo de informações da imagem em diferentes resoluções. Ao operar nas relações entre os objetos da rede é possível classificar ou reclassificar informações de contexto local (RIBEIRO & KUX, 2009).

Assim, ao criar o projeto para classificação das imagens foram inseridas as bandas B1, B2, B3, B4, B5 e B7 para as cenas do Landsat 5 e B2, B3, B4, B5, B6 e B7 para o Landsat 8.

Também foi realizado o cálculo para o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) e o Índice de Diferença Normalizada do Urbano (NDBI) para todas as datas.

Por conseguinte, as imagens foram segmentadas com o uso do algoritmo *Multiresolution Segmentation* e os parâmetros: fator de escala 40, forma 0.4 e compacidade 0.7 para todas as imagens. Os resultados foram alcançados de forma heurística e apreciados por meio de avaliação visual.

A segmentação mostrou-se satisfatória em função do interesse do trabalho, ou seja, segmentar as áreas urbanas. Todavia, alguns núcleos urbanos mais dispersos e com forte presença de vegetação não foram segmentados de forma conveniente.

Em relação à rede hierárquica de classificação, as mesmas classes foram geradas para todas as imagens, a saber: água, floresta, vegetação rasteira, sombra, áreas urbanas e praia. E foram organizadas como segue:

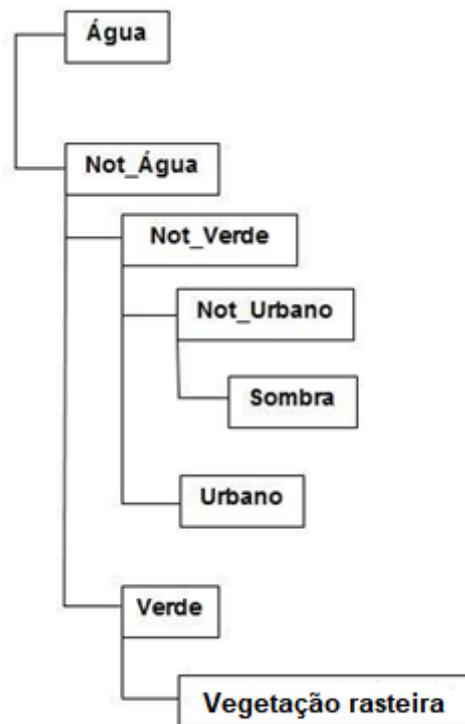


Figura 27: Classe hierárquica.

Para classificação, os descritores a seguir foram os que apresentaram melhor resultado:

- Água – NDWI (classificador *fuzzy*).
- Floresta – NDVI (classificador *fuzzy*).
- Vegetação rasteira – banda 3 (algoritmo *assign class*).
- Áreas urbanas – NDBI (classificador *fuzzy*).
- Sombra – brilho (algoritmo *assign class*).

Segundo Almeida *et al.*, (2014), o algoritmo *assign class* trata da relação de classes entre segmentos contidos no mesmo nível na hierarquia do segmento. O descritor *fuzzy*, de acordo com Zadeh (1965), expressa o grau para o qual um elemento pertence a um conjunto utilizando uma função de pertinência. Após a classificação foi necessário realizar a edição das classes. Concluído esta etapa, as imagens foram exportadas com o formato *shapefile* por apresentar um resultado mais estético e raster para ser utilizado como dados de entrada para o modelo de autômato celular.

No ArcGis 10.1 os mapas de cobertura da terra gerados foram editados e a classe sombra foi agregada a classe floresta. Posteriormente foi realizada a análise espacial dos pares das imagens (1985-1994; 1994-2005; 2005-2015) por meio da ferramenta *union*, sendo possível verificar a evolução temporal das classes mapeadas, gerando novos mapas considerando apenas as áreas urbanas, com as classes urbano consolidado e expansão urbana.

Também após a edição manual dos mapas foi aplicado o índice Kappa para verificar a acurácia alcançada em relação a verdade terrestre, analisada por meio das imagens históricas do Google Earth.

#### 4.3 APLICAÇÃO DO ÍNDICE KAPPA.

Produtos temáticos derivados de dados de sensoriamento remoto tornaram-se frequentes, e com eles, a necessidade de procedimentos que estabeleçam estimativas da exatidão dos mesmos. Segundo Ponzoni e Almeida (1996), as matrizes de erros ou de contingência, constituídas por igual número de linhas e de colunas, tem determinado a exatidão de mapas temáticos, e estas comparam o resultado da classificação (visual ou digital) de um produto de sensoriamento remoto, ou seja, o mapa temático, e a verdade terrestre ou outra informação estipulada como referência. Um procedimento amostral é realizado para efetuar esta comparação, no qual um certo número de pontos ou pixels pertencentes a uma dada classe (tema) são verificados em campo ou em outro mapa, considerado como referência, no sentido de comprovar ou não a atribuição correta destes a classe em questão.

Elaborada a matriz de erros, são várias as possibilidades para a estimativa da exatidão de um mapa temático como Exatidão Global, índice Kappa (K), índice TAU (T) e outros. Contudo, para este estudo, o índice aplicado foi o Kappa, devido este considerar todos os elementos da matriz, diferente do índice de Exatidão Global que considera apenas aqueles que se situam na diagonal principal (GONG & HOWARTH, 1990).

Segundo Banko (1998) para interpretar a fórmula do índice Kappa a formulação que segue é a mais útil:

$$\hat{k} = (p_0 - p_c) / (1 - p_c)$$

Onde:

$p_0$  = concordância global observada

$p_c$  = concordância por puro acaso

Em relação ao procedimento amostral, foi utilizado a ferramenta *create random points* do ArcGis 10.1. Esta ferramenta cria um número específico de pontos aleatórios que podem ser aplicados em feições como polígonos, pontos ou ao longo de linhas. Para este estudo foram gerados 30 pontos aleatórios para cada classe, exportados para o formato *kml* por meio da ferramenta *layer to kml* também presente no ArcGis 10.1, devido esta ser a extensão compatível com o Google Earth. Com os pontos adicionados ao referido programa, foi realizada a comparação entre os mapas temáticos e as imagens históricas do Google Earth correspondente a data de cada mapa, ou seja, imagens de 1985, 1994, 2005 e 2015. A etapa seguinte consistiu no preenchimento da matriz de confusão através da contagem visual dos erros de omissão e comissão a partir dos pontos amostrados, e por fim, a fórmula referente ao índice Kappa foi aplicada.

#### 4.4 TRABALHO DE CAMPO

Para conhecer e analisar a área de estudo foram realizados dois campos no município de Paraty. O primeiro no período de 01/12/16 a 04/12/16 para conhecer determinadas áreas com expansão urbana recente como Graúna e Praia Grande e comunidades tradicionais que possuem no turismo uma forma organizada de atividade econômica como o Quilombo do Campinho e a comunidade caiçara de Trindade. Nestas comunidades pode-se conhecer um pouco da vivência das mesmas e as dificuldades encontradas para manutenção do território. Outros locais visitados foram o Centro Histórico e arredores.

O segundo campo ocorreu no período de 05/02/2018 a 07/02/2018, após a criação dos cenários futuros, com o objetivo de analisar as áreas que apresentaram crescimento urbano como Taquari, São Roque, as baixadas próximas a BR-101, Jabaquara, Portal das Artes, Pantanal, Pedra Branca, Independência e Novo Horizonte. Também se realizou entrevistas não estruturadas nas secretarias de Urbanismo, Meio Ambiente e de Turismo em Paraty, assim como no INEA em Angra dos Reis. As entrevistas visavam identificar projetos em vias de implantação ou futuros no município, principalmente aqueles contidos no Plano Estratégico de

Turismo. Os projetos turísticos, especialmente os que propõem a urbanização de áreas turísticas não puderam ser discutidos na Secretaria de Turismo, devido a indisponibilidade de horário dos funcionários responsáveis.

## 5 CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta o resultado de todas as aplicações dos métodos explicitados no capítulo 3 a saber: a correção atmosférica e normalização radiométrica das imagens Landsat, classificação das imagens e por fim, a criação dos cenários futuros da mancha urbana. Logo, este capítulo inicia-se pelo resultado e avaliação da correção atmosférica.

### 5.1 ANÁLISE DA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA POR TRANSFERÊNCIA RADIATIVA.

Através dos gráficos gerados com a resposta espectral dos alvos água, vegetação e urbano para as quatro datas (1985, 1994, 2005 e 2015), pode-se apontar os seguintes resultados.

O comportamento espectral da vegetação (figura 28) se mostrou parecido nas três primeiras datas (85, 94 e 2005), apresentando maior valor de absorção de aproximadamente 5% em  $0,48 \mu\text{m}$  e  $0,66 \mu\text{m}$  e ascendendo cerca de 10% em  $0,56 \mu\text{m}$ . O maior valor de reflectância foi atingido na faixa de  $0,83 \mu\text{m}$  para todos os anos, com valores próximos a 33% para os anos de 85 e 94, 31% para 2005 e 28% para 2015. Em seguida, a curva decresce até  $2,22 \mu\text{m}$ . Nota-se, que a curva de 2015 apresentou um comportamento diferenciado na faixa do visível, apresentando maior valor de absorção nas faixas de  $0,56 \mu\text{m}$  e  $0,66 \mu\text{m}$  de aproximadamente 2%.

De acordo com Jensen (2009), as folhas verdes saudáveis absorvem energia radiante eficientemente nas porções do azul e do vermelho, pois são regiões espectrais necessárias para a fotossíntese. Já na região do infravermelho próximo, a vegetação verde saudável é comumente caracterizada por uma alta reflectância (40 – 60%), alta transmitância (40 – 60%) e baixa absorvância (5 – 10%).

Logo, os anos de 1985, 1994 e 2005 apresentaram uma resposta espectral mais próxima da vegetação verde saudável.

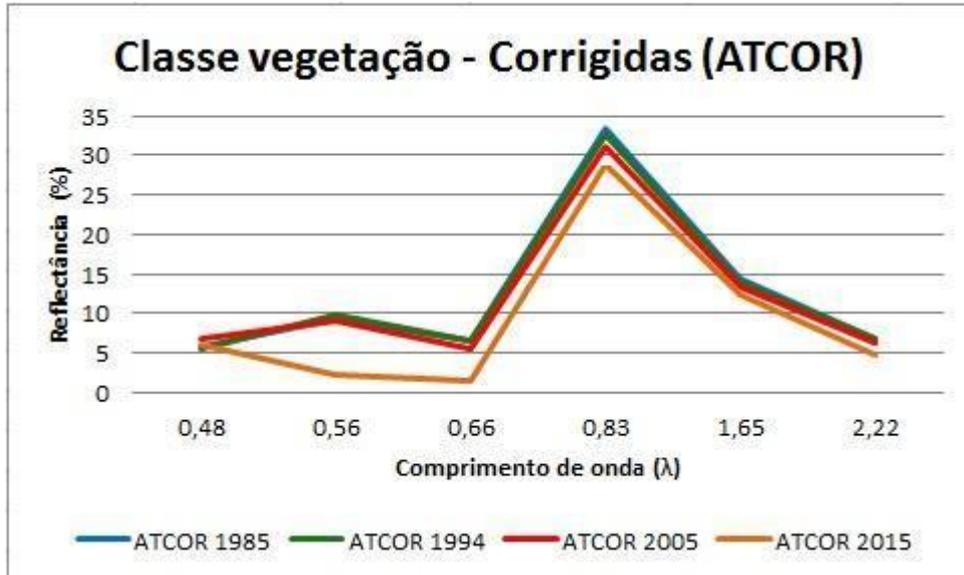


Figura 28: Imagens corrigidas pelo método ATCOR – Classe vegetação.

A figura 29 mostra a resposta espectral das imagens originais em TOA dos anos de 1985, 1994, 2005 e 2015. Percebe-se o aumento da reflectância, principalmente das faixas de 0,56 μm e 0,83 μm e a mudança do comportamento espectral do ano de 2015 após a correção.

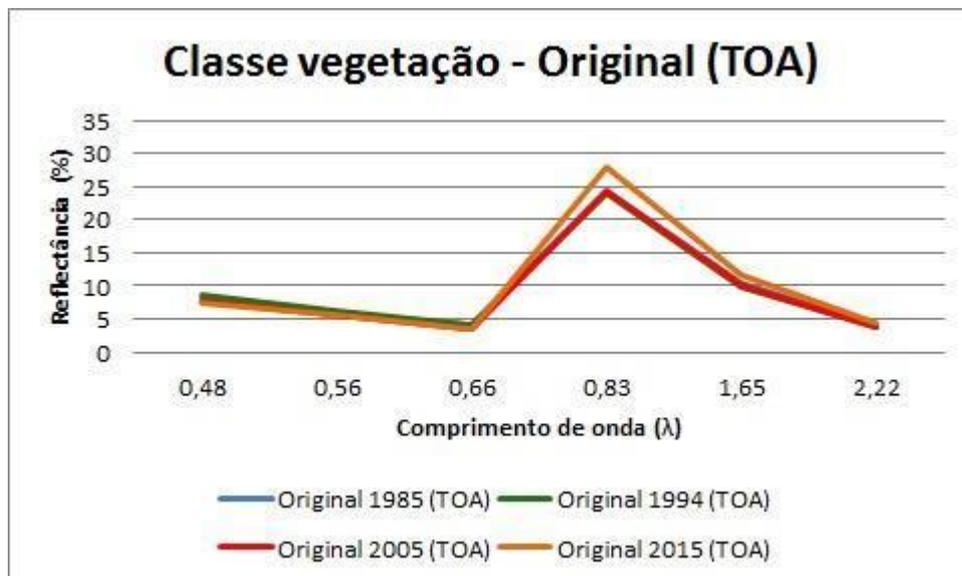


Figura 29: Imagens originais em TOA – Classe vegetação.

Segundo Jensen (2009) ao realizar estudos em corpos d'água por meio de sensoriamento remoto é necessário conhecer a mudança do comportamento espectral em águas puras e não puras (com presença de materiais orgânicos e inorgânicos).

Em relação ao comportamento espectral da água, Jensen (2009) afirma que a característica mais notável nos dados de absorção e espalhamento da água pura, é que a quantidade mínima de absorção e espalhamento da luz incidente na coluna d'água ocorre na

região do comprimento de onda do azul (400 a 500 nm), com o valor mínimo situado em aproximadamente 460 – 480 nm. Já no comprimento de onda do verde e do amarelo (520 a 580 nm), a luz incidente é muito bem absorvida e ocorre pouco espalhamento. Na faixa do laranja e vermelho (580 a 740 nm) o espalhamento da energia torna-se insignificante quando comparado com a absorção. E a respeito do infravermelho próximo e médio (740 a 3000 nm), quase todo o fluxo radiante incidente é absorvido.

O autor também alerta sobre a variedade de constituintes orgânicos presentes em corpos d'água como a clorofila *a* do fitoplâncton, e inorgânicos como minerais em suspensão na água. A maior parte dos sedimentos em suspensão encontra-se em corpos d'água interiores ou costeiros (BUKATA *et al.*, 1995 *apud* JENSEN, 2009).

Com isso, baseado em experimentos como o de Lodhi *et al* (1997), Jensen (2009) relata que em corpos d'água com sedimentos o pico de reflectância desloca-se para maiores comprimentos de onda na faixa do visível. “Mais fluxo radiante no verde, vermelho e infravermelho próximo é refletido do corpo d'água e registrado pelo sistema de sensoriamento remoto” (JENSEN, 2009, p 418). E em uma imagem, um corpo d'água com sedimentos em suspensão irá aparecer mais claro do que um corpo d'água próximo sem qualquer sedimento em suspensão (JENSEN, 2009).

Em relação à clorofila, o aumento da mesma na coluna d'água, acarreta em um significativo decréscimo na quantidade relativa de energia refletida na região do azul e do vermelho e um aumento na reflectância do verde (JENSEN, 2005).

Logo, ao analisar a figura 30, nota-se um comportamento espectral mais parecido entre as imagens de 85, 94 e 2005, com menores valores de absorção de 0,48  $\mu\text{m}$  a 0,56  $\mu\text{m}$ , quando a curva desce até 0,66  $\mu\text{m}$  e após de maneira mais suave até 1,65  $\mu\text{m}$  e se mantém até 2,22  $\mu\text{m}$ .

A curva espectral da imagem de 2015 se mostrou diferente, apresentando uma queda mais brusca entre 0,48  $\mu\text{m}$  e 0,56  $\mu\text{m}$ , descendo até 0,66  $\mu\text{m}$ , quando se mantém em 0% até 2,22  $\mu\text{m}$ .

Assim, de acordo com a elucidação de Jensen, a imagem de 2005 apresentou um comportamento espectral mais próximo da água pura, já que as imagens de 85 e 94 apresentaram uma reflectância maior ao longo da curva, com um leve aumento na faixa do verde, podendo significar presença de clorofila ou sedimentos em suspensão.

Já a imagem de 2015 apresentou uma queda muito brusca na faixa do verde, e uma reflectância nula no comprimento de onda do vermelho em diante, e de acordo com a bibliografia o aumento da absorção na faixa do verde até os maiores comprimentos de onda parece ser gradual até ser quase total no infravermelho próximo e médio.

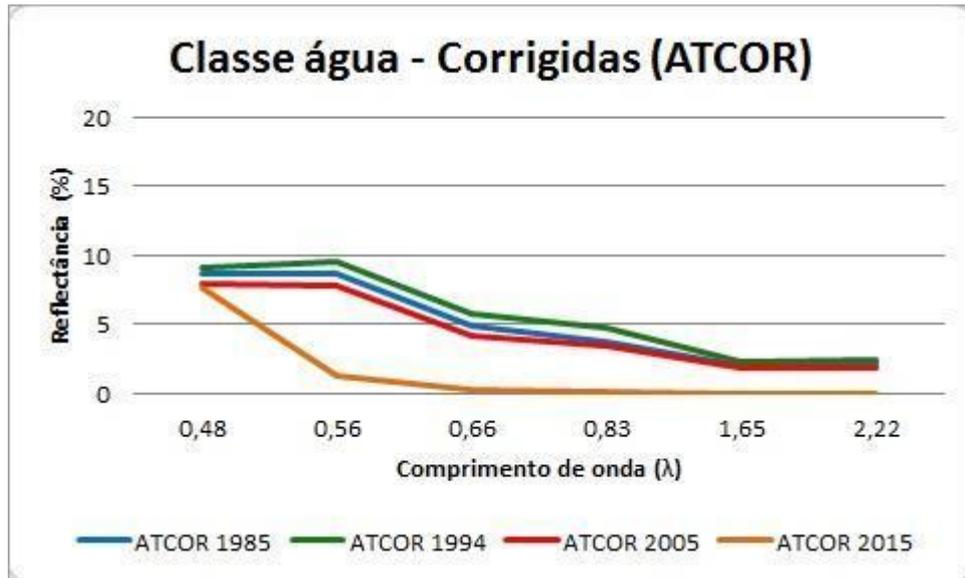


Figura 30: Imagens corrigidas pelo método ATCOR – Classe água.

Já as imagens originais em TOA (figura 31), apresentaram quase a mesma curva espectral. A faixa do verde demonstrou a maior diferença, pois após a correção atmosférica, seu valor de reflectância aumentou de forma considerável nos anos de 85, 94 e 2005 e diminuiu para o ano de 2015.

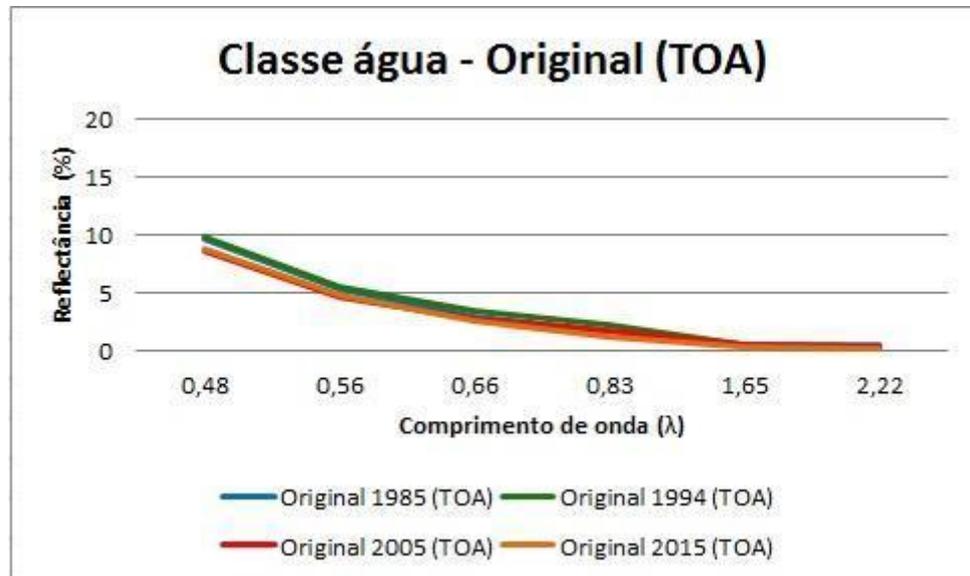


Figura 31: Imagens originais em TOA – Classe água.

Devido às paisagens urbanas serem compostas por um conjunto diversificado de materiais como concreto, asfalto, metal, plástico, telhas de madeira, vidro, água, grama, vegetação arbustiva, árvores e solos (Jensen, 2009), as respostas espectrais variam de acordo com o alvo urbano estudado.

Contudo, segundo Jensen (2009), a cobertura referente à área urbana, caracteristicamente, aparece como cinza-claro em imagens de composição colorida e falsa-cor porque “a superfície urbana, consistindo basicamente de vias de concreto e asfalto, áreas de estacionamento, telhas e solo exposto, reflete tipicamente altas parcelas de fluxo radiante incidente do verde, vermelho e IR próximo.” (JENSEN, 2009, p. 458).

Novamente, é notória a semelhança no comportamento espectral das imagens de 85, 94 e 2005 (figura 32) com maior valor de absorção em 0,48  $\mu\text{m}$ , logo a curva ascende até 0,56  $\mu\text{m}$ , se mantém até 0,66  $\mu\text{m}$  quando volta a ascender até atingir o maior valor de reflectância em 1,65  $\mu\text{m}$  e descende em 2,22  $\mu\text{m}$ .

Em comparação, a imagem de 2015 apresentou valor de reflectância menor na faixa do visível. Por isso, as imagens de 85, 94 e 2005 se aproximaram de forma mais apropriada da bibliografia supracitada.

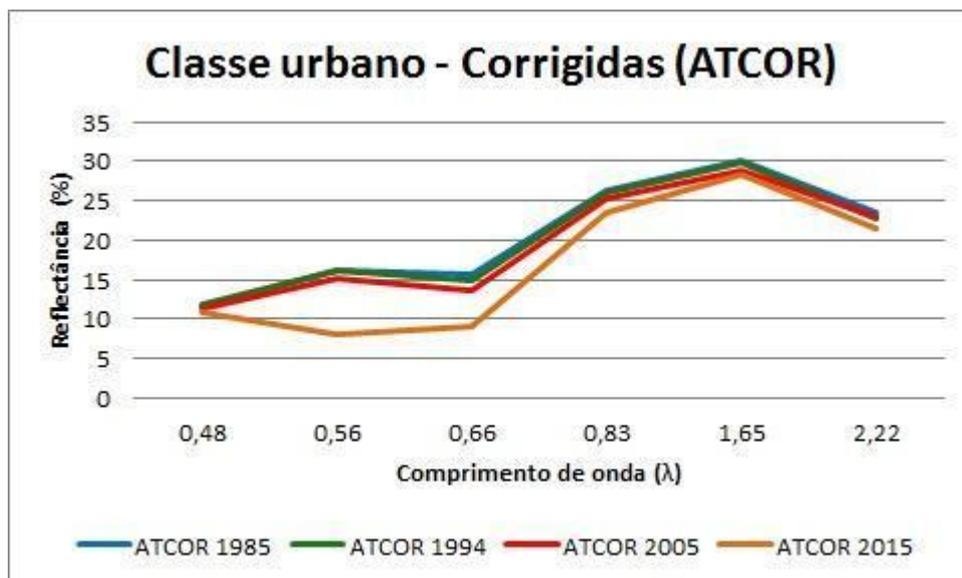


Figura 32: Imagens corrigidas pelo método ATCOR – Classe urbano.

As imagens originais em TOA (figura 33) demonstraram menor valor de reflectância na faixa do visível para todas as datas em relação às imagens corrigidas. As imagens de 85, 94 e 2005 alcançaram maior reflectância no canal do infravermelho, já a imagem de 2015 não apresentou alteração para o mesmo canal.

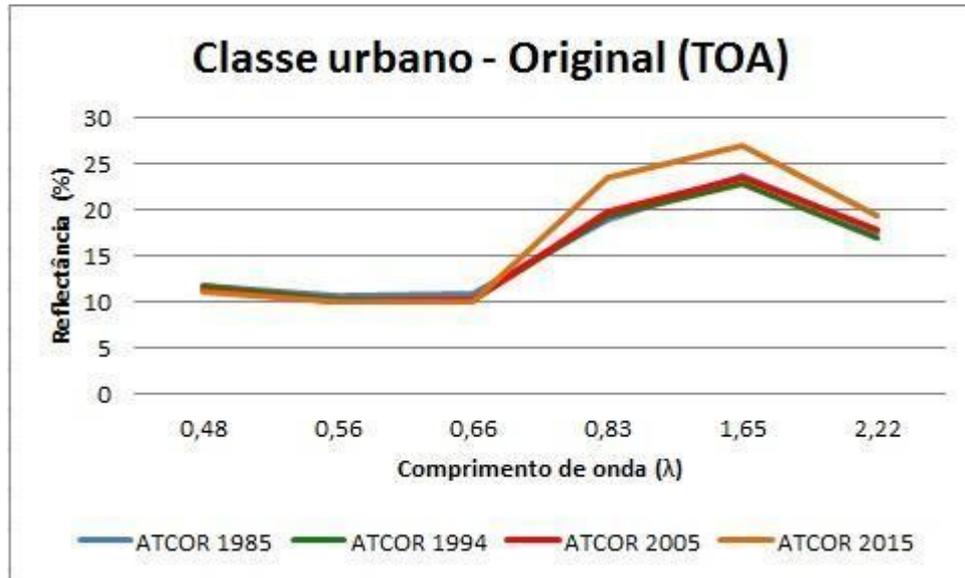


Figura 33: Imagens originais em TOA – Classe urbano.

Como demonstrado nas imagens acima, a correção atmosférica contribuiu para uma melhor resposta espectral dos alvos, com resultados semelhantes para os anos de 1985, 1994 e 2005. Contudo, a correção atmosférica pelo algoritmo MODTRAN não foi satisfatória para a imagem de 2015, já que não favoreceu uma melhor resposta espectral dos alvos, tendo as imagens originais, um comportamento espectral mais próximo daquela indicada na bibliografia de Jensen (2009) para todos os alvos estudados.

Dentre as imagens corrigidas, acredita-se que a de 2005 se sobressaiu em relação às demais para a classe água, por isso, a mesma será utilizada como parâmetro para a normalização radiométrica das demais imagens, fato que irá contribuir para que as mesmas apresentem uma resposta radiométrica comum, principalmente em relação a imagem de 2015, que apresentou maior discrepância de acordo com a bibliografia utilizada.

## 5.2 RESULTADOS DA NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA.

Para avaliação do resultado da normalização radiométrica foram selecionadas as mesmas 05 amostras utilizadas para correção atmosférica, foram gerados novos gráficos para verificar o comportamento espectral dos alvos e comparar o resultado da normalização para cada imagem.

Logo, a normalização radiométrica mostrou-se satisfatória, pois conseguiu reduzir a diferença entre as imagens, principalmente em relação à imagem de 2015 que demonstrava maior discrepância.

Percebe-se que as classes vegetação (figura 35) e urbano (figura 36) apresentaram os melhores resultados, e apenas a imagem de 1985 demonstrou uma resposta espectral um pouco diferenciada, provavelmente devido à diferença na calibração dos sensores.

A classe água (figura 34) foi a que apresentou o resultado mais desigual, talvez porque as amostras continham algum tipo de sedimento que foram mudando ao longo dos anos, e tornando os alvos não totalmente invariantes.

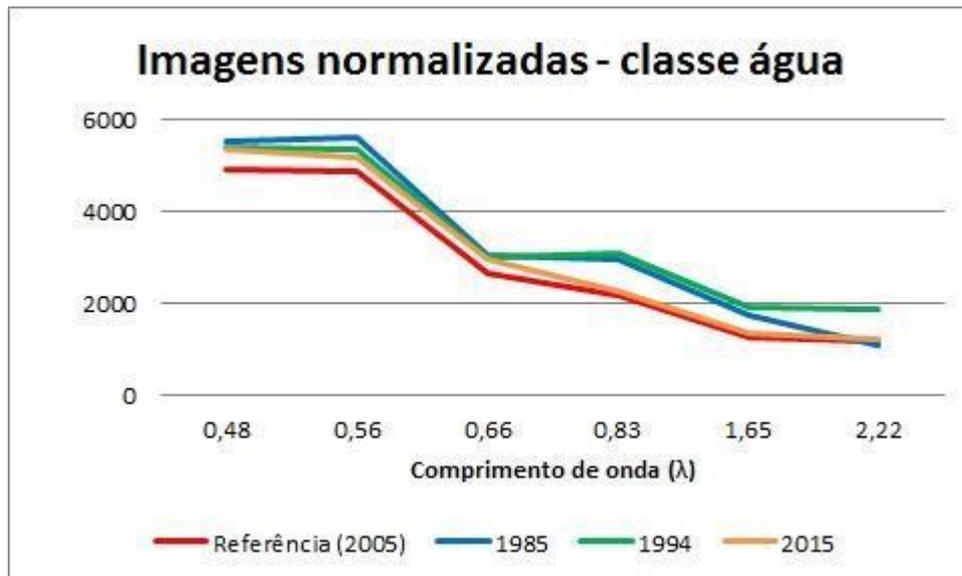


Figura 34: Classe água após a normalização.

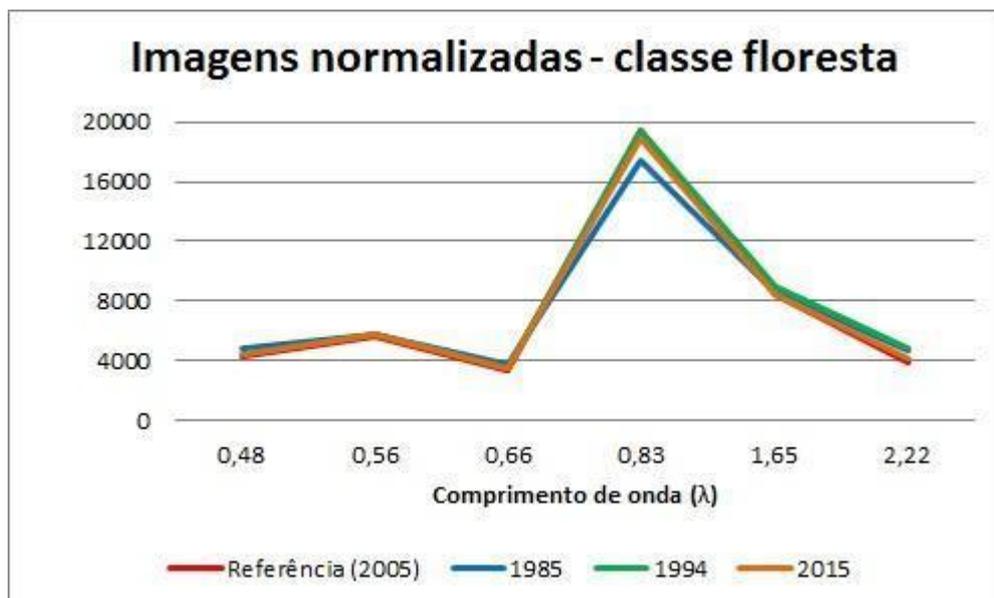


Figura 35: Classe floresta após a normalização.

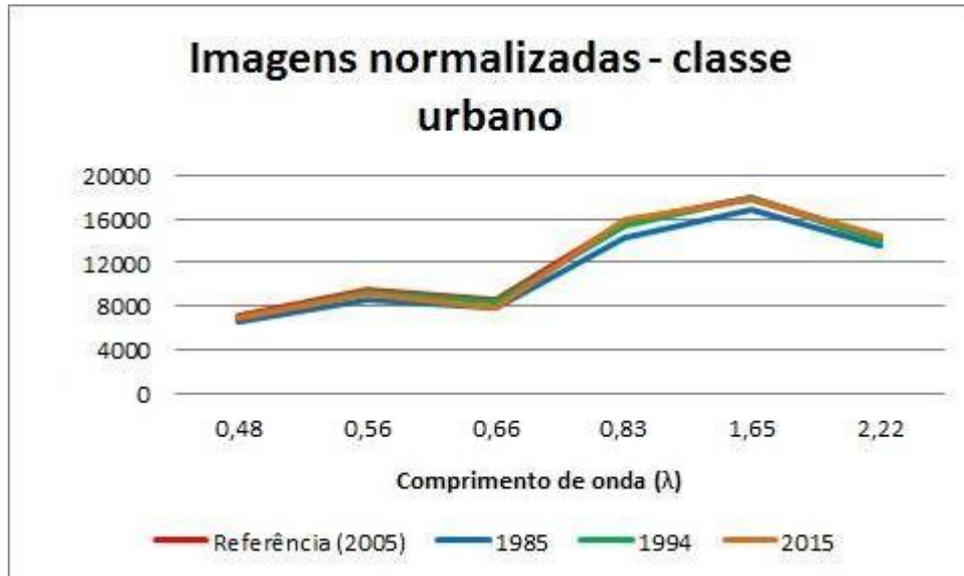


Figura 36: Classe urbano após a normalização.

### 5.3 AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS PELO ECOGNITION.

O presente tópico apresenta duas etapas diferenciadas: a primeira corresponde ao processo automatizado da classificação das imagens, identificando a eficiência alcançada pelo método utilizado, o esforço necessário para a edição manual de cada classe, e as principais confusões encontradas para classificação automática das áreas urbanas, que é a classe mais significativa para este estudo. Também para análise dos erros, elaborou-se mapas referentes as quatro datas estudadas neste trabalho com a distribuição espacial das confusões de edição, considerando tanto erros de omissão quanto de comissão das classes água, floresta, vegetação rasteira e áreas urbanas; a segunda parte desta, pois refere-se às edições manuais consideradas necessárias para alcançar a verdade terrestre.

No que concerne ao processo automatizado para a classificação das imagens (quadro 05), verifica-se que o software eCognition mostrou-se satisfatório, pois todas as imagens obtiveram mais de 96% de suas áreas classificadas automaticamente. O resultado positivo destas classificações é decorrente, principalmente, da simplicidade das classes escolhidas e da eficiência do sistema em separar as áreas de florestas e vegetação rasteira, já que mais 75% destas classes foram classificadas automaticamente, alcançando o percentual máximo de 99,28 em 2015 para a classe floresta e 91,36 em 2005 para a classe vegetação rasteira. O percentual da classe floresta não soma 100% pois as áreas de sombra que correspondiam a esta classe foram editadas automaticamente no ArcGis 10.1, já as áreas de sombra que correspondiam as demais classes foram editadas manualmente no eCognition.

<b>Quadro 05: Classificação automática e edição manual das imagens Landsat.</b>								
<b>Clas.</b>	<b>1985</b>		<b>1994</b>		<b>2005</b>		<b>2015</b>	
	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Autom.	891,59	96,46	901,87	97,48	906,10	98,02	899,79	97,34
Manual	32,66	3,53	22,43	2,42	18,22	1,97	24,53	2,65
<b>Classe Água</b>								
Autom.	2,86	40,50	4,50	62,15	3,84	51,54	4,05	48,73
Omissão	4,20	59,49	2,74	37,84	3,61	48,45	4,26	51,26
Comissão	0,004		0,96		1,07		0,14	
<b>Classe Floresta</b>								
Autom.	602,07	75,27	746,08	93,91	803,18	97,42	835,80	99,28
Omissão	1,69	0,21	3,70	0,46	4,65	0,56	1,37	0,16
Comissão	2,29		0,95		1,55		11,20	
<b>Classe Urbano</b>								
Autom.	0,63	15,18	1,72	36,98	2,73	46,42	5,95	59,14
Omissão	3,52	84,81	2,93	63,01	3,15	53,57	4,11	40,85
Comissão	3,16		9,47		6,19		8,27	
<b>Classe Vegetação rasteira</b>								
Autom.	89,96	80,63	105,56	90,35	78,41	91,36	49,44	78
Omissão	21,61	19,36	11,27	9,64	7,41	8,63	13,94	21,99
Comissão	2,39		4,55		3,86		3,55	

O maior esforço de edição manual corresponde a imagem de 1985 (figura 37) com 3,53% de sua área editada manualmente. É notório como as áreas urbanas representam o maior esforço de edição manual (84,81%) e, conseqüentemente, o menor valor quanto a classificação automática de 15,18%.

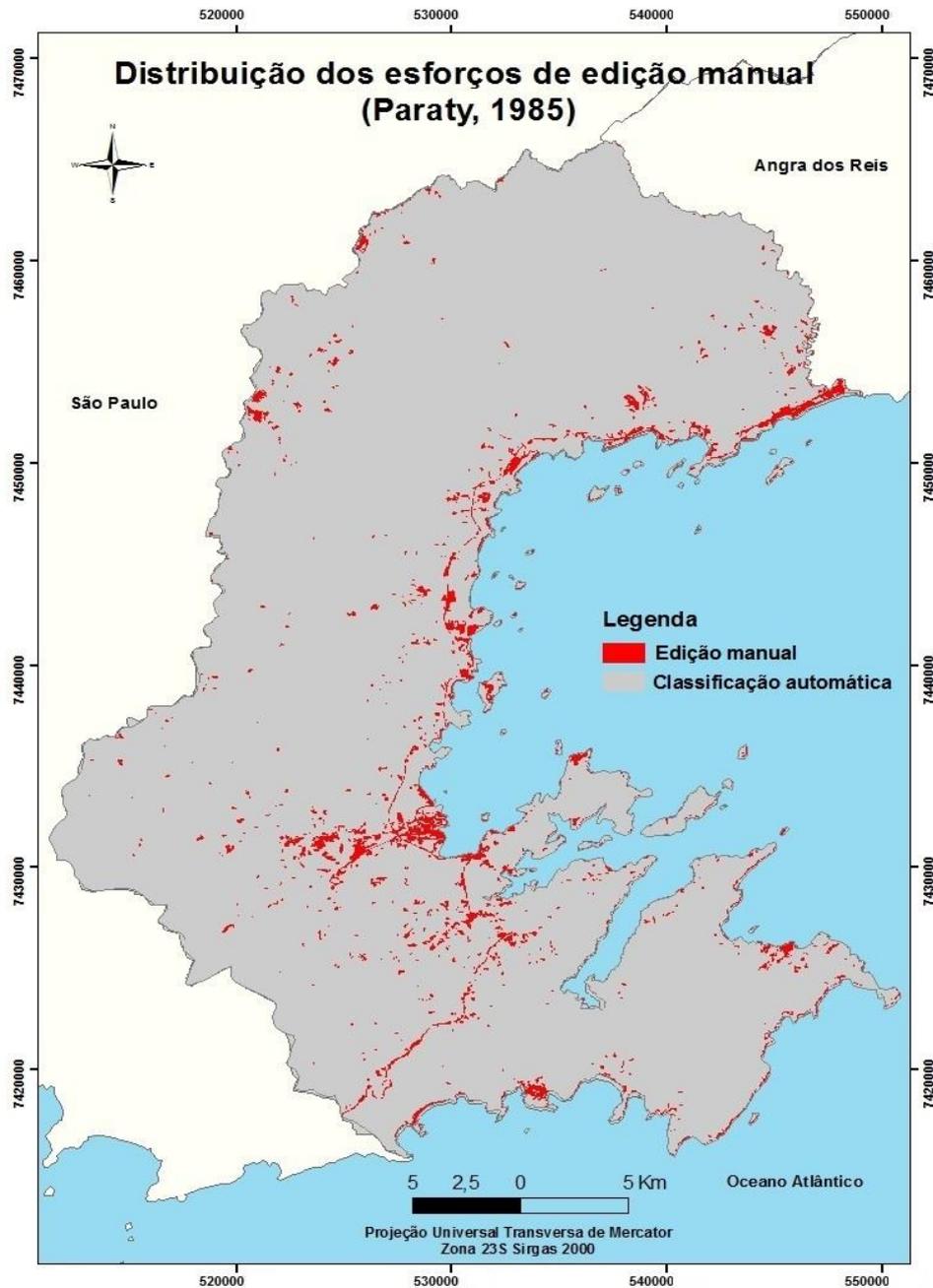


Figura 37: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 1985

O esforço de edição manual para a imagem de 1994 (figura 38) corresponde a 2,42% da área total. Evidencia-se a redução dos erros de omissão quanto às áreas urbanas (2,92%) e o aumento dos erros de comissão (9,47%), devido principalmente, o avanço de áreas de vegetação rasteira na Serra da Bocaina, classificadas como urbano.

Sobre a classe água o melhor resultado encontrado foi na imagem de 1994 com 62,15% da classe classificada de forma automática. O menor valor de 40,50% corresponde a imagem de 1985. Este resultado modesto é devido aos objetos segmentados na linha de costa do

município, pois seus valores no NDWI (melhor descritor encontrado para a classe) eram menores do que os objetos segmentados mais afastados da linha de costa, e muitos destes foram classificados como sombra.

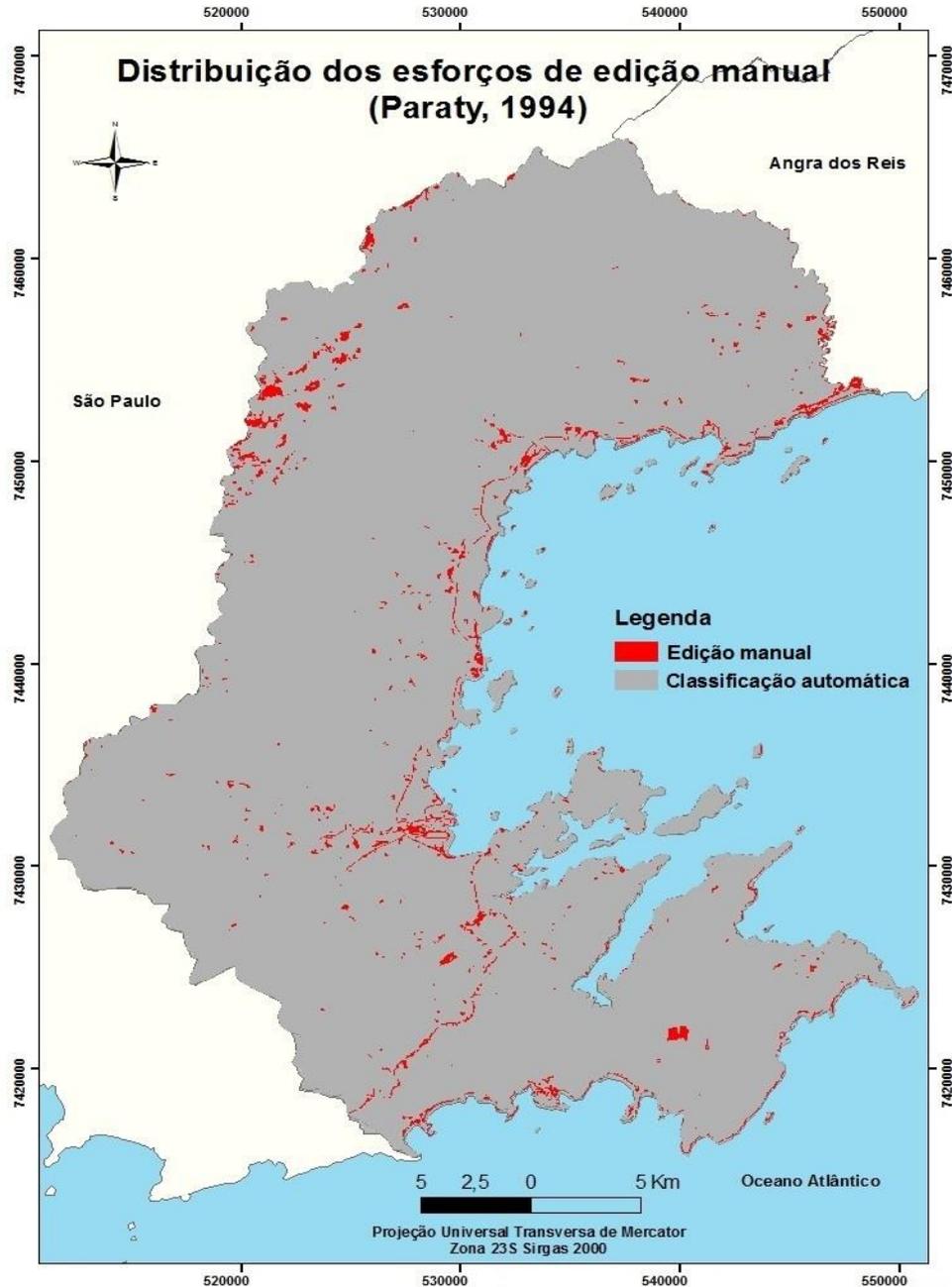


Figura 38: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 1994

A imagem de 2005 (figura 39) apresentou o melhor resultado no que concerne a classificação automática, equivalente a 98,02% do território e 1,97% das áreas editadas manualmente, especialmente em razão da melhora na classificação automática das áreas de florestas (97,42%), de vegetação rasteira (91,36%) e de áreas urbanas (46,42%).

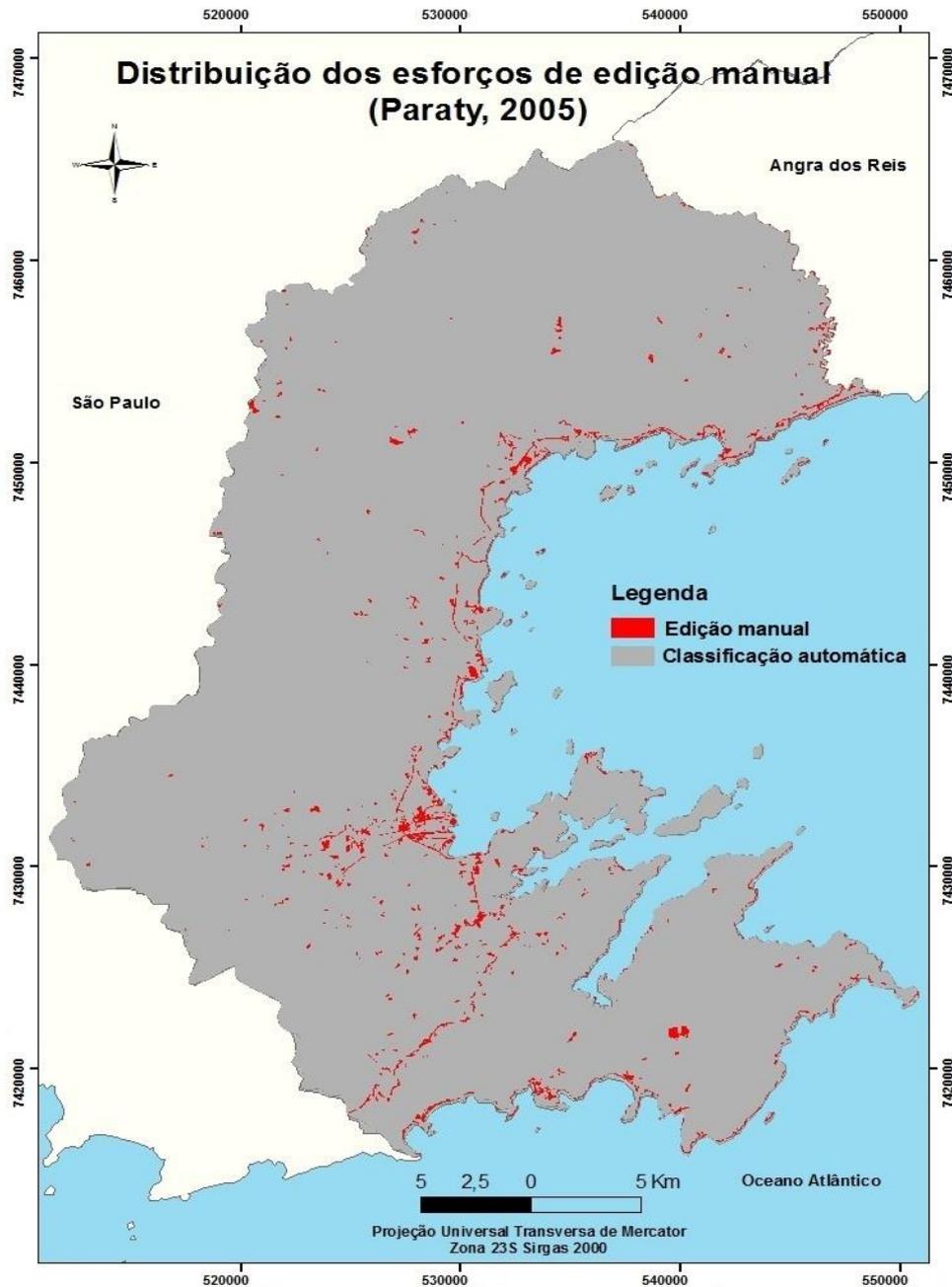


Figura 39: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 2005

A imagem de 2015 (figura 40) atingiu o valor de 97,34% em relação a classificação automática e 2,65% de áreas editadas manualmente que representa 24,53 km<sup>2</sup> de Paraty. Em comparação as demais datas, a imagem de 2015 apresentou o melhor resultado quanto a classificação automática para as classes floresta (99,28%) e urbano (59,14%), já as áreas de vegetação rasteira apresentaram o menor valor de 78%.

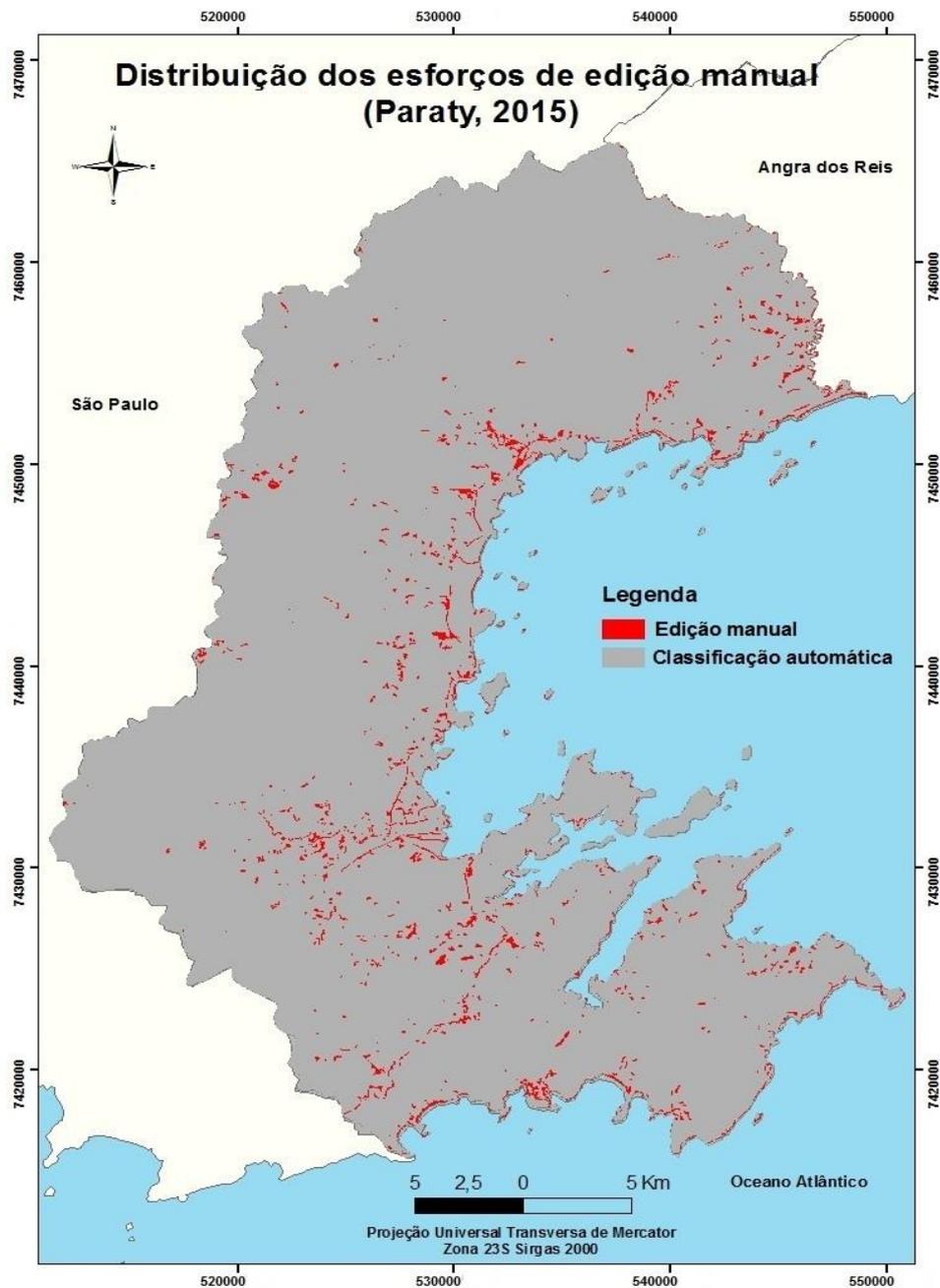


Figura 40: Mapa de distribuição dos esforços de edição manual – Paraty, 2015.

É visível que os erros relacionados às áreas urbanas predominam em todas as datas. O resultado inferior desta classe deve-se a dificuldade de encontrar um descritor que separasse de forma adequada as áreas urbanas de baixa densidade, principalmente em relação ao ano de 1985, e áreas de afloramentos rochosos, expressivos em Paraty, áreas de vegetação rasteira e de solo exposto. Ou seja, objetos de tonalidade clara (do cinza claro ao branco) apresentaram grande confusão no descritor NDBI que se mostrou o mais adequado para separar estas classes. A banda do vermelho também se mostrou adequada para separação desses alvos mais claros,

contudo, nesta banda, as áreas de comissão em relação aos afloramentos rochosos foram mais expressivas.

Dentre os esforços de edição manual, a imagem 41, exemplifica os principais erros de classificação para a classe urbano referente ao ano de 2015.

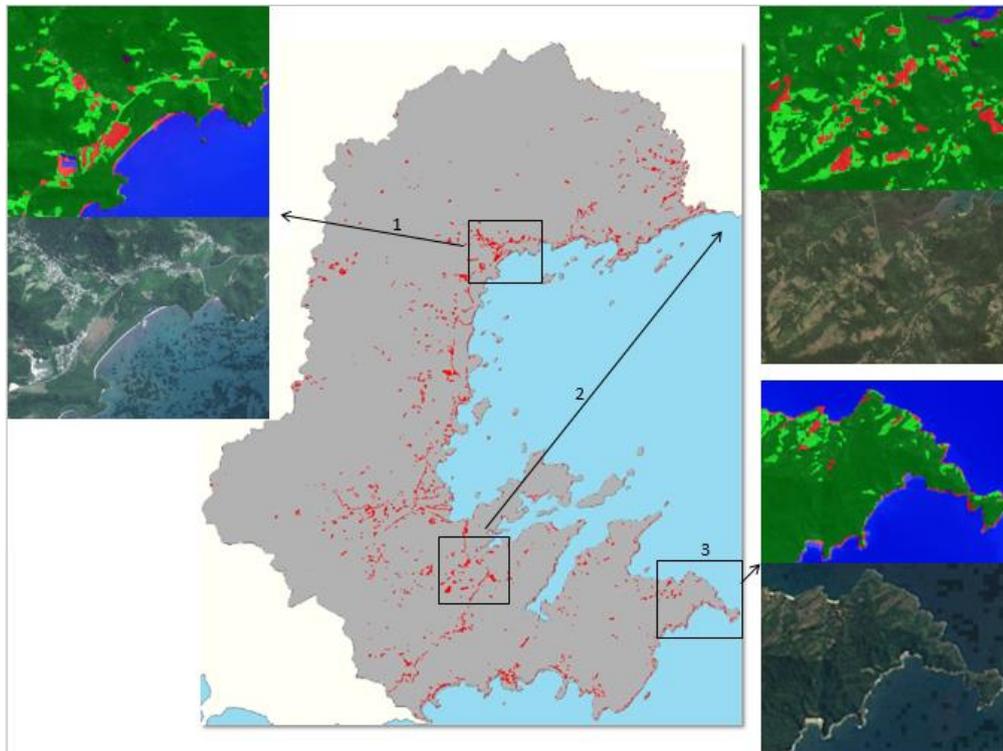


Figura 41: Exemplo de erros de comissão da classe áreas urbanas – Paraty 2015

1 – Erros de comissão referente a solo exposto 2 – erros de comissão referente à vegetação rasteira 3 – erros de comissão referente a afloramentos rochosos.

A classe áreas urbanas, pode ser considerada moderada em Paraty, apesar de para este estudo não haver necessidade de detalhar esta classe, nota-se que a mesma divide-se em urbano de baixa e média densidade em relação a cidades com urbano consolidado como Angra dos Reis, Rio de Janeiro e outros. Com isso, percebe-se que no decorrer dos anos, conforme as áreas urbanas expandem-se e se tornam mais adensadas, a classificação automática torna-se mais acurada (1985 – 15,18%; 1994 – 36,98%; 2005 – 46,42%; 2015 – 59,14%), indicando a facilidade do descritor NDBI para identificar alvos mais claros.

Após a edição manual necessária para cada data, tendo como referência as imagens históricas do Google Earth, foi possível a melhor aproximação da verdade terrestre e o quantitativo das classes estudadas para análise da evolução da paisagem e para detecção de mudanças apresentadas no tópico seguinte. O mapeamento final das imagens de 1985, 1994, 2005 e 2015 é exposto a seguir.

Na classificação de 1985 (imagem 42), verifica-se a baixa densidade de áreas urbanas no município, que limitam-se ao norte na divisa com Angra dos Reis, no Centro Histórico de Paraty e proximidades e uma pequena mancha ao sul da cidade. Também se evidencia a quantidade expressiva de áreas de vegetação rasteira em todo o território como na divisa com Angra dos Reis, na Serra da Bocaina, nas áreas costeiras e principalmente nas áreas de baixada.

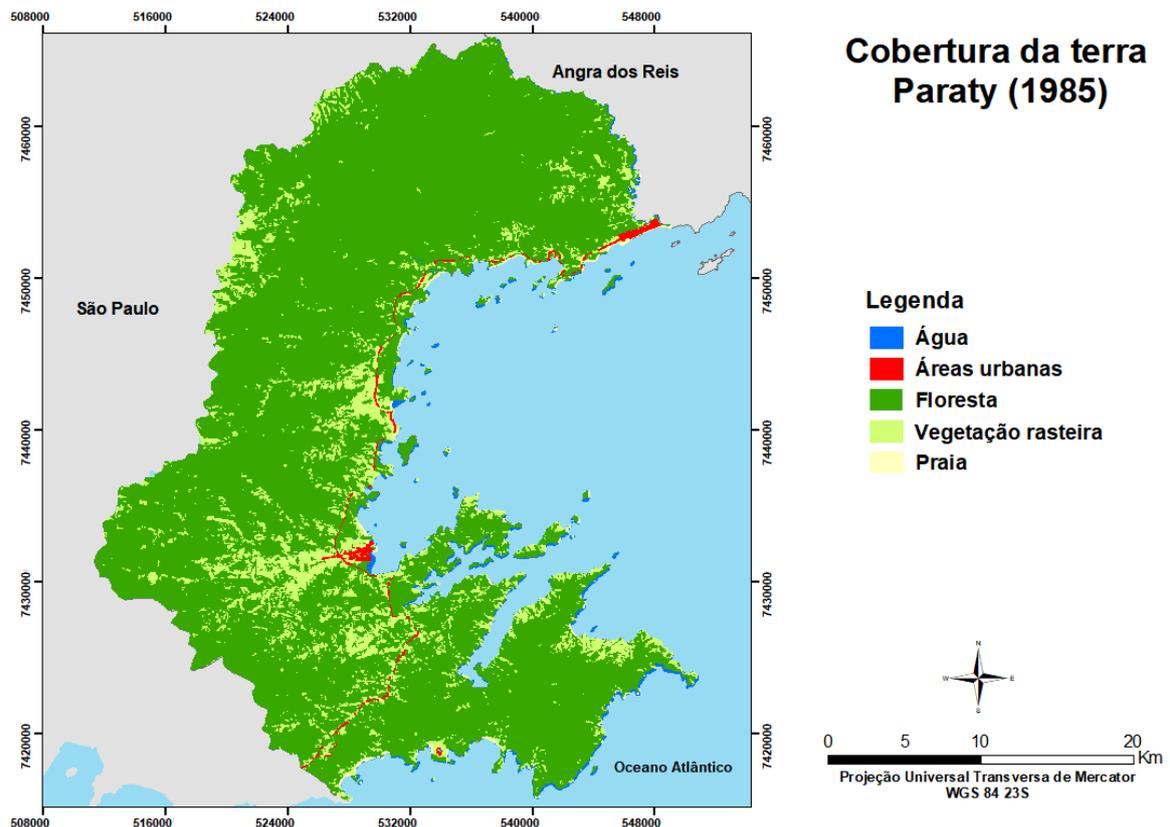


Figura 42: Cobertura da terra, Paraty (1985).

A imagem de 1994 (figura 43) demonstra que após 9 anos, as áreas urbanas no município pouco expandiram-se, assim como, houve pouca mudança em relação as áreas de vegetação rasteira, mesmo após 22 anos da criação do PARNA da Serra da Bocaina e 11 anos da criação da APA do Cairuçu.

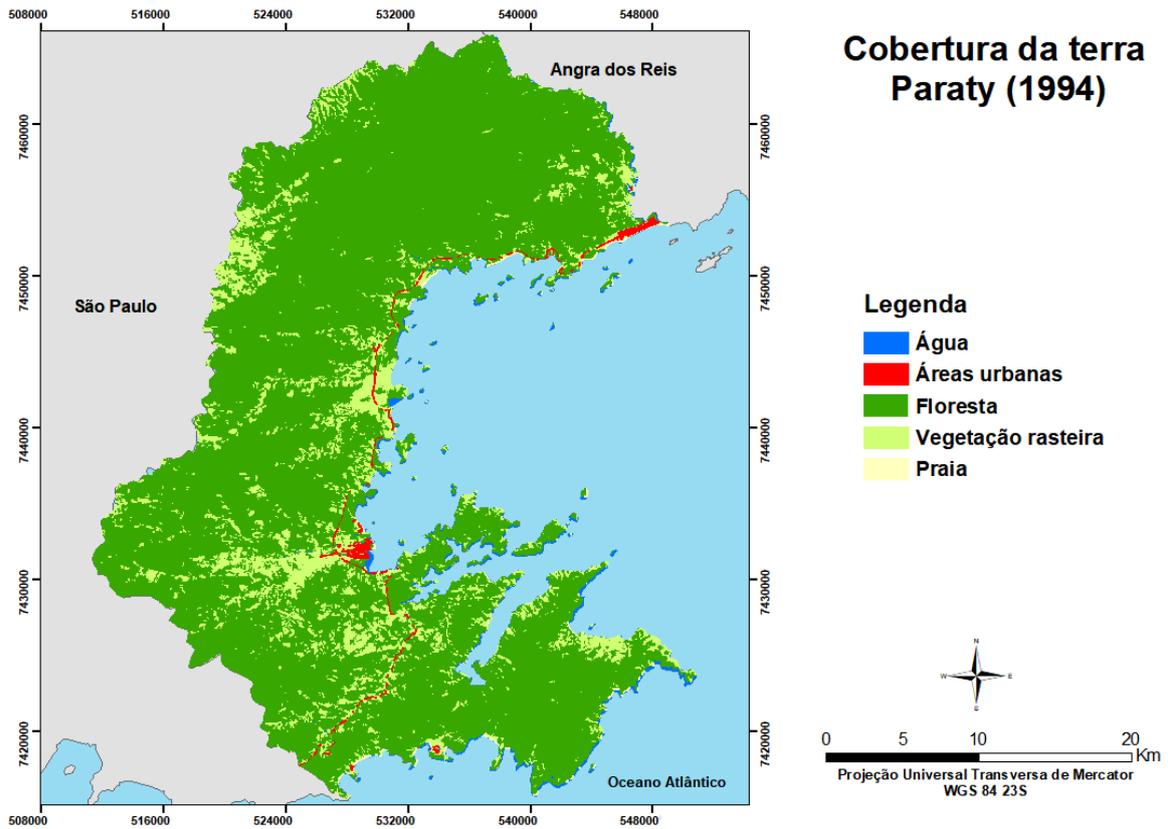


Figura 43: Cobertura da terra, Paraty (1994).

Observa-se na classificação de 2005 (figura 44) a expansão de alguns núcleos urbanos em Paraty, especialmente nos arredores do Centro Histórico tornando esta área mais adensada, a oeste da BR-101 na mesma direção do centro de Paraty e ao sul da cidade. Nota-se a retração das áreas de vegetação rasteira, principalmente no PARNA Serra da Bocaina, na APA do Caiuru e na Reserva Ecológica da Juatinga após 13 anos da sua criação.

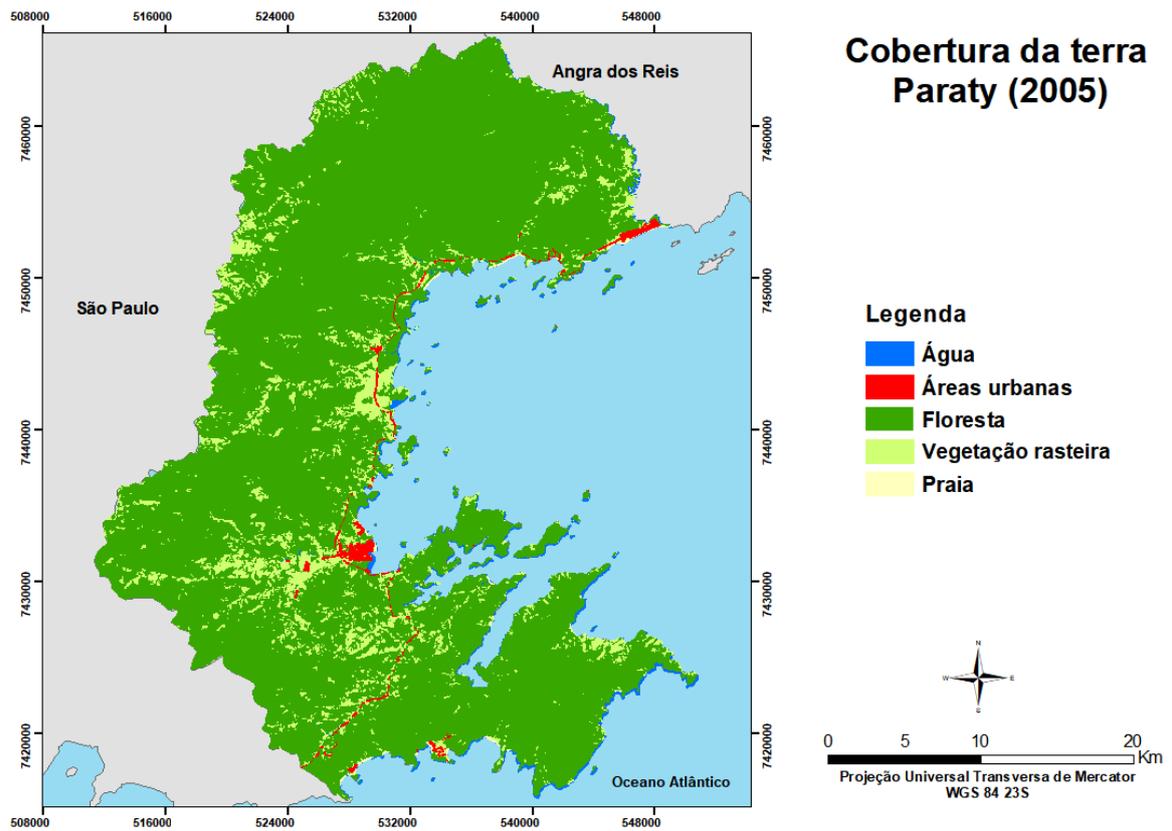


Figura 44: Cobertura da terra, Paraty (2005).

A classificação de 2015 (figura 45) demonstrou o adensamento dos arredores do Centro Histórico e novas manchas urbanas a oeste da BR-101 próximas ao centro da cidade, ao norte e ao sul do município. Outrossim é a redução das áreas de vegetação rasteira em todo o território, especialmente na Serra da Bocaina.

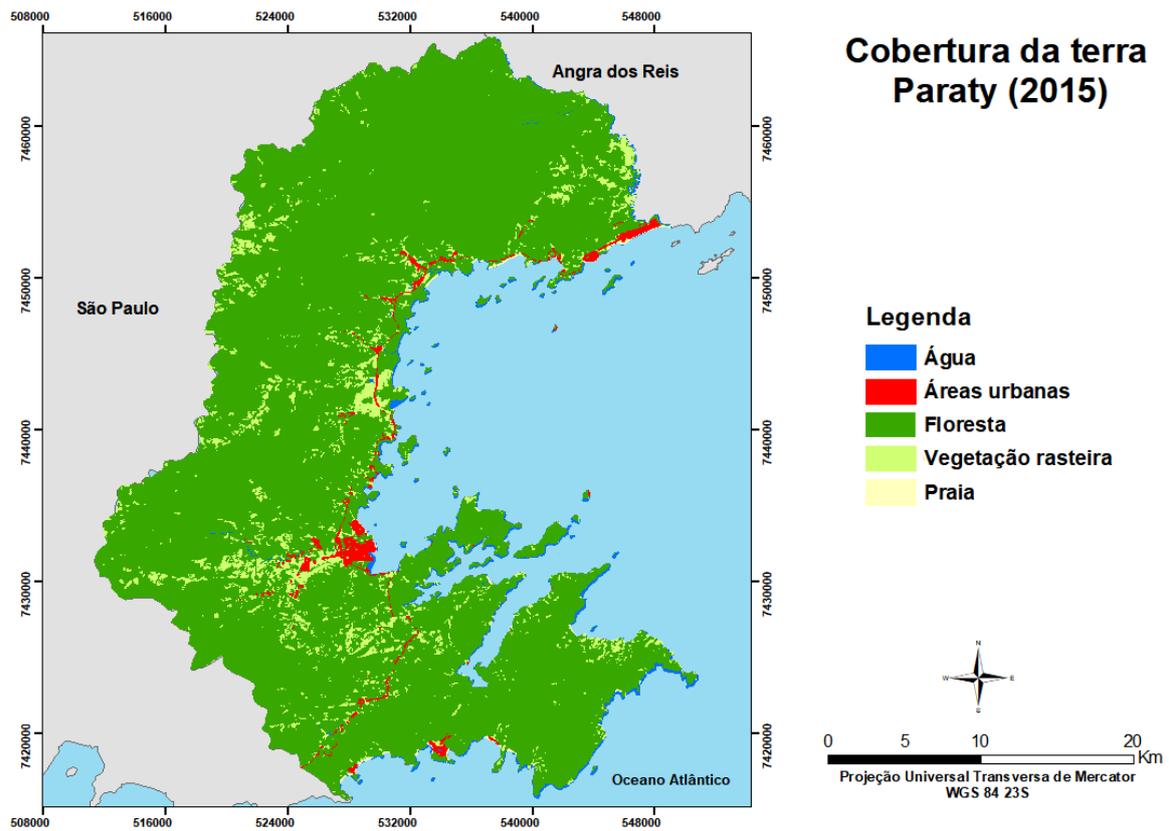


Figura 45: Cobertura da terra, Paraty (2015).

Também se faz necessário a acurácia do mapeamento final que é de grande importância para o alcance de resultados confiáveis para detecção de mudanças, por isso, no próximo item, os mapas são analisados por meio do índice Kappa.

#### 5.4 APLICAÇÃO DO ÍNDICE KAPPA

Para análise do resultado do índice Kappa é exposto a matriz de confusão de cada data com seus respectivos valores referente ao índice Kappa. Nota-se que a classificação de 2015 (figura 49) alcançou o melhor resultado com índice Kappa igual a 0,82. Consequente, tem-se o índice para a classificação de 2005 (imagem 48), 1994 (imagem 47) e 1985 (imagem 46) com índice Kappa igual a 0,8; 0,77 e 0,7 nesta ordem.

Matriz de Confusão 1985						
	Erros de omissão					
Erros de comissão	Água	Floresta	Gramínea	Urbano	Total da linha	%
Água	24	5	1	0	30	80
Floresta	0	29	1	0	30	96,6
Gramínea	1	6	23	0	30	76,6
Urbano	1	7	5	17	30	56,6
Total da coluna	26	47	30	17	120	
Número total de amostras					120	
Somatório da diagonal					93	
Soma do produto entre a soma da coluna e soma da linha					3600	
Exatidão global					0,77	
Índice Kappa					0,7	
Formala resumida						
Po	0,775					
Pe	0,25					
$K=(Po-Pe)/1-Pe$	0,7					

Figura 46: Matriz de confusão e Kappa (1985).

Matriz de Confusão 1994						
	Erros de omissão					
Erros de comissão	Água	Floresta	Gramínea	Urbano	Total da linha	%
Água	26	3	1	0	30	86,6
Floresta	0	29	1	0	30	96,6
Gramínea	0	3	27	0	30	90
Urbano	0	5	7	18	30	60
Total da coluna	26	40	36	18	120	
Número total de amostras					120	
Somatório da diagonal					100	
Soma do produto entre a soma da coluna e soma da linha					3600	
Exatidão global					0,83	
Índice Kappa					0,77	
Formala resumida						
Po	0,833333					
Pe	0,25					
$K=(Po-Pe)/1-Pe$	0,777778					

Figura 47: Matriz de confusão e Kappa (1994).

Matriz de Confusão 2005						
Erros de comissão	Erros de omissão				Total da linha	%
	Água	Floresta	Gramínea	Urbano		
Água	26	3	1	0	30	86,6
Floresta	0	30	0	0	30	100
Gramínea	0	5	25	0	30	83,3
Urbano	0	3	6	21	30	70
Total da coluna	26	41	32	21	120	
Número total de amostras				120		
Somatório da diagonal				102		
Soma do produto entre a soma da coluna e soma da linha				3600		
Exatidão global				0,85		
Índice Kappa				0,8		
<b>Formala resumida</b>						
Po	0,85					
Pe	0,25					
$K=(Po-Pe)/1-Pe$	0,8					

Figura 48: Matriz de confusão e Kappa (2005).

Matriz de Confusão 2015						
Erros de comissão	Erros de omissão				Total da linha	%
	Água	Floresta	Gramínea	Urbano		
Água	27	3	0	0	30	90
Floresta	0	30	0	0	30	100
Gramínea	0	5	25	0	30	83,3
Urbano	0	2	6	22	30	73,3
Total da coluna	27	40	31	22	120	
Número total de amostras				120		
Somatório da diagonal				104		
Soma do produto entre a soma da coluna e soma da linha				3600		
Exatidão global				0,86		
Índice Kappa				0,82		
<b>Formala resumida</b>						
Po	0,866667					
Pe	0,25					
$K=(Po-Pe)/1-Pe$	0,822222					

Figura 49: Matriz de confusão e Kappa (2015).

Das classes estudadas, em todas as datas, o urbano apresentou o menor número de acertos, retratando o menor valor em 1985 com 56,6% de concordância, 60% em 1994, 70%

em 2005 e o maior valor em 2015 com 73,3 %. Percebe-se que mesmo após a edição manual, esta classe não alcançou resultados expressivos, isto se deu, principalmente, em razão da heterogeneidade da classe (figura 50) que, considerando a verdade terrestre (neste estudo as imagens históricas do Google Earth), possui demasiada mistura de outros alvos num mesmo polígono, como solo exposto e vegetação rasteira. Já em relação a imagem classificada, o que é considerado é o objeto, ou seja, o polígono que representa a classe áreas urbanas, que é homogêneo.

A diferença na resolução espacial das imagens classificadas (média resolução) para as imagens do Google Earth (alta resolução quanto as imagens de 2005 e 2015), assim como, o efeito de borda (figura 51) gerado na criação dos pontos aleatórios (ferramenta *features random*) para comparação das imagens, também consiste em um obstáculo para atingir resultados positivos pelo índice Kappa.



Figura 50: heterogeneidade da classe áreas urbanas, demonstrando um erro comum na construção do índice Kappa em relação à geração dos pontos aleatórios correspondentes à cobertura do solo urbano, que no caso de Paraty é demasiado heterogêneo em comparação ao polígono homogêneo.



Figura 51: efeito de borda da ferramenta *features random*.

## 5.5 PERFIL DA EXPANSÃO URBANA EM PARATY

Este item traz mapas temáticos demonstrando as mudanças ocorridas na localidade, ou seja, o resultado da detecção de mudanças, analisadas por meio dos pares das imagens, dando ênfase para as áreas de expansão urbana.

Para a avaliação da evolução espacial em Paraty, principalmente em relação ao crescimento urbano, utilizou-se os pares das imagens classificadas e manipuladas no ArcGis 10.1 como segue: 1985-1994; 1994-2005 e 2005-2015 e a partir das classes água, floresta, vegetação rasteira, áreas urbanas e praia, gerou-se mapas indicando apenas as áreas urbanas com as classes urbano consolidado e expansão urbana.

Os quadros de distribuição das classes de cobertura da terra também auxiliam na compreensão da evolução da paisagem de Paraty. Com o quadro 06, compreende-se que a classe floresta é a mais representativa em Paraty e apresentou um aumento contínuo durante os anos, com exceção do período entre 1985 e 1994 no qual sofreu perda de 5,37 km<sup>2</sup> com a expansão de 5,25 km<sup>2</sup> de áreas de vegetação rasteira. Todavia, no período de 21 anos ocorreu o aumento significativo das áreas de florestas de 794,46 km<sup>2</sup> em 1994 para 841,78 km<sup>2</sup> em 2015, ou seja, um crescimento de 47,32 km<sup>2</sup> de áreas florestadas, representando em 2015, 91,07% do território. O período de maior expansão ocorreu entre 1994 e 2005, indicando maior preocupação com os desmatamentos e incremento das leis ambientais e criação de UC.

Consequentemente, observa-se um declínio nas áreas de vegetação rasteira de 116,84 km<sup>2</sup> em 1994 para 63,38 km<sup>2</sup> em 2015, o que representa 53,46 km<sup>2</sup> a menos. O período entre 1994 e 2005 também foi o que apresentou maior retração destas áreas.

O crescimento das áreas de florestas pode estar associado à criação das UC na região, principalmente após a criação da Reserva Ecológica Estadual da Juatinga em 1992, que possui um uso mais restritivo. As áreas urbanas serão analisadas a seguir.

<b>Quadro 06: Distribuição das classes de cobertura da terra - Paraty, RJ.</b>								
<b>Classes</b>	<b>Área em 1985</b>		<b>Área em 1994</b>		<b>Área em 2005</b>		<b>Área em 2015</b>	
	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Água	7,06	0,76	7,25	0,78	7,45	0,81	8,31	0,90
Floresta	799,83	86,54	794,46	85,95	824,38	89,19	841,78	91,07
Vegetação rasteira	111,59	12,07	116,84	12,64	85,83	9,28	63,38	6,86
Urbano	4,16	0,45	4,66	0,50	5,89	0,64	10,07	1,09
Praia	1,61	0,17	1,10	0,12	0,76	0,08	0,78	0,08
Total	924,25	100	924,31	100	924,31	100	924,32	100

O quadro 07 e os mapas 52, 58 e 62, indicam as áreas urbanas em Paraty. De 1985 a 1994 havia 4,03 km<sup>2</sup> de áreas urbanas consolidadas e foi o período de menor expansão urbana de apenas 0,06%, ou seja, 0,62 km<sup>2</sup>. No intervalo seguinte, de 1994 a 2005 houve maior expansão de áreas urbanas em relação ao período anterior, de 0,15%, ou seja, 1,45 km<sup>2</sup> e as áreas urbanas consolidadas correspondiam a 4,43 km<sup>2</sup>. O último período, de 2005 a 2015 apresentou 0,61% de áreas urbanas consolidadas, isto é, 5,72 km<sup>2</sup>. Ressalta-se que este foi o período de maior expansão urbana com 4,33 km<sup>2</sup>, o que representa 0,46% da cidade. Em suma, em 2015, Paraty possuía 10,05 km<sup>2</sup> de áreas construídas, apresentando expansão urbana de 6,4 km<sup>2</sup> em um período de 30 anos. Dessa forma, a cidade demonstra um lento crescimento urbano, porém contínuo que se mostrou mais acentuado nos últimos 10 anos, no qual as áreas urbanas praticamente triplicaram em relação ao período de 1994 a 2005.

<b>Quadro 07: Áreas urbanas de 1985 a 2015 – Paraty, RJ.</b>						
<b>Classes</b>	<b>1985 a 1994</b>		<b>1994 a 2005</b>		<b>2005 a 2015</b>	
	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Urbano consolidado	4,03	0,43	4,43	0,47	5,72	0,61
Expansão Urbana	0,62	0,06	1,45	0,15	4,33	0,46
Outros	919,57	99,47	918,4	99,35	914,25	98,9
Não classificado	0,09	0	0,02	0	0,007	0
Total	924,3	100	924,3	100	924,3	100

Nas análises abaixo, dá-se maior evidência para as áreas de expansão urbana, a começar pelo período de 1985 a 1994 (figura 52) no qual se destacam as localidades: Vila Residencial de Mambucaba na divisa com Angra dos Reis, Centro Histórico de Paraty e arredores como o bairro Ilha das Cobras, Parque Mangueira, Pontal, Caborê, o bairro Jabaquara, e ao sul de Paraty o condomínio Laranjeiras e Trindade.

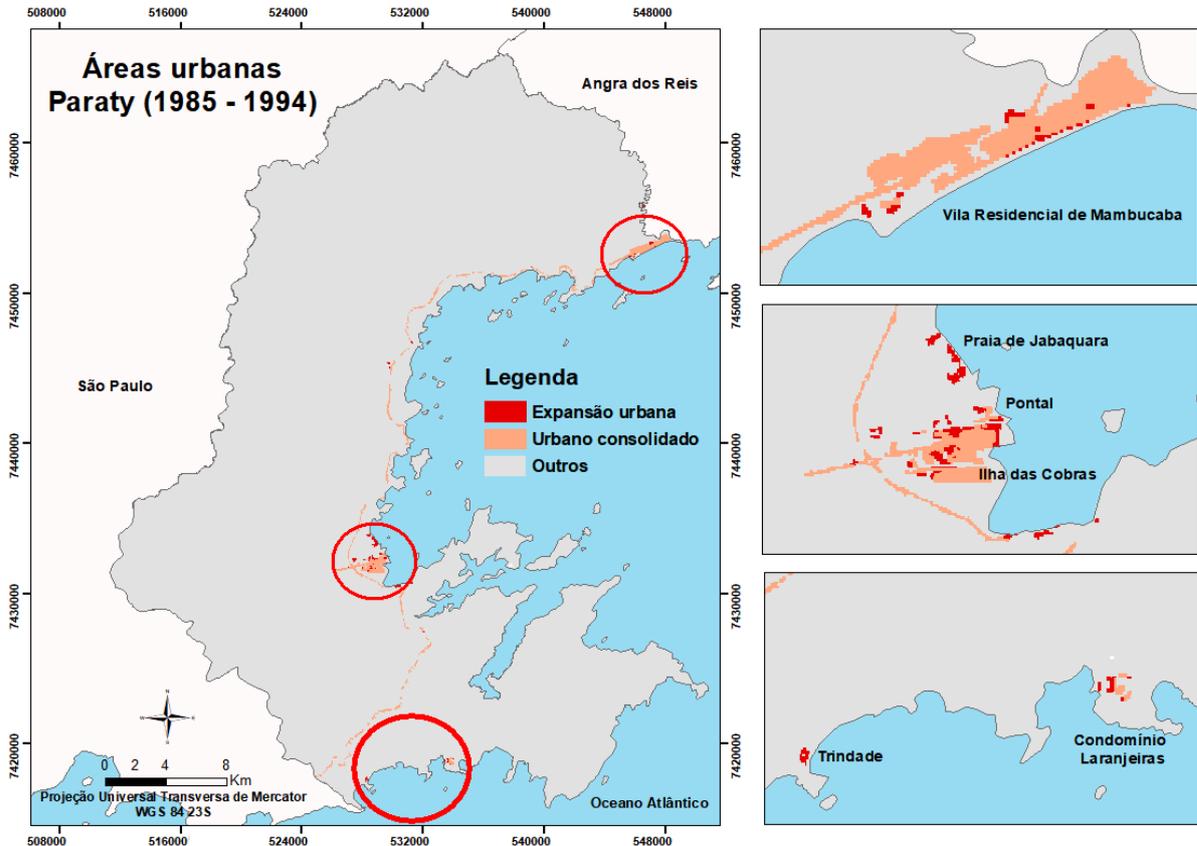


Figura 52: Áreas urbanas em Paraty de 1985 a 1994, indicando as áreas de urbano consolidado em 1985 e a expansão urbana para o período.

A vila residencial de Mambucaba (figura 53) é ocupada por funcionários das Usinas Nucleares de Angra dos Reis e segundo a UERJ (2011) esta área é controlada pela estatal Eletronuclear responsável pela sua administração e de acordo com o plano possui esgotamento sanitário e abastecimento de água completo.

A vila é beneficiada pela localização frente mar em área de planície. Nota-se que a malha urbana cresce de forma linear, arborizada e com vias que permitem o acesso às residências que se conectam com a estrada principal Rio-Santos. A densidade é moderada com características não apenas residências e apresenta loteamentos ainda vazios. Percebe-se também a proximidade da vila com o rio Mambucaba.

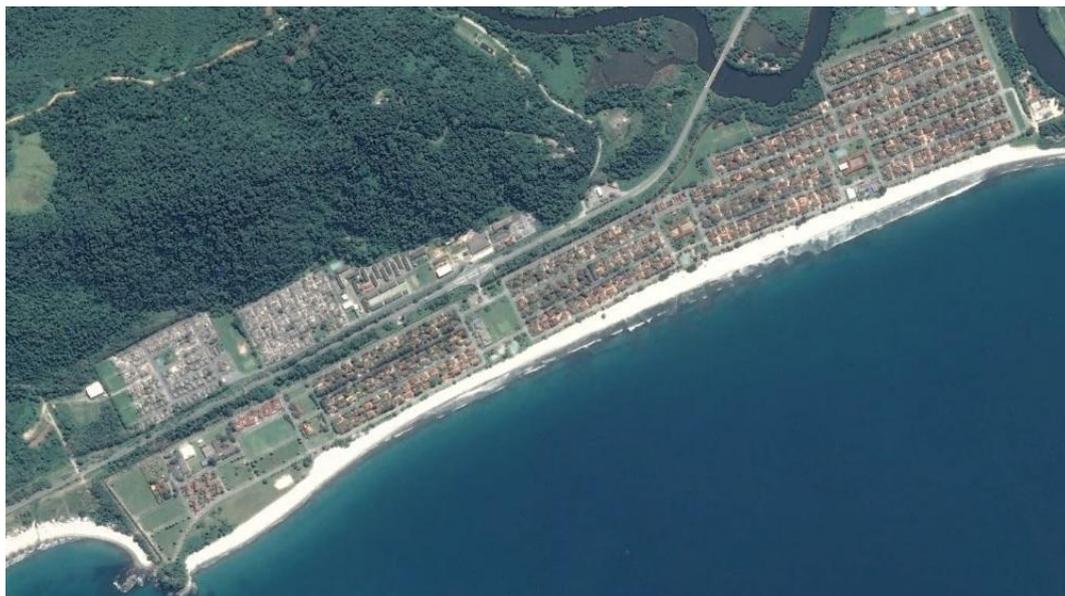


Figura 53: Vila residencial de Mambucaba. Fonte: Google Earth, 2017.

Em relação ao sistema de saneamento básico, o mesmo ocorre com o Condomínio Laranjeiras (figura 54), onde tais serviços são privados, com infraestrutura voltada para residências de médio e grande porte (UERJ, 2011). O condomínio situa-se em uma baía com a abertura de canal navegável. O tecido urbano é mais disperso e apresenta áreas de lazer como casas com piscina, marina, barcos e iates e campo de golfe.



Figura 54: Condomínio Laranjeiras. Fonte: Google Earth, 2017.

Já o Centro histórico cresce, possivelmente devido à valorização do turismo, aumentando o número de lojas, pousadas e casas de veraneio. Ao mesmo tempo, para antigos moradores torna-se inviável arcar com os novos custos no Centro Histórico, expandindo assim, os bairros periféricos. Segundo Veloso (2013), foi desta forma que surgiram os dois maiores assentamentos precários de Paraty: os bairros Ilha das Cobras e Parque Mangureira (figura 55).

Tais bairros também se localizam próximos ao mar, cercado a esquerda pelo Rio Mateus Nunes, retilinizado, visivelmente em área de proteção permanente e a direita por uma pista de pouso. O tecido urbano do bairro Ilha das Cobras é denso e irregular e menos arborizado se comparado aos locais anteriores. O bairro Mangureira também possui uma densidade significativa, porém os lotes parecem maiores. Ambos possuem equipamentos turísticos como pousadas, hostel e agência de viagem.



Figura 55: Bairro Ilha das Cobras e Parque Mangureira. Fonte: Google Earth, 2017.

O bairro Jabaquara (Figura 56) também é favorecido pela presença do mar, com uma malha urbana regular e dispersa e presença de equipamentos turísticos como pousadas e restaurantes. Alguns lotes contêm piscina e nota-se a presença de loteamentos vazios. O bairro localiza-se ao lado de um manguezal.



Figura 56: Bairro Jabaquara. Fonte: Google Earth, 2017.

Trindade (Figura 57) é uma comunidade caiçara, formada principalmente por pescadores e se constitui em um importante polo de atração turística de Paraty com diversos equipamentos de hospedagem e alimentação. Localiza-se em uma enseada com malha urbana irregular e dispersa.



Figura 57: Trindade. Fonte: Google Earth, 2017.

O mapa de áreas urbanas de 1994 a 2005 (figura 58) demonstra a expansão do tecido urbano em localidades já identificadas anteriormente como o bairro Mangueira, Caborê e Jabaquara, próximos ao Centro Histórico, e o condomínio Laranjeiras e Trindade ao sul do município. Identifica-se também, o crescimento de novas áreas como Barra Grande, ao norte do município, os arredores do Centro Histórico como Vila Colonial, Portal de Paraty, Portal das Artes e outros; e a oeste do Centro Histórico, seguindo a estrada Paraty-Cunha, o bairro Pantanal.

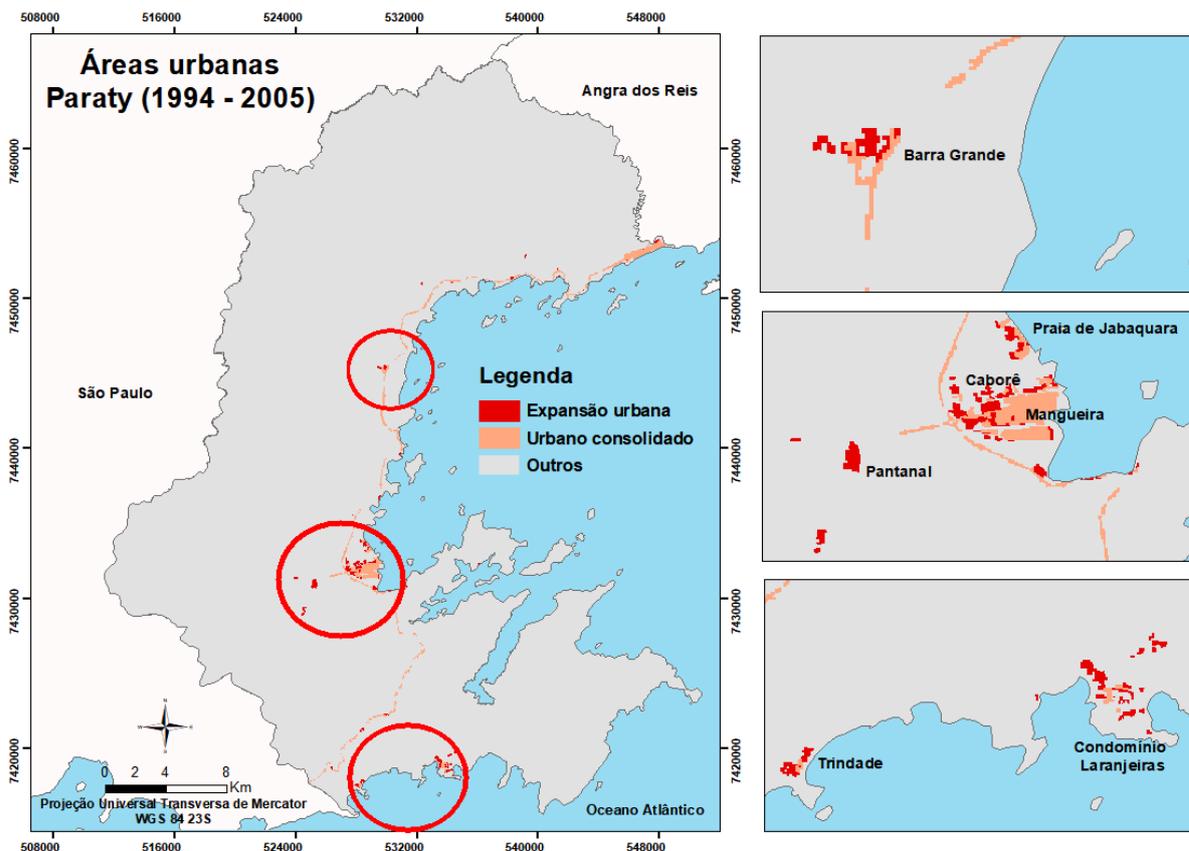


Figura 58: Áreas urbanas em Paraty de 1994 a 2005, indicando as áreas de urbano consolidado em 1994 e a expansão urbana para o período.

A malha urbana do bairro Barra Grande (figura 59) também cresce de forma irregular e dispersa. Nota-se um aglomerado de residências próximo à rodovia Rio-Santos e uma dispersão de residências seguindo o curso do Rio Barra Grande. Segundo a UERJ (2011), o bairro não dispõe de esgotamento sanitário por rede geral.



Figura 59: Barra Grande. Fonte: Google Earth, 2017.

Percebe-se o crescimento contínuo dos arredores do Centro Histórico (Figura 60) com densidade maior as margens do Rio Perequê-açu, ocupando área de preservação permanente. Os bairros Pontal, Caborê, Portal de Paraty, Vila Colonial e Parque Imperial crescem com lotes de tamanhos variados e com equipamentos turísticos tais como pousadas, hotéis, restaurantes, agências de turismo e outros.



Figura 60: Arredores do Centro Histórico. Fonte: Google Earth, 2017.

O bairro Pantanal (Figura 61) possui uma densidade considerável e cresce próximo à rodovia Paraty-Cunha e a estrada do Jacú. Também verifica-se a presença de pousadas, flats, hostels e outros.



Figura 61: Pantanal. Fonte: Google Earth, 2017.

No período de 10 anos o mapa de áreas urbanas entre o intervalo de 2005 a 2015 (figura 62), indica o crescimento de vários novos núcleos urbanos em Paraty, evidenciando a Prainha de Mambucaba, Taquari e São Roque ao norte do município; Graúna e Praia Grande; Ponte Branca e Vila Dom Pedro próximos ao Centro Histórico; e Praia do Sono ao sul de Paraty.

Verifica-se a continuidade do crescimento dos bairros Vila Residencial de Mambucaba, os arredores do Centro Histórico como Jabaquara, Caborê, Portal de Paraty, Vila Colonial, Ilhas das Cobras, Mangueira e o Condomínio Laranjeiras que apresenta também a expansão da Vila Oratório.

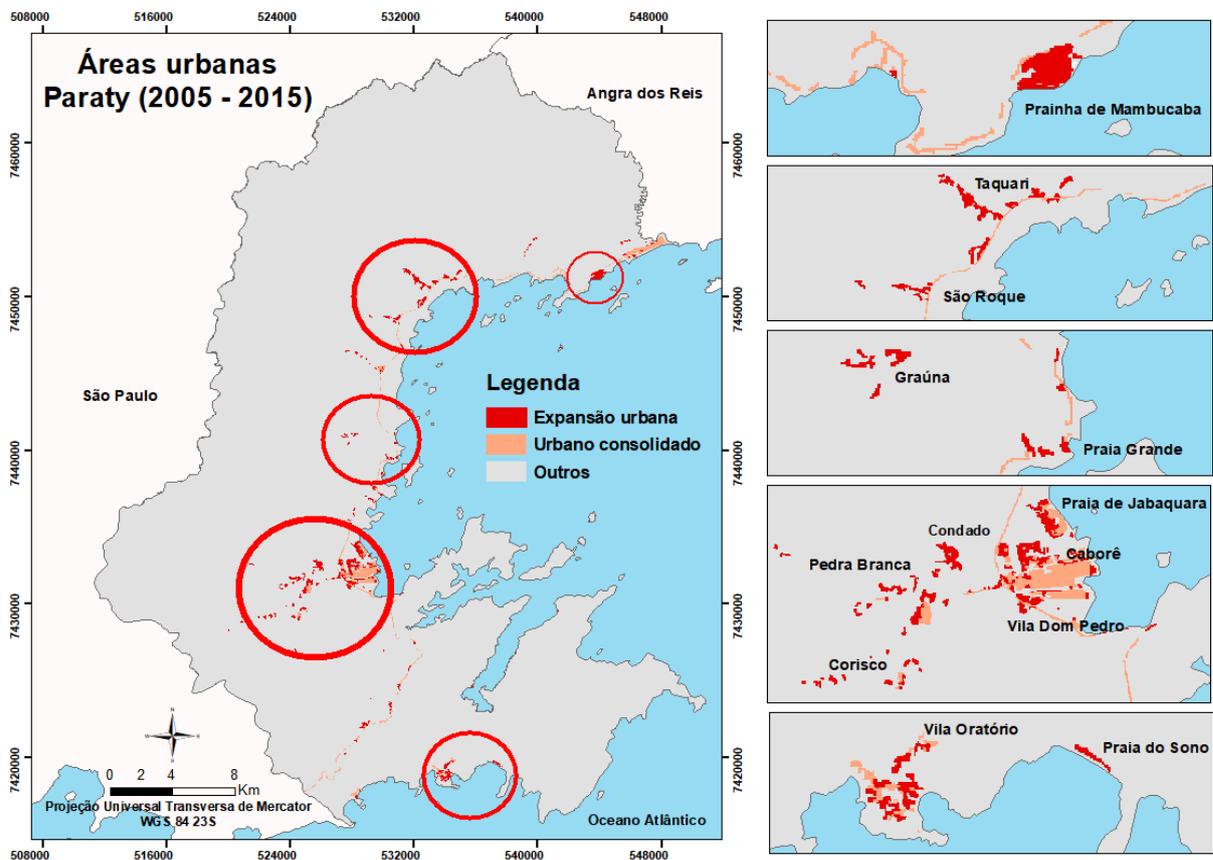


Figura 62: Áreas urbanas em Paraty de 2005 a 2015, indicando as áreas de urbano consolidado em 2005 e a expansão urbana para o período.

Nota-se o rápido crescimento da Prainha de Mambucaba (figura 63), localizada em frente ao mar, beirando a Rio-Santos. O tecido urbano amplia-se de forma irregular com lotes de tamanhos variados. Também há quiosques e algumas pousadas na orla no bairro.



Figura 63: Prainha de Mambucaba. Fonte: Google Earth, 2017.

O bairro Taquari (figura 64) também se desenvolve próximo a Rio-Santos, demonstrando um crescimento considerável, com malha urbana irregular e lotes de tamanhos variados. Também se localiza próximo ao mar, porém do outro lado da BR-101, seguindo o curso do Rio Taquari. Nota-se a presença de pousadas, áreas de cultivo e areais.

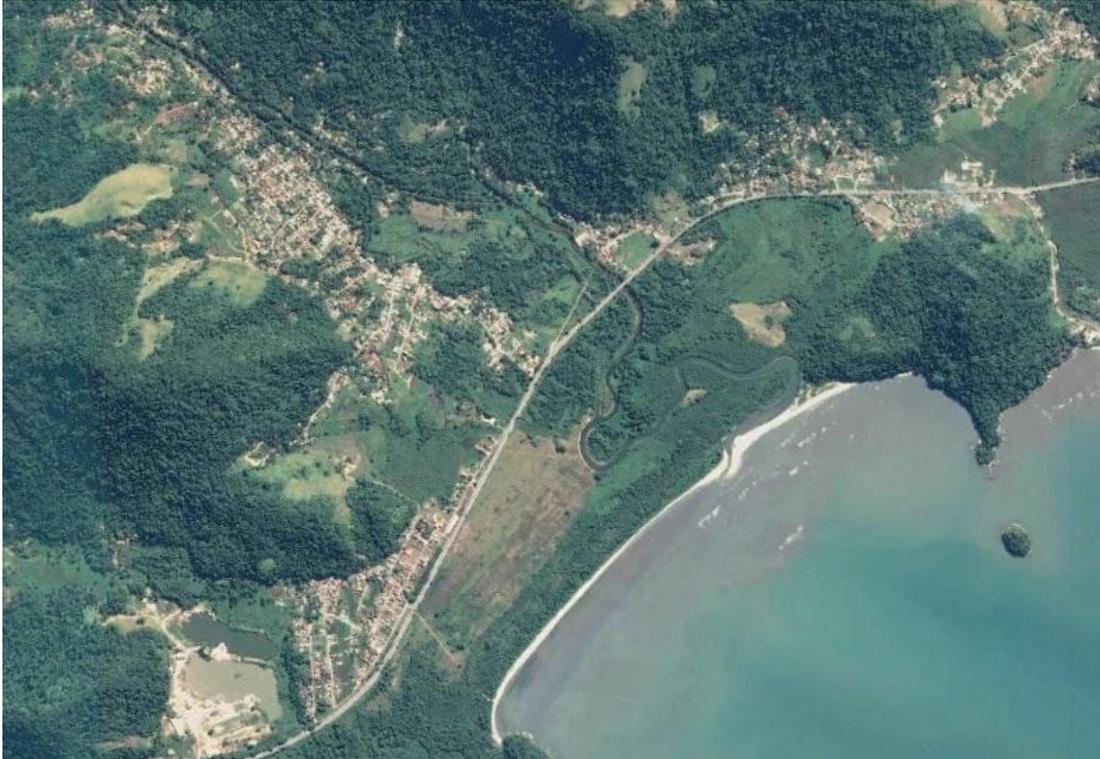


Figura 64: Taquari. Fonte: Google Earth, 2017.

São Roque (figura 65) situa-se ao lado de Taquari com um crescimento mais moderado em relação a este e a malha urbana com o formato mais próximo a espinha de peixe seguindo o contorno da Avenida Pau Brasil que se liga a Rio-Santos e ao lado do Rio São Roque. O bairro também se localiza próximo ao mar.



Figura 65: São Roque. Fonte: Google Earth, 2017.

Nota-se que a ocupação em Graúna (figura 66) é iniciante, formando um tecido urbano irregular, com residências que se aglomeram em torno de uma estrada e próximas ao Rio da Graúna. Já se nota a presença de meios de hospedagem no local como pousadas e chalés.



Figura 66: Graúna. Fonte: Google Earth, 2017.

A Praia Grande (figura 67) é uma comunidade caiçara localizada em uma baía em frente à Ilha do Araújo. Situa-se a leste da Rio-Santos e as residências concentram-se próximas à orla com aglomerações que crescem para oeste da rodovia. Há pousadas também na localidade.



Figura 67: Praia Grande. Fonte: Google Earth, 2017.

Ponte Branca (figura 68) localiza-se a oeste do Centro Histórico seguindo o curso do Rio Perequê-açu e próximo à estrada Paraty-Cunha (RJ-165). A expansão da malha urbana aparenta ser moderada e dispersa, com algumas áreas com lotes maiores se comparados a Taquari e São Roque. Também é significativa a instalação de equipamentos turísticos como pousadas, hostel e alguns restaurantes.



Figura 68: Pedra Branca. Fonte: Google Earth, 2017.

A praia do Sono (figura 69) também é uma comunidade caiçara localizada na Reserva Ecológica da Juatinga com residências dispersas e várias áreas de camping.

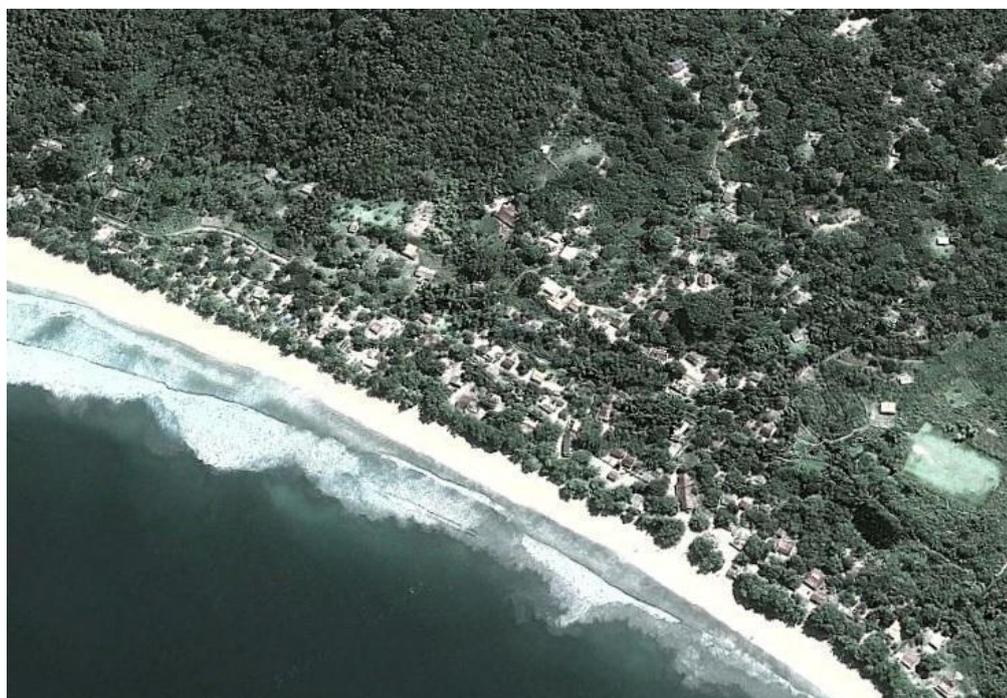


Figura 69: Praia do Sono. Fonte: Google Earth, 2017.

Existem outros núcleos que surgiram ou expandiram em Paraty, contudo, possuem um tecido urbano bastante disperso em meio à vegetação. Devido a isso, alguns desses locais não foram identificados na classificação em razão da resolução espacial da imagem, a exemplo de Tarituba, São Gonçalo, Várzea do Corumbê e outras localidades principalmente ao redor da Rio-Santos.

De acordo com a UERJ (2011) ainda existem os seguintes núcleos urbanos isolados: Chapéu do Sol no Distrito de Tarituba; Paraty Mirim, Pedras Azuis, Campinho e Patrimônio inseridos no Distrito de Paraty Mirim.

O mapa hipsométrico de Paraty (figura 70) auxilia na compreensão da expansão urbana do município e na sua organização espacial. Em sua maioria, os núcleos urbanos formam-se tendo estradas e rios como condutores, a exemplo de Taquari, São Roque, Barra Grande e Graúna seguindo o curso de rios com nomes respectivos. Os bairros próximos ao Centro Histórico seguindo o curso dos principais rios da cidade, Perequê-açu e Mateus Nunes e da rodovia Paraty-Cunha. Além de núcleos mais dispersos que não foram caracterizados anteriormente, como São Gonçalo e rio do mesmo nome, residências dispersas próximas ao Rio Paraty-Mirim e a Vila Oratório próxima ao condomínio Laranjeiras que cresce seguindo o Rio das Laranjeiras. Nota-se também a rodovia Rio-Santos, principal condutora do crescimento urbano.

Outra característica importante são os núcleos urbanos localizados em áreas de planície situando-se em cotas de 0 a 110 metros. Contudo, alguns bairros se expandem em direção a cotas mais altas entre 110 e 270 metros como São Roque, Barra Grande, Graúna, Pedra Branca e Vila Oratório.

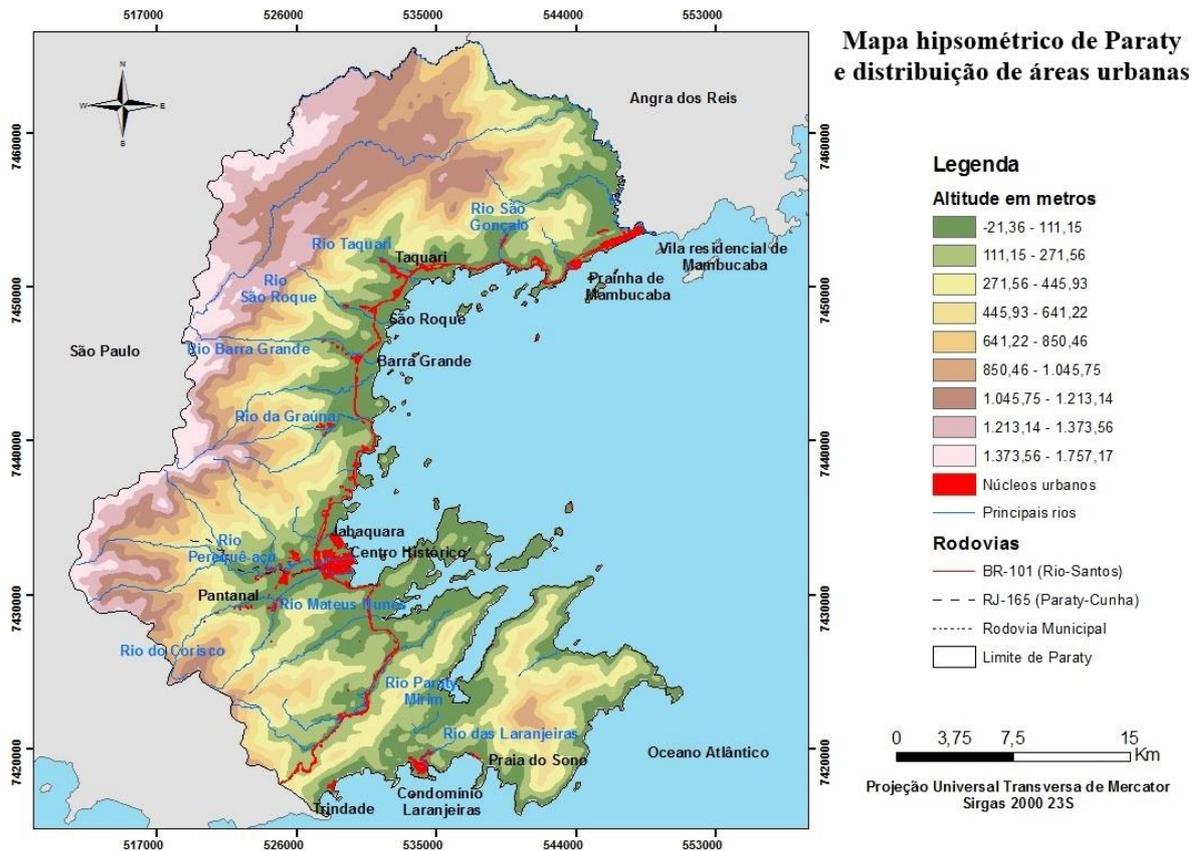


Figura 70: Mapa hipsométrico de Paraty demonstrando a influência das cotas mais baixas de 0 a 270 metros para a expansão urbana, assim como a influência dos rios e estradas principais.

Logo, é notório que o crescimento urbano em Paraty ocorre de forma lenta, porém contínua, com expansão urbana mais acentuada nos últimos 10 anos, surgindo novos núcleos urbanos como Prainha de Mambucaba, Taquari, São Roque, Graúna, Praia Grande, Pedra Branca e outros. E também bairros que apresentaram constante expansão urbana ao longo dos 30 anos analisados, como os arredores do Centro Histórico de Paraty com destaque para os bairros Praia da Jabaquara, Pontal, Ilha das Cobras, Mangueira, Caborê e outros; e o condomínio Laranjeiras ao sul do município, assim como, Trindade, porém de maneira menos intensa.

Ademais, os núcleos urbanos concentram-se em planícies litorâneas, apresentando em sua maioria, apelo paisagístico que além do mar, contam com diversos rios e cachoeiras, sendo comum a implantação de equipamentos turísticos como pousadas, hotéis, hostel, agências de viagens e restaurantes que aliados aos incentivos públicos e aumento do fluxo turístico e geração de postos de trabalho como já evidenciado, enfatiza-se o turismo como um vetor do crescimento urbano em Paraty.

O próximo tópico retrata os cenários futuros da expansão urbana em Paraty para 2030, criados no modelo Dinamica EGO, a partir dos seguintes cenários:

- Cenário sem a implantação de projetos turísticos - neste cenário foram consideradas as variáveis com potencial para explicar a atual configuração urbana do município de Paraty e como estas poderiam influenciar em um cenário de expansão futura. Baseado no resultado desta simulação, identificou-se novas manchas urbanas e se analisou a real possibilidade de transição urbana para estas áreas. Com isso, verificou-se diversos projetos de cunho turístico/imobiliário em vias de implantação ou a serem implantados em diferentes áreas do município e a partir da espacialização destes projetos, criou-se mais dois cenários de expansão urbana futura.

- Cenários com a implantação de projetos turísticos/imobiliários - A partir da identificação de novos projetos turísticos/imobiliários em vias de implantação ou a serem implantados em Paraty, gerou-se um cenário em condição de expansão urbana menos acelerada e outro em situação de boom imobiliário, de forma a ressaltar o potencial de atração de manchas urbanas desses projetos.

## 5.6 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DA EXPANSÃO URBANA NO DINAMICA EGO

Conforme mencionado anteriormente, para alimentar o modelo de simulação da expansão urbana de Paraty, é necessário primeiramente, um mapa inicial e final de uso e ou cobertura da terra. Desse modo, utilizou-se os mapas de cobertura da terra de 2005 como paisagem inicial e de 2015 como paisagem final, devido estes terem apresentado os melhores resultados na validação pelo índice Kappa e, portanto, possuem menos erros de classificação, além deste período ter apresentado a maior quantidade de transições urbanas. Esses mapas foram reclassificados no ArcGis 10.1 de modo a conterem apenas duas classes: natural e urbano e, assim, facilitar o processo de cálculo de matrizes de transição.

### 5.6.1 Cálculo da matriz de transição.

Com os mapas de cobertura da terra inseridos no programa, foram calculadas as matrizes de transição, tendo como resultado as matrizes de passo único e múltiplo, que correspondem a um único passo de tempo e a uma unidade de tempo (ano, mês, dia), respectivamente.

A única transição considerada para este modelo é a da classe natural para urbano que apresentou uma matriz de passo único, ou seja de 10 anos, de 0.00484828220346067 e de passo múltiplo de 0.000488828066810554. Assim, a expansão de áreas urbanas, neste período de tempo, ocorre a uma taxa líquida de 0,048% ao ano.

### 5.6.2 Cálculo de intervalos para categorizar variáveis de tons de cinza e pesos de evidência.

Os pesos de evidência aplicam-se apenas a dados categóricos, por este motivo, é preciso categorizar mapas contínuos de tons de cinza. Este método é realizado através de uma adaptação de Agterberg & Bonham-Carter (1990). A seleção das variáveis para alimentar o modelo de expansão urbana foi realizada tendo em vista o conhecimento prévio da localidade e da análise das mudanças ocorridas por meio dos mapas de cobertura da terra de 1985, 1994, 2005 e 2015. Assim, observa-se a influência da BR-101 na condução do crescimento urbano, e de outros fatores como a proximidade de rios, do mar, de outras estradas e arruamento da cidade. Dessa forma, para simular a expansão urbana do município foram escolhidas 8 variáveis com potencial para atrair ou repelir manchas urbanas, a saber:

- Declividade;
- Altimetria;
- Distância das estradas principais;
- Distância da hidrografia;
- Distância do arruamento;
- Distância do mar;
- Zoneamento da APA de Cairuçu;
- Distância do PARNA da Serra da Bocaina.

### 5.6.3 Pesos de evidência para as diferentes variáveis.

Neste item é apresentado o gráfico de cada variável relacionando os intervalos de distância em metros (*range*) com os pesos de evidência (*weight*). Quanto maior e mais positivo se torna o valor, maior é a atração para manchas urbanas e quanto maior e mais negativo o valor, maior é o efeito repelente. Já os valores próximos de zero não exercem efeito sobre o modelo. Assim, combinando os pesos de evidência das diferentes variáveis é possível calcular para cada célula mapas de probabilidade de transição.

Junto aos pesos de evidência é gerada uma tabela (anexo 1) com informações sobre o intervalo, o tamanho do buffer em células, os pesos de evidência, o valor de contraste e o teste de significância estatística. O contraste mede o efeito de atração / repulsão e assim como os pesos de evidência, valores próximos a zero não exercem efeito sobre a transição especificada, valores positivos favorecem a transição e negativos repelem. Através do teste de significância é possível identificar os intervalos que influenciam na transição, viabilizando assim, a

calibração do modelo, retirando os intervalos que não exercem efeito. Também é possível alterar manualmente o valor dos pesos de evidência.

### Zoneamento da APA de Caiuru

Dentre as categorias da APA de Caiuru (gráfico 01), as classes: zona de conservação costeira (1), zona de preservação da vida silvestre (6), zona de sítio histórico (7) e zona de uso comunitário, cultural, educacional, esportivo e de lazer (9) apresentaram valores negativos, repelindo as manchas urbanas. Do contrário, as classes: zona de expansão das vilas caiçaras (3), zona de expansão residencial e turística (4), zona de marinas (5), zona de uso agropecuário (8) e zona de uso conflitante (10) demonstraram valores positivos, favorecendo as manchas urbanas. A classes zona de conservação da zona rural (2), exibiu valor próximo de zero, ou seja, não exerce efeito sobre a expansão urbana.

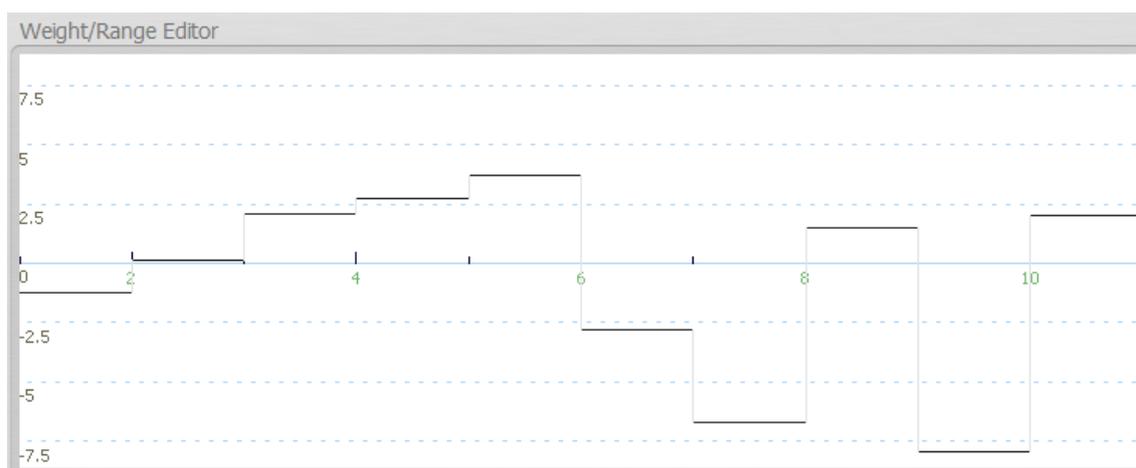


Gráfico 01: Pesos de evidência – variável APA de Caiuru

### Altimetria

Em relação à altimetria (gráfico 02), nota-se que as cotas mais baixas entre 0 a 60 metros, exercem maior influência para a expansão urbana, posteriormente, há uma demasiada variação no gráfico, alternando valores positivos e negativos, até se estabilizar na cota 110 com valores negativos, que repelem a expansão urbana.

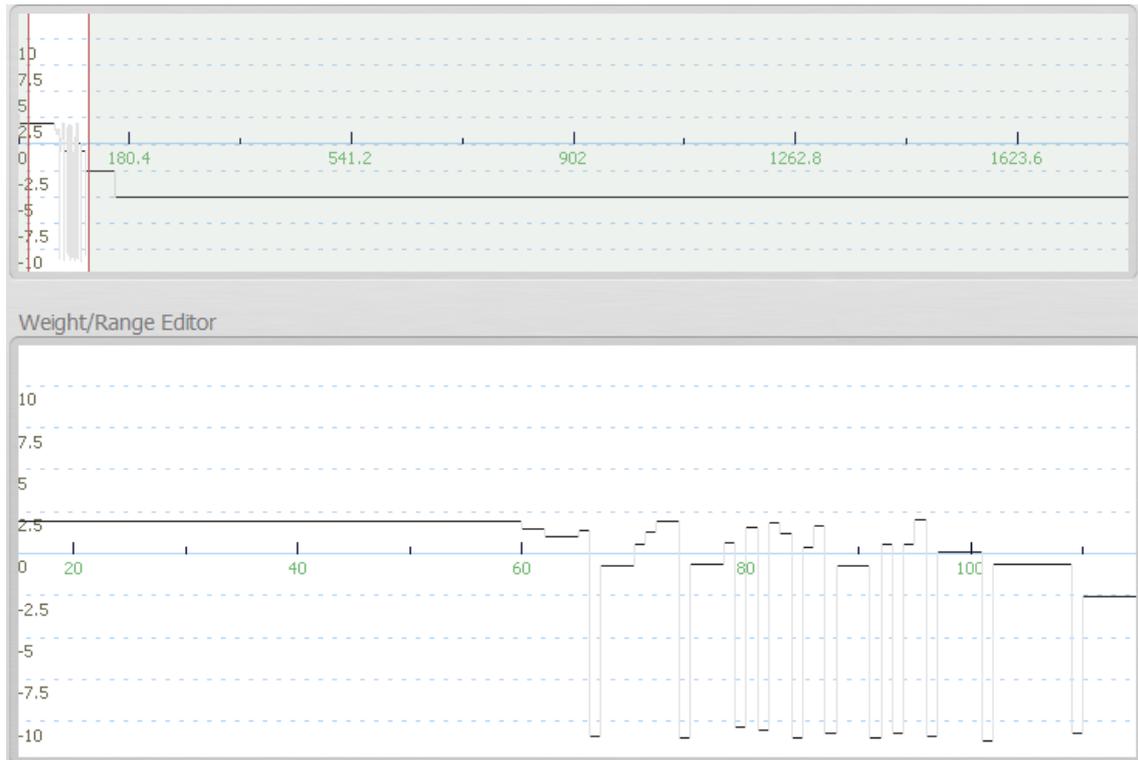


Gráfico 02: Pesos de evidência – variável altimetria

### PARNA Serra da Bocaina

Para representar a variável distância do Parna da Serra da Bocaina (gráfico 03) foi utilizado um arquivo raster apenas com a extensão territorial pertencente ao município de Paraty. Logo, esta variável possui apenas um intervalo (UC de uso integral) e devido a isto, para atribuir pesos de evidência, gerou-se um raster de distância do Parna. O resultado apresentou mais intervalos e com valor maior para a repulsão de áreas urbanas, principalmente para intervalos mais distantes do Parna. O intervalo de 8 a 9, mais próximo do Parna também apresenta repulsão de manchas urbanas, já os intervalos médios de 4 a 6 atraem as mesmas e o intervalo 7 não exerce influência sobre o modelo.

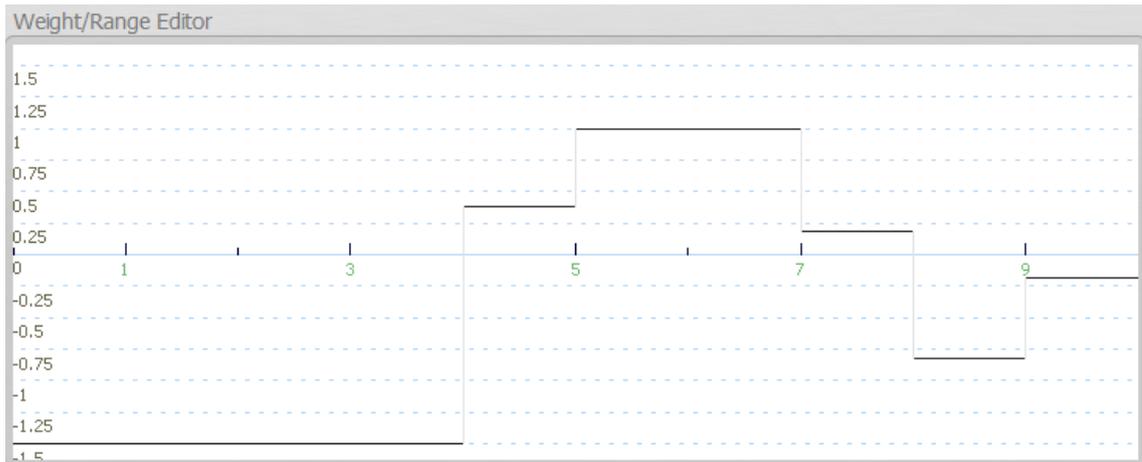


Gráfico 03: Pesos de evidência – variável: distância do Parna da Serra da Bocaina

### Declividade

É notório a influência da declividade (gráfico 04) para a expansão urbana em Paraty. Entre os valores de 0% a 7%, no qual o relevo varia de plano a ondulado, a expansão urbana mostra-se favorável. Posteriormente, com 8% e 9% passa a não influenciar no modelo, e a partir de 10% com o relevo moderadamente ondulado a forte ondulado (15% – 45%) apresenta apenas valores negativos, repelindo as manchas urbanas.

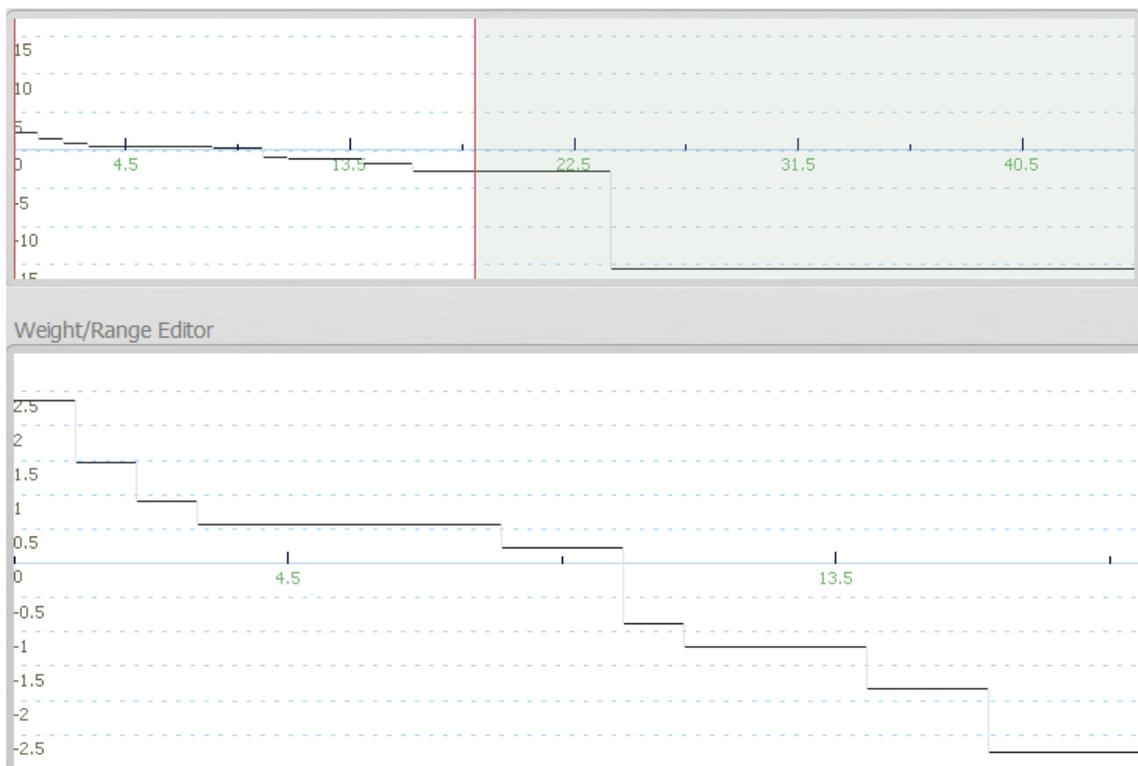


Gráfico 04: Pesos de evidência – variável: declividade

### Estradas principais

A variável distância das estradas principais (gráfico 05) demonstrou um resultado diferente do esperado. Acreditava-se que a mesma teria um peso favorável para atração de manchas urbanas, contudo houve uma variação entre valores positivos e negativos. Os primeiros intervalos, ou seja, aqueles mais distantes das estradas não exercem influência sobre a expansão urbana, seguido por um intervalo negativo e outro positivo, depois se mantém negativo, volta a alternar entre positivo e negativo e mais próximo às estradas apresenta momentos de não interferência e de atração das manchas urbanas.

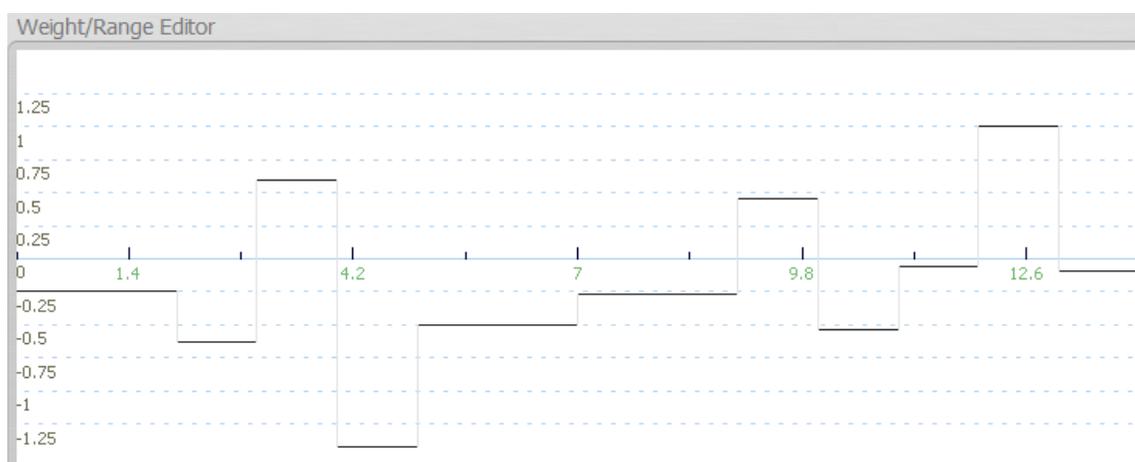


Gráfico 05: Pesos de evidência – variável: distância das estradas principais (BR-101 e RJ-165).

### Hidrografia

A variável distância da hidrografia (gráfico 06) apresentou um resultado demasiado variado. Os primeiros intervalos, aqueles mais distantes da hidrografia apresentaram pesos positivos, logo atraem a expansão urbana. Existe uma quantidade significativa de curtos intervalos negativos que segundo o teste de significância não exercem influência sobre o modelo, sendo assim, poderiam ter sido excluídos do mesmo. Da mesma forma, há vários intervalos próximos de zero que não interferem na expansão urbana. A partir do intervalo 118, mais próximo aos rios, a variável demonstra sequência relevante de pesos positivos, que apesar de possuírem curtos intervalos, são significativos para a expansão urbana de acordo com o teste de significância estatística.

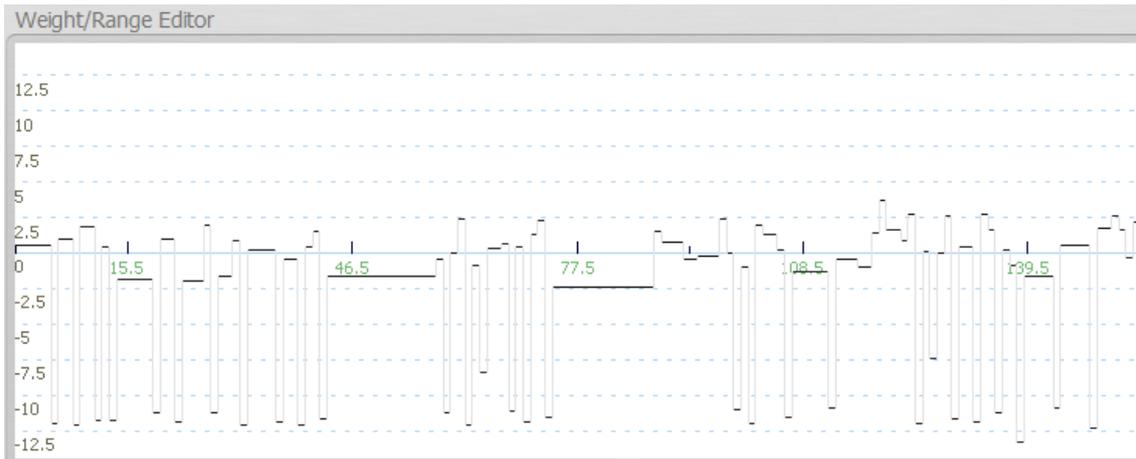


Gráfico 06: Pesos de evidência – variável: distância da hidrografia

### Proximidade com o mar

Percebe-se que a proximidade com o mar (gráfico 07) é um fator de atração urbana apenas para os intervalos mais próximos da linha de costa, representada pelos últimos intervalos 5 e 6. Os demais valores, que se distanciam do mar apresentam pesos negativos, isto é, repelem as manchas urbanas, salvo pelo intervalo 2 que não influencia no modelo.



Gráfico 07: Pesos de evidência – variável: proximidade com o mar.

### Arruamento

A variável distância do arruamento (gráfico 08) apresentou mais intervalos com pesos positivos, que atraem a expansão urbana. Os primeiros intervalos, aqueles mais afastados das ruas exibiram pesos positivos, seguido por um intervalo negativo, e por uma sequência de intervalos positivos. No intervalo 7, volta a apresentar peso negativo e à medida que se aproxima do arruamento torna-se positivo, salvo pelo intervalo 9 com alto valor negativo, contudo segundo o teste de significância, este não interfere no modelo e com isso, poderia ter sido descartado.

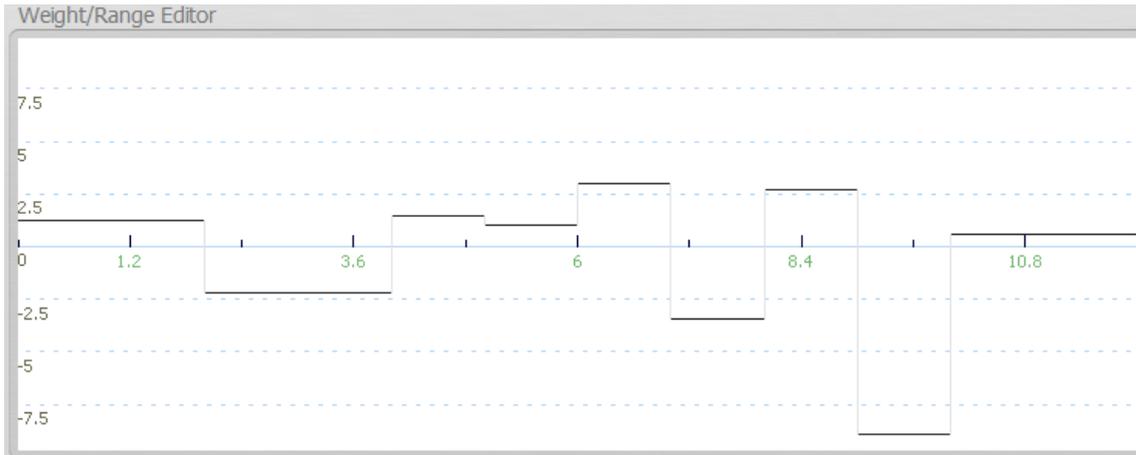


Gráfico 08: Pesos de evidência – variável: distância do arruamento.

### Distância de áreas urbanas

A variável distância de áreas urbanas (gráfico 09) é incorporada pelo próprio Dinamica EGO como uma variável dinâmica, assim denominada devido sua atualização durante a iteração. Para este fim, é utilizado o *functor* “*Calc Distance Map*” que recebe como entrada o mapa de paisagem inicial. Como resultado é gerado um mapa de distância que considera a proximidade de áreas previamente urbanizadas sobre a probabilidade de novas áreas urbanas. Os primeiros intervalos demonstram uma associação positiva, atraindo as manchas urbanas, os intervalos médios mostram valores próximos de zero, o que significa que não exercem efeito sobre a expansão urbana e os intervalos finais mostram valores negativos, repelindo as manchas urbanas.

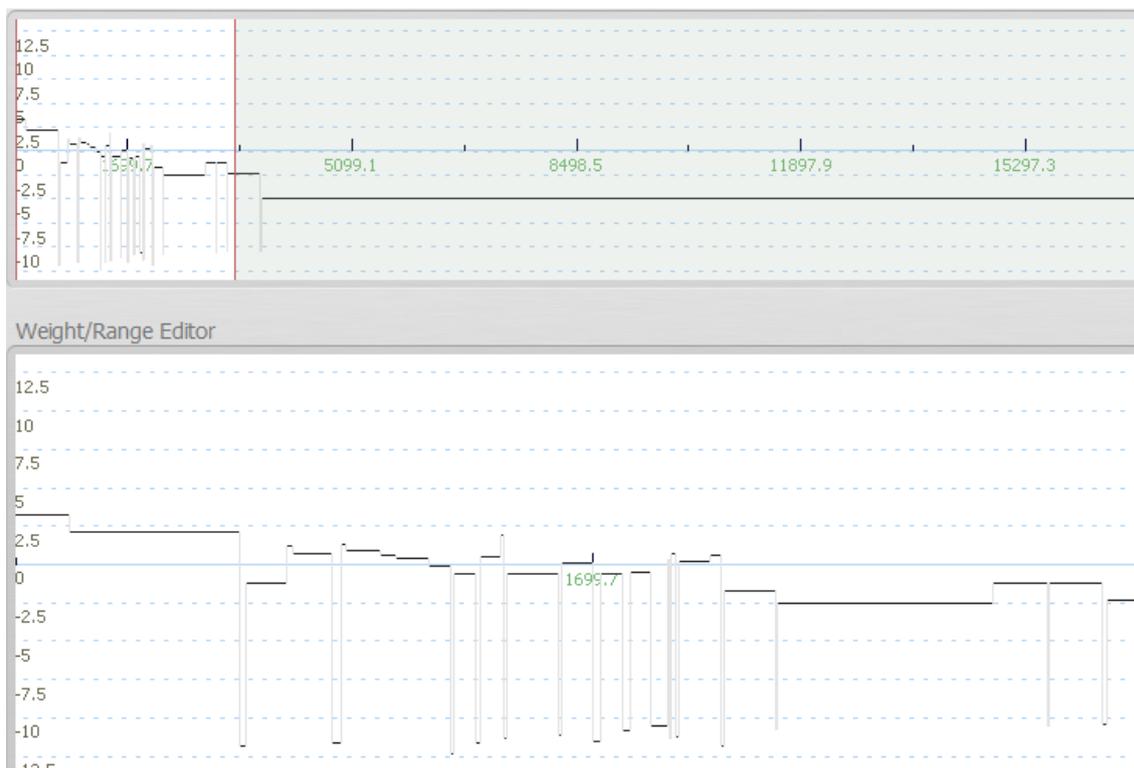


Gráfico 09: Pesos de evidência – variável: distância de áreas urbanas.

Em relação a condição de independência espacial das variáveis para a utilização do método pesos de evidência, o teste de Cramer e da Incerteza da Informação Conjunta, demonstrou que nenhuma das variáveis empregadas apresentou significativa correlação espacial. Logo, nenhuma variável foi descartada.

#### 5.6.4 Validação do modelo de simulação 2005 – 2015.

No Dinamica EGO é possível testar diversos parâmetros de simulação do uso e cobertura da terra de forma a encontrar aqueles que melhor se ajuste a área e ao objetivo do estudo. Uma das maneiras de configurar o modelo é parametrizar os dados de entrada como o *mean patch size*, *patch size variance* e o *patch isometry* que permitem a formação de uma variedade de tamanhos e formas de manchas de mudança. O tamanho médio das manchas e a variância são medidas em hectares e a isometria é um valor que varia de 0 a 2. A medida que esse valor diminui as manchas tornam-se mais lineares, a medida que aumenta, tornam-se mais isométricas.

Após alguns testes, definiu-se o valor de 0.36 ha para o tamanho médio das manchas e 0.72 ha para a variância devido a resolução espacial da imagem Landsat. Como os pixels do Landsat 5 e 8 possuem 900 m<sup>2</sup>, em hectare, corresponde a 0.09, assim, as manchas a serem formadas terão em média 4 células e uma variância de 8 células. A respeito da isometria, uma

vez que a expansão de manchas urbanas possui formas mais regulares representadas por retângulos, quadrados como os loteamentos e outros, definiu-se o valor de 1 para a isometria, nem tanto linear, nem tanto isométrico, pois por meio de análise visual, nota-se que a expansão urbana na cidade ainda ocorre de forma irregular.

Outro aspecto a ser parametrizado é a porcentagem de células a serem alteradas por transição. Essa porcentagem é dividida para duas matrizes: *Modulated Changes and Complementary Changes*. A primeira é passada para o *functor Expander* e a segunda para o *Patcher*. Por exemplo, inserindo o valor de 0.2 significa que 20% das mudanças vão para *Expander* e o restante para o *Patcher*.

As simulações a seguir (figuras 71, 72 e 73) resultam de alguns testes modificando a porcentagem de células a serem alteradas pela matriz de transição de forma a encontrar aquela que mais aproxima-se do mapa de cobertura da terra de Paraty em 2015 para posteriormente gerar cenários futuros. Os parâmetros de cada simulação são apresentados abaixo:

Simulação I: é atribuído 0% para as alterações feitas por transição, logo os *functor Expander* e *Patcher* operam apenas com o mapa de probabilidade de transição e com os parâmetros abaixo.

- Matriz de transição: 0%
- *Expander*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.
- *Patcher*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.

Simulação II:

- Matriz de transição: 20%
- *Expander*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.
- *Patcher*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.

Simulação III:

- Matriz de transição: 50%
- *Expander*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.
- *Patcher*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.

Simulação IV:

- Matriz de transição: 100%
- *Expander*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.
- *Patcher*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 1.

Simulação V: Para que apenas o *functor Expander* gere manchas a partir daquelas previamente existentes, foi atribuído o valor de 0.001 ha para o *functor Patcher* para não ocorrer a formação de manchas já que o tamanho de 1 ha corresponde a 0.09.

- Matriz de transição: 80%
- *Expander*: tamanho médio da mancha: 0.72 / variância: 0 / isometria: 2.
- *Patcher*: tamanho médio da mancha: 0.001 / variância: 0 / isometria: 1.

Simulação VI: Nesta simulação apenas o *functor Patcher* formará manchas.

- Matriz de transição: 20%
- *Expander*: tamanho médio da mancha: 0.001 / variância: 0 / isometria: 1.
- *Patcher*: tamanho médio da mancha: 0.36 / variância: 0.72 / isometria: 2.

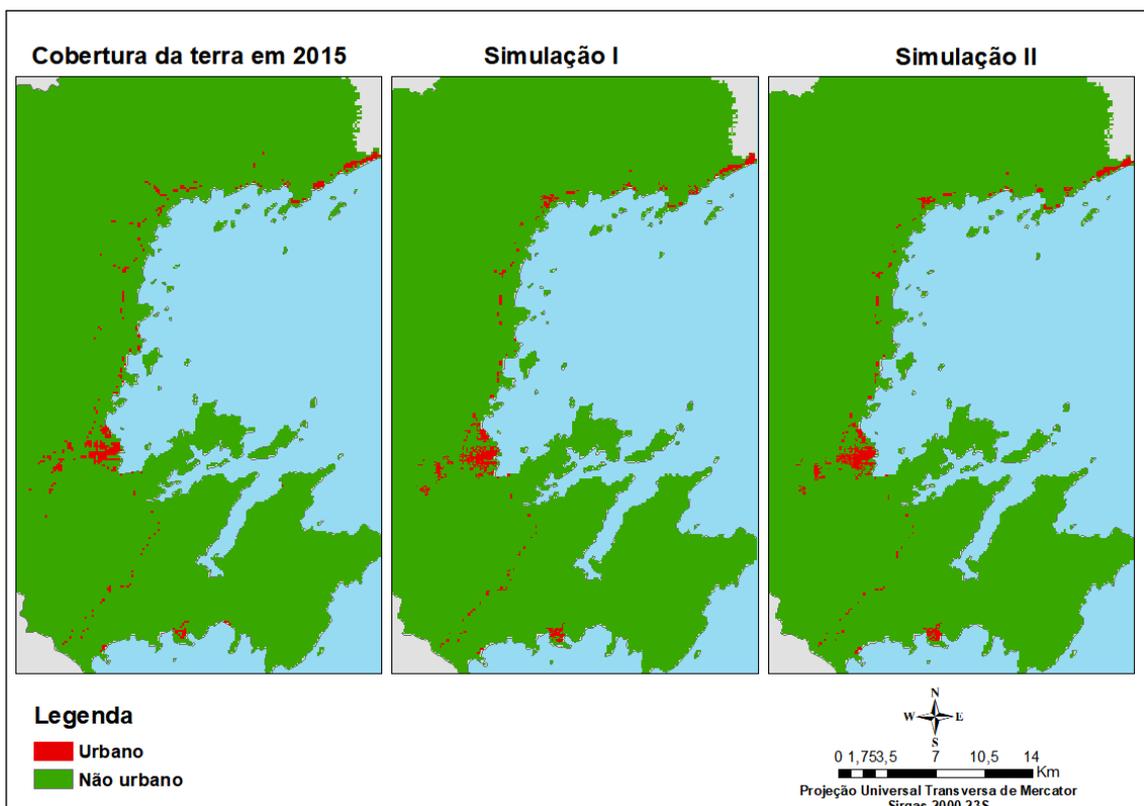


Figura 71 – Simulações I e II comparadas com a cobertura da terra de Paraty – 2015.

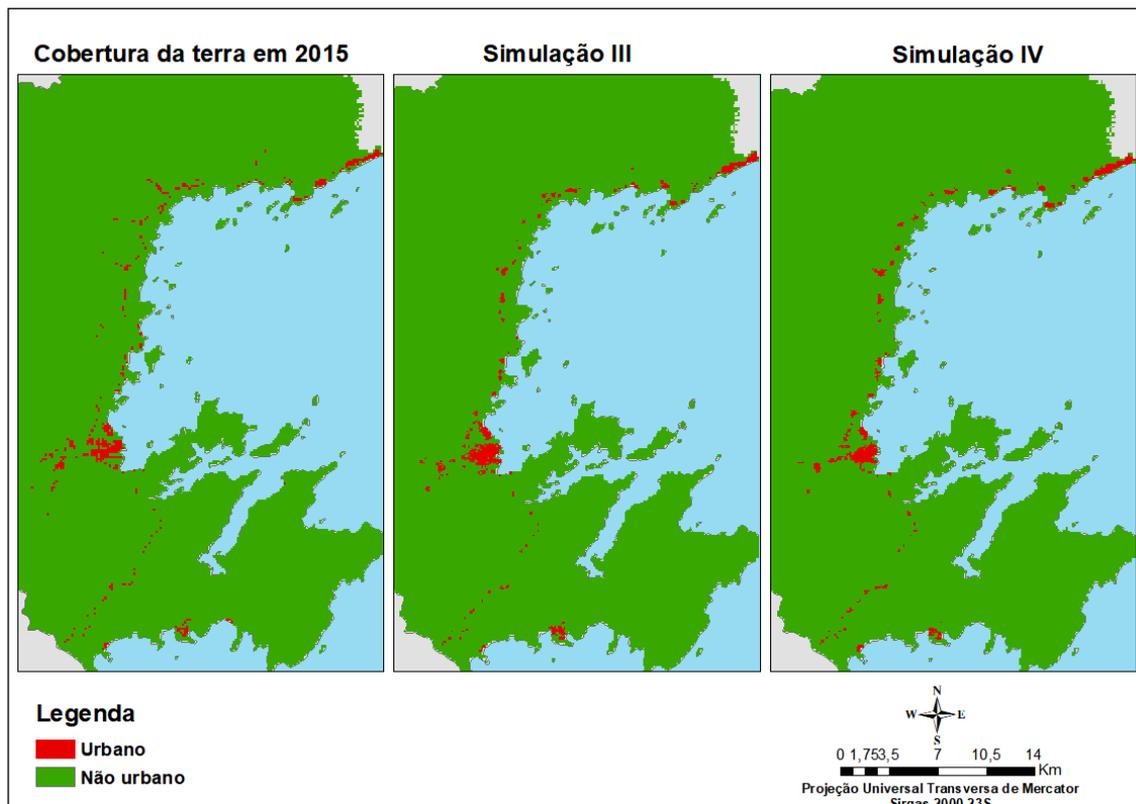


Figura 72 – Simulações III e IV comparadas com a cobertura da terra de Paraty – 2015.

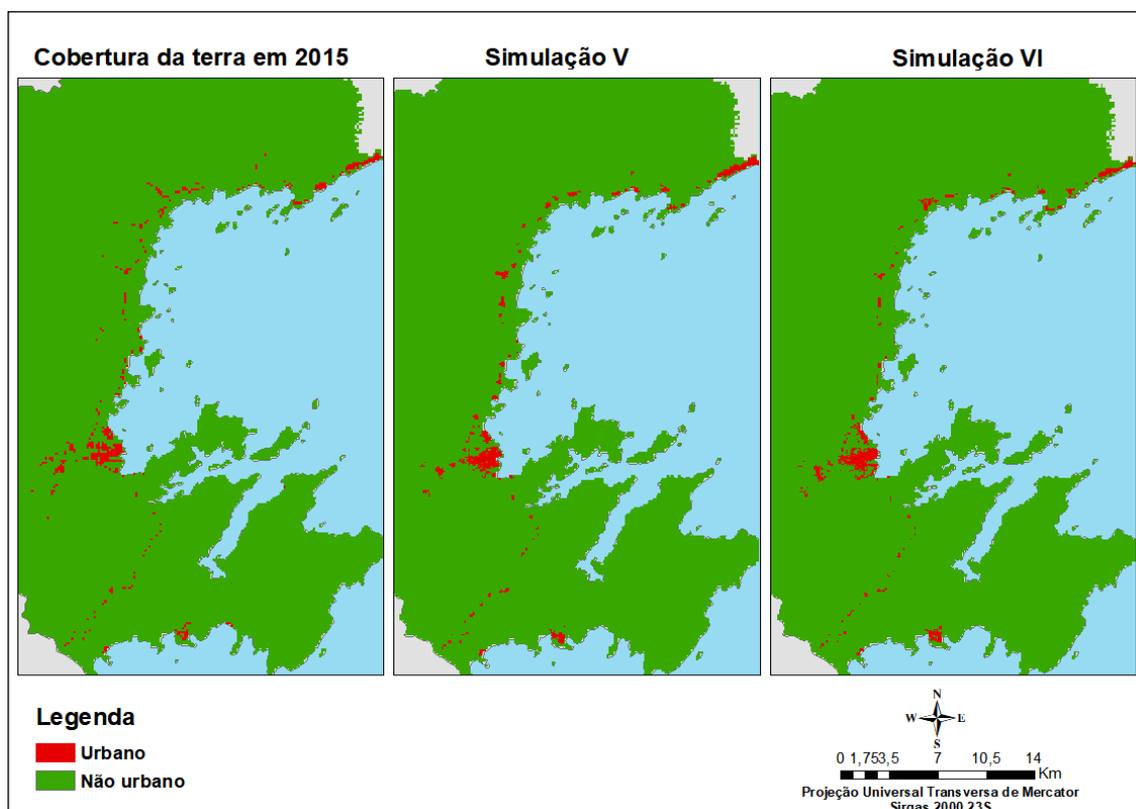


Figura 73 – Simulações V e VI comparadas com a cobertura da terra de Paraty – 2015.

A partir da análise visual das simulações, nota-se que as simulações I, II e III apresentam os melhores resultados, pois são os que mais se assemelham ao mapa de cobertura da terra de 2015. Desta forma, pode-se afirmar que, com os parâmetros utilizados, a atribuição de menor porcentagem para o functor Expander demonstra resultado mais satisfatório. Logo, estes três modelos foram utilizados para o processo de validação através do modelo *Calc Reciprocal Similarity Map*.

#### 5.6.5 Validação com o modelo *Calc Reciprocal Similarity Map*.

Como já mencionado, o mapa de similaridade (figura 74), corresponde à similaridade atingida ao comparar as modificações simuladas com as reais. Assim, as áreas vermelhas e amarelas correspondem a um acordo espacial de alto a moderado, enquanto o azul indica uma associação espacial baixa.

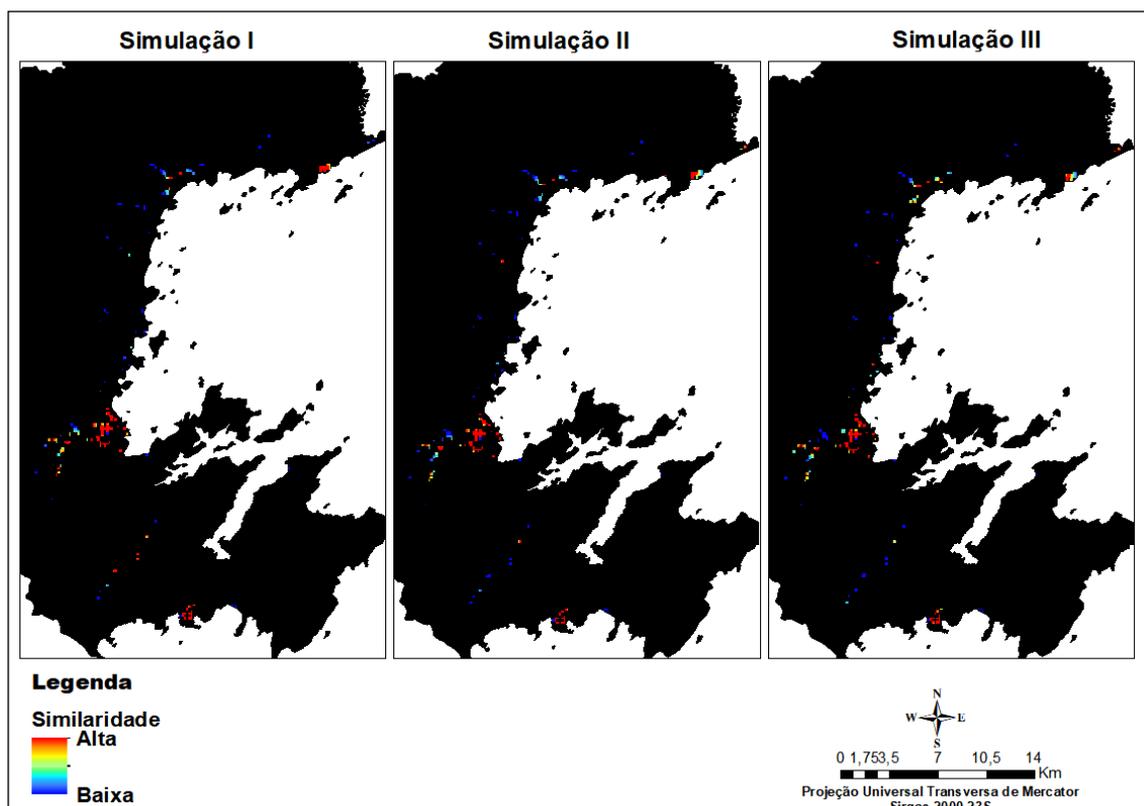


Figura 74: Similaridade espacial entre as simulações I, II e III considerando o mapa de cobertura da terra de 2015 de Paraty.

Apesar das simulações acima não coincidirem célula a célula com o mapa de cobertura da terra de 2015, pode-se considerar que o resultado apresentou uma aproximação aceitável, considerando que o crescimento urbano depende de inúmeros outros fatores não considerados no modelo como dados sociais, políticas públicas, economia e etc., e que estes nem sempre são

passíveis de serem premeditados. Assim, também após análise visual, considerou-se que a simulação I apresentou similaridade maior em relação ao mapa de cobertura da terra de Paraty referente a 2015, e devido a isto, será estipulado os mesmos parâmetros para construção do mapa de cenário futuro para 2030.

Lembrando que a simulação I trabalha com uma matriz de transição de 0%, ou seja, apenas o mapa de probabilidade de transição (figura 75) é considerado. Neste mapa, as cores variam do azul ao vermelho, isto é, quanto mais próximo do azul, menor a probabilidade de transição para áreas urbanas e quanto mais próximo do vermelho, maior a probabilidade de transição. Assim, percebe-se que as áreas com maior probabilidade de transição concentram-se ao redor da BR-101, a oeste do Centro de Paraty, em derredor de alguns rios e vias de acesso como em São Gonçalo, Taquari, São Roque, Graúna e outros; e a linha de costa, que se apresenta como um critério considerável para atração de manchas urbanas.

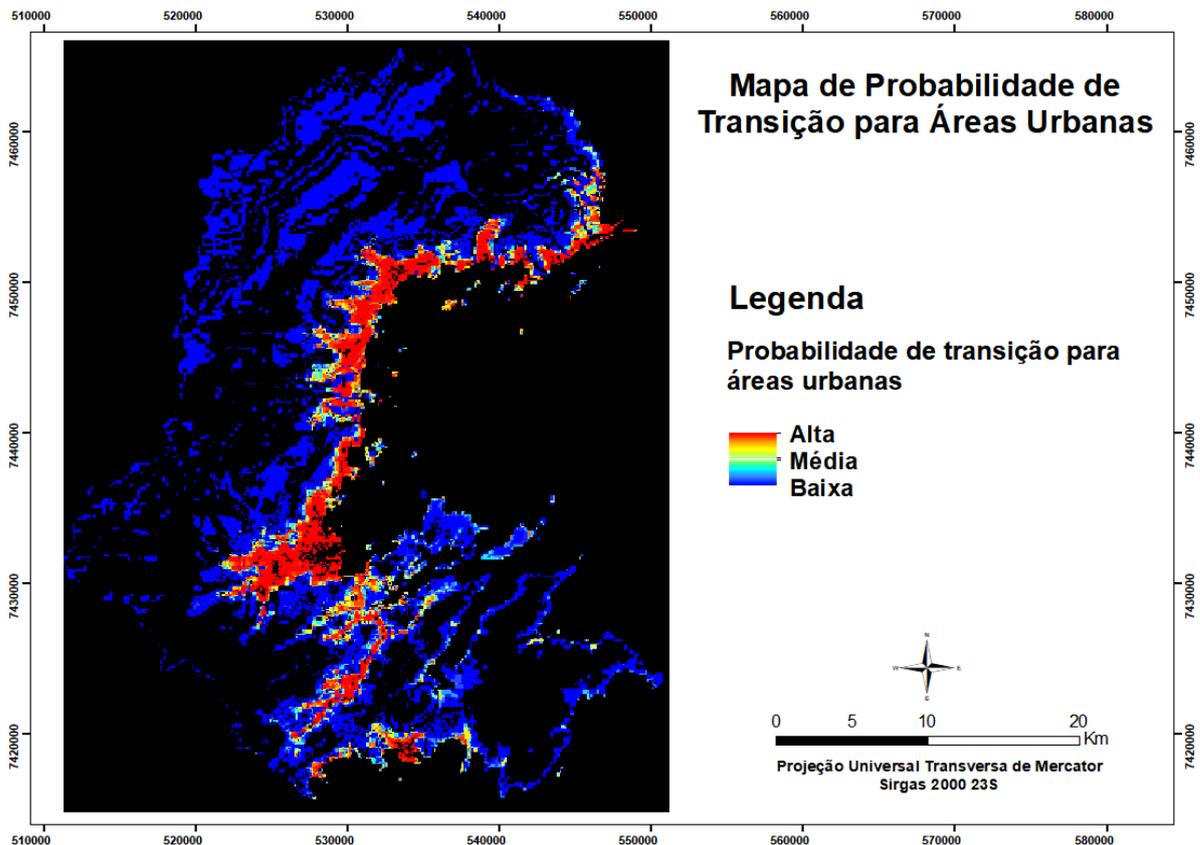


Figura 75: Mapa de probabilidade de transição para áreas urbanas.

#### 5.6.6 Construção de cenários futuros de médio prazo.

O mapa de simulação do cenário futuro de Paraty em relação à expansão urbana para o ano de 2030 (figura 76) foi gerado com os mesmos parâmetros da simulação I, ou seja, não foi

considerado a matriz de transição. Apesar disso, é notório que o cenário de expansão urbana para 2030 seguiu um padrão semelhante as transições de 2005 a 2015. No que concerne ao aumento de manchas urbanas em área, em 2015, as mesmas correspondiam a 10,05 km<sup>2</sup> do município, já no tocante a simulação para 2030, as áreas urbanas representam 16,17 km<sup>2</sup> do território, ou seja, no período de 15 anos houve a expansão de 6,12 km<sup>2</sup> de áreas urbanas.

Em suma, o resultado demonstra a expansão urbana de localidades que exibiram crescimento constante nos anos anteriores, de 1985 a 2015, como a Vila Residencial de Mambucaba, Jabaquara, os arredores do Centro Histórico, Pantanal e o condomínio Laranjeiras. Assim como os bairros que surgiram no período de 2005 a 2015, como Prainha de Mambucaba, Taquari, São Roque, Pedra Branca e Vila Oratório. Ressalta-se também, o crescimento de bairros que anteriormente exibiram crescimento bastante sutil como São Gonçalo, Independência e Novo Horizonte. É possível citar a expansão de outras áreas que pouco destacam-se, a exemplo de Tarituba, Barra Grande, Graúna, Praia Grande, Corumbê, as áreas de marina, Pedras Azuis, Patrimônio, Trindade e Praia do Sono. A seguir, dar-se-á evidência apenas para as áreas que apresentaram crescimento considerável como demonstrado na figura 76.

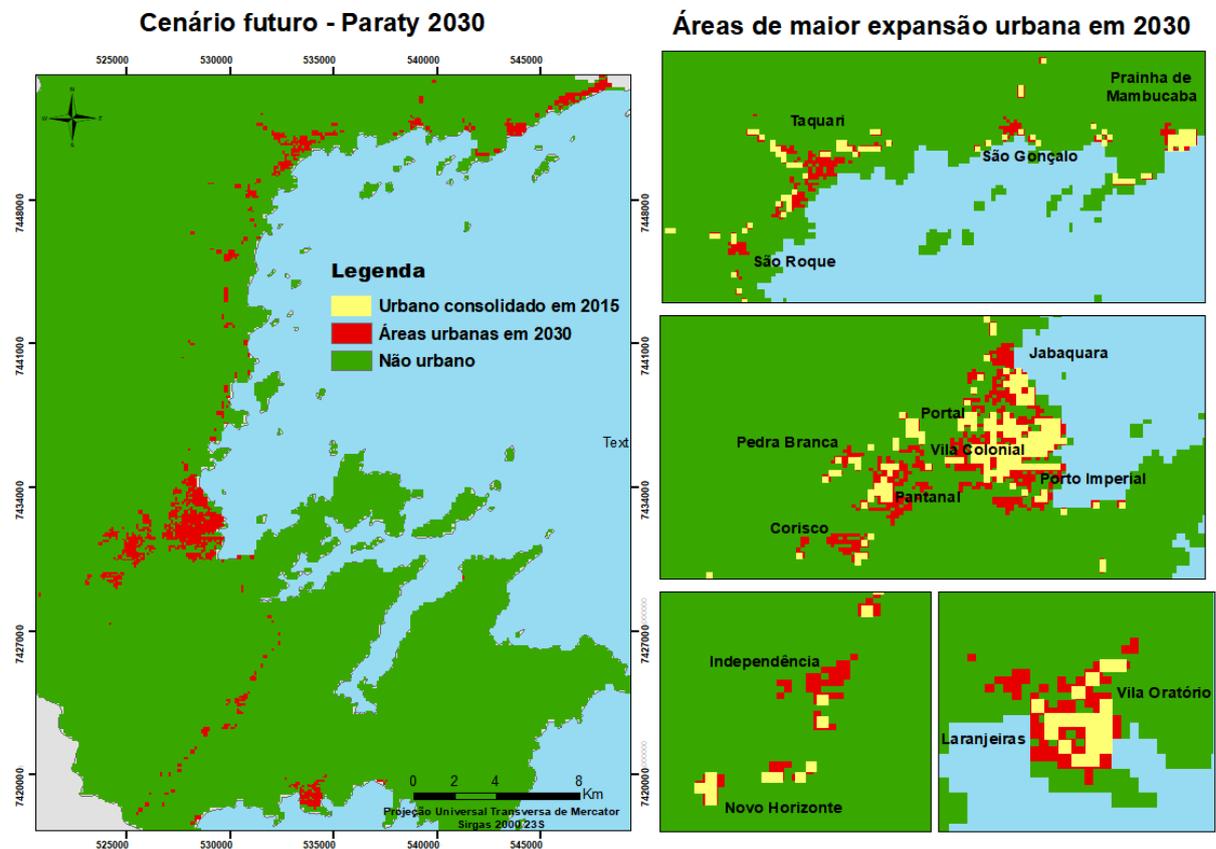


Figura 76: Projeção para a expansão urbana em Paraty para o ano de 2030 destacando as áreas de maior expansão.

### 5.6.7 Análise das áreas de expansão urbana para o ano de 2030.

As áreas a seguir representam aquelas que se destacaram no cenário de expansão urbana para Paraty 2030, de forma a identificar aspectos que possam justificar o possível crescimento urbano dessas localidades, baseado principalmente em observações em campo, entrevistas com a secretaria de Urbanismo e secretaria de Meio Ambiente de Paraty e com técnico do INEA em Angra dos Reis. O escritório do INEA em Angra dos Reis é responsável pelo licenciamento de obras de médio porte, já as obras de pequeno porte como construções residenciais, compete à Prefeitura de Paraty. Outra fonte de informação foi através de consulta as licenças concedidas pelo INEA, como licença prévia, licença de instalação, licença de operação e licença ambiental simplificada, a empresas / instituições com objetivo de implantar projetos de cunho turístico e/ou imobiliário no município. As licenças podem ser consultadas no Portal de Licenciamento do INEA.<sup>5</sup>

Nas imagens do Google Earth que representam cada área de expansão urbana de acordo com a simulação para 2030, os polígonos vermelhos representam a expansão futura, e os polígonos, linhas ou marcadores amarelos indicam os projetos turísticos / imobiliários em fase de implantação ou a serem implantados em Paraty.

#### Prainha de Mambucaba

De acordo com a simulação, as áreas de expansão urbana futura compreendem todo o bairro da Prainha de Mambucaba com destaque para uma área de charco ao norte da BR-101. Na imagem abaixo (figura 77), percebe-se próximo a esta área a abertura de novos caminhos que não existiam até 2015, e moradias dispersas ao longo desses caminhos. Também é evidente a perda de áreas verdes para manchas urbanas a oeste do bairro. Com as informações obtidas sobre a localidade e observações em campo, pode-se dizer que o bairro passa por um momento intrincado. Apesar de ter sido embargado pelo Ibama devido a ocupação irregular e o desmatamento, o bairro apresenta contínuo crescimento que atende uma parcela da população que necessita de lotes urbanos e outra que visa atender um público externo em função do turismo. É notória a quantidade de construções, pousadas e imóveis para locação. A prefeitura também atua no local com cobrança de IPTU apesar do embargo.

---

<sup>5</sup> Acesso as licenças concedidas pelo INEA. <http://200.20.53.7/listalicencas/views/pages/lista.aspx>

[...] O Ibama determinou, ontem, a demolição de cerca de 80 casas construídas irregularmente na prainha de Mambucaba, em Parati (RJ) (BRITO, 2006).

[...] em Paraty (RJ), agora foi a vez das mais de 100 casas erguidas na Prainha de Mambucaba. Embora essa praia fique fora da APA de Tamoios, quase todas as construções, inclusive bares e campings, são irregulares porque não têm licença e estão em áreas de preservação permanente [...] (FANZERES, 2006).



Figura 77: Comparação das imagens históricas do Google Earth 2015-2018 – Prainha de Mambucaba.

### São Gonçalo

Em São Gonçalo a simulação aponta para áreas próximas a BR-101 avançando sobre a área de mata e próximas a praia. Também indica crescimento urbano para alguns trechos ao longo da estrada de São Gonçalo. Observou-se que a localidade aparenta encontrar-se em expansão com parcelamento e venda de lotes, moradias em construção, e quantidade significativa de pousadas e imóveis para locação. Existe maior aglomeração urbana ao longo da estrada principal e vários núcleos dispersos que se expandem a partir de caminhos ligados a estrada principal. Esta encontra-se em bom estado de conservação e o asfalto estende-se até em áreas onde as residências são rarefeitas. No portal de licenciamento do INEA verificou-se diversas licenças vencidas para construções de diferentes condomínios turísticos / imobiliários no Km 544 e 544,5 (São Gonçalo e São Gonçalinho).

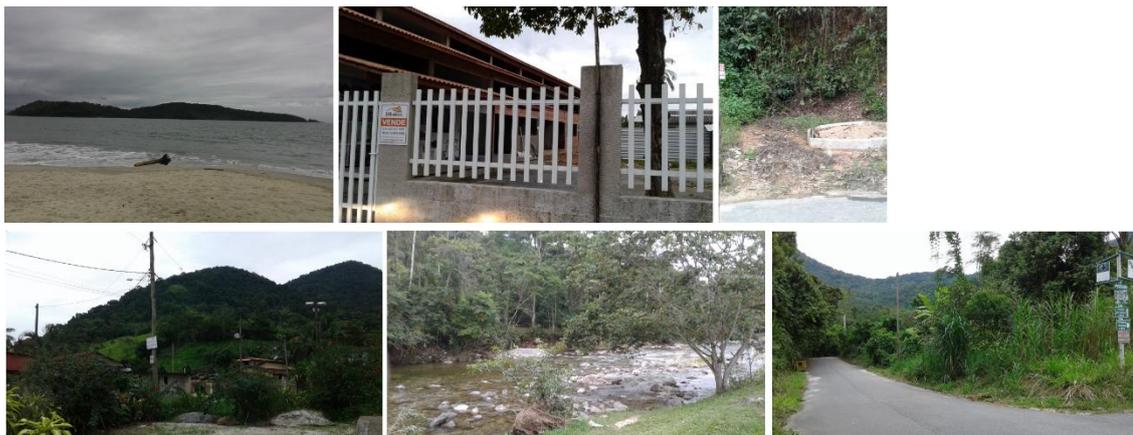


Figura 78: Prainha de Mambucaba, imóvel a venda em São Gonçalo, lote fracionado em São Gonçalo, dispersão urbana, Rio São Gonçalo, estrada de São Gonçalo.

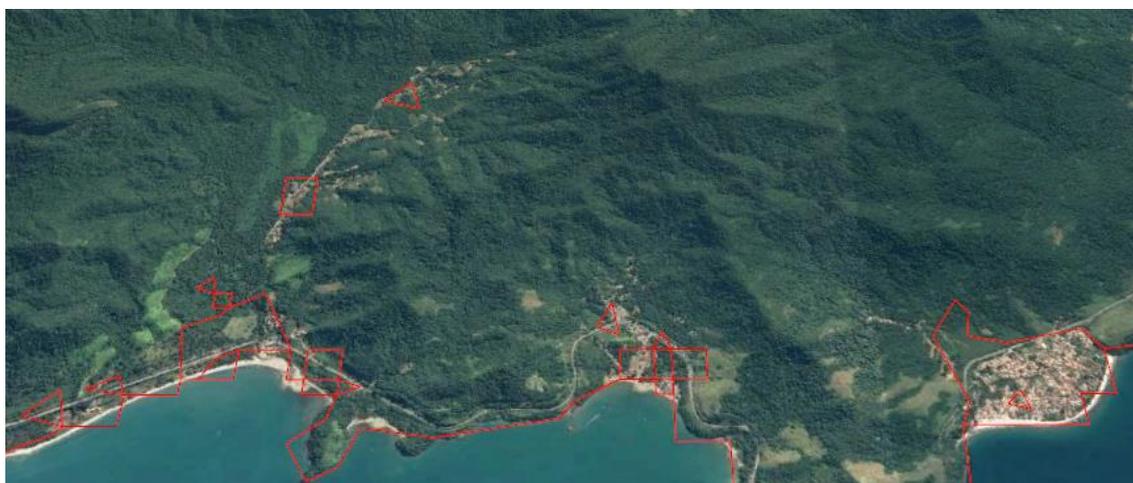


Figura 79: Prainha de Mambucaba a direita e São Gonçalo a esquerda.

## Taquari

Taquari apresentou expressiva expansão urbana no modelo de simulação, principalmente para as áreas de baixada próximas a praia e em menor proporção para o sertão de Taquari. Ao longo da BR-101 desde Tarituba, nota-se cercas e moradias dispersas entre a mata. Em Taquari, próximo a BR-101, encontra-se o condomínio Quintal Club de Paraty, lançado em 2017 (imóveis ainda na planta) com 13 unidades em uma área total de 1.510 m<sup>2</sup> com 02 piscinas, área gourmet, estacionamento e quadra polivalente, tendo como apelo a proximidade das praias de São Gonçalo e Tarituba (Teixeiraimoveisparaty, 2017). Também na área de baixada existe uma licença para construção de oito edificações residenciais unifamiliares e três anexos, totalizando área de projeção de 2.554,63 m<sup>2</sup>, do terreno de 337.518 m<sup>2</sup>, assim como implantação de heliponto e de vias internas com pavimentação de brita e sobre

trilha elevada. Em direção ao Sertão de Taquari encontra-se configuração semelhante aos bairros já citados. Concentração de moradias ao redor da via principal, abertura de novos caminhos, imóveis em construção, a venda, e inúmeras pousadas e chalés.

### São Roque

Em São Roque a indicação de expansão urbana também destaca áreas próximas a BR-101 e da praia, também avançando sobre áreas verdes, assim como dois polígonos menores na Avenida Pau Brasil, a principal do bairro. Através das séries históricas do Google Earth (imagem 80), nota-se o aumento da mancha urbana no bairro de São Roque apenas no período de 03 anos.



Figura 80: Comparação das imagens históricas do Google Earth 2015-2018 – São Roque



Figura 81: Cerca ao longo de terrenos próximos a BR-101 em Tarituba, entrada condomínio Quintal Club de Paraty, terreno a venda próximo a BR-101 entre Taribura e Taquari.

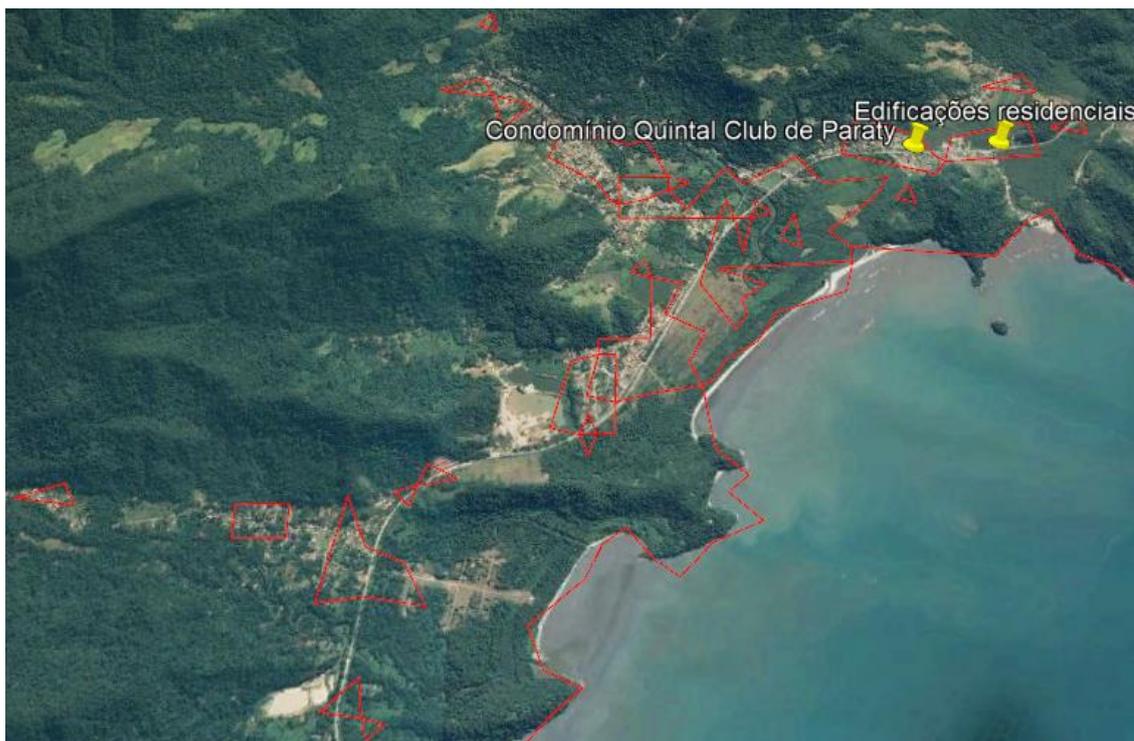


Figura 82: Taquari e São Roque

### Jabaquara

Jabaquara também apresentou crescimento expressivo no modelo de simulação, especialmente ao norte do bairro em área de mangue e ao sul ligando a expansão urbana ao bairro Pontal. Outros trechos que se destacam, encontram-se próximos à BR-101. Em campo, pode-se observar que Jabaquara é um bairro claramente residencial e turístico com vários lotes a venda, construção de residências, vazios urbanos, oferta de variados meios de hospedagem e etc. Existe também um projeto para implantação de uma avenida ligando Jabaquara a um novo loteamento, o Jardim Porto das Canoas, e a partir de informações obtidas na secretaria de Urbanismo de Paraty pode-se traçar um trecho desta avenida (figura 84), que possivelmente dará acesso a BR-101. Outro projeto em fase de implantação é a construção do loteamento citado, Jardim Porto das Canoas, com a oferta de 463 lotes a partir de 360m<sup>2</sup> (Hurbanismo, 2017). Tais projetos possuem sólido potencial para atração de novas áreas urbanas. Contudo, o modelo também apresentou crescimento em uma área de manguezal, ou seja, uma APP. Segundo informação da secretaria de Meio Ambiente, existe uma estrada não pavimentada que liga Jabaquara a BR-101 nesta área de manguezal e que constantemente é fechada pelo INEA. Um dos técnicos deste órgão informou que existe o monitoramento do local na tentativa de evitar lotes irregulares e que a possibilidade de expansão urbana para esta área é pequena.



Figura 83: Implantação de postes na nova avenida de Jabaquara, lote a venda, e loteamento Jardim Porto das Canoas.



Figura 84: Bairro Jabaquara

### Arredores do Centro Histórico

Percebe-se a quantidade de áreas apontadas como expansão urbana futura nos arredores do Centro Histórico. Destas áreas, destaca-se o Portal das Artes, bairro de alto padrão com lotes grandes, diversas pousadas e vários lotes vazios. Em um bairro próximo, no Caborê será implantado uma unidade do Sesc como um centro cultural. Também ressalta-se o crescimento da Vila Dom Pedro e do Porto Imperial, próximo ao Rio Mateus Nunes e do aeródromo de Paraty. O Porto Imperial trata-se de um condomínio que oferta um total de 110 lotes com tamanho médio de 1250 m<sup>2</sup>, distante 1 km da marina Porto Imperial com capacidade para 200 embarcações em vagas secas e 150 em vagas molhadas que também apresentou expansão urbana no modelo de simulação (Portoimperial, 2018). Nas licenças do INEA existem dois projetos para o bairro Caborê, um para implantar loteamento residencial contendo 17 lotes, com

dimensões de 610,07 m<sup>2</sup> a 14.541,70 m<sup>2</sup>, em um terreno com área total de 30.883,73 m<sup>2</sup> e outro para construção de edificação residencial multifamiliar compreendendo 10 unidades distribuídas em dois pavimentos, com 454,45 m<sup>2</sup> de área de projeção, em terreno de 1.589,20 m<sup>2</sup>. No Centro de Paraty, existe um projeto para reforma do Cais de Turismo e urbanização da área próxima, com implantação de cais flutuante, estacionamento de veículos, centro de atendimento a turistas, vias de acesso e áreas verdes.

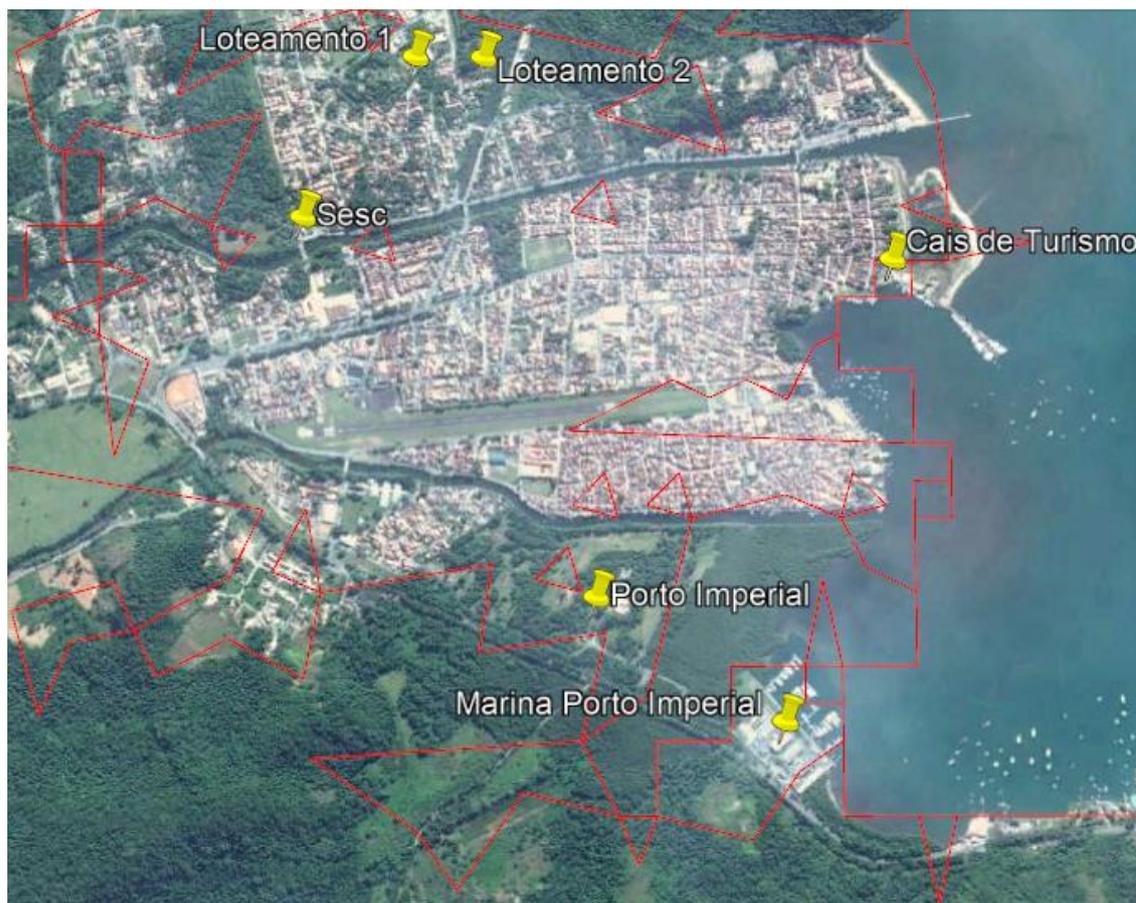


Figura 85: Arredores do Centro Histórico.

#### Pantanal, Ponte Branca, Condado e Corisco

O resultado da simulação das áreas abaixo (figura 87) indicou a expansão urbana de diversos núcleos urbanos dispersos como o Condado, Ponte Branca, Corisco e Pantanal. Estes locais, expandem-se de maneira irregular e com função claramente residencial e turística com expressivo número de meios de hospedagem, restaurantes, atrativos como cachoeiras, alambiques e outros. Além da expansão de áreas urbanas de maneira espontânea, estas áreas são alvos de projetos imobiliários com significativo potencial para o crescimento urbano. Um

destes projetos é o loteamento Portão Vermelho que pode ser visualizado na imagem abaixo. Segundo informações contidas no site do empreendimento, o Portão Vermelho possui uma área total de 144.713,93 m<sup>2</sup> com lotes de tamanhos variados e infraestrutura de um bairro planejado (Loteamentoportaovermelho, 2018). Ressalta-se o projeto de um empreendimento turístico de grande porte, informado pelo INEA, que compreende toda a área representada em amarelo na imagem abaixo, todavia, o empreendimento apresenta dificuldade para aprovar as licenças necessárias para instalação e operação devido à presença de fragmentos de florestas no terreno. Outro projeto informado encontra-se próximo a estrada do Jacú, onde já nota-se a abertura de vias. Nas licenças do INEA há o registro de mais 3 projetos, um na Ponte Branca para implantação de loteamento com 153 lotes e vias públicas, numa área de 117.878,89 m<sup>2</sup>, outro no Jardim Riviera para construção de 39 unidades residenciais unifamiliares, divididas em seis conjuntos, e salão de convivência, ocupando um total de 1.426,57 m<sup>2</sup> de terreno com 5.457,59 m<sup>2</sup> e mais um no Bananal para implantação de empreendimento imobiliário constituído de 27 edificações residenciais unifamiliares e 10 bangalôs para uso como pousada, com três vias de circulação interna, ocupando 11.151,50 m<sup>2</sup> de um terreno de 52.433,30 m<sup>2</sup>.



Figura 86: Núcleos urbanos dispersos, nova construção em condomínio, terreno a venda, loteamento Portão Vermelho.

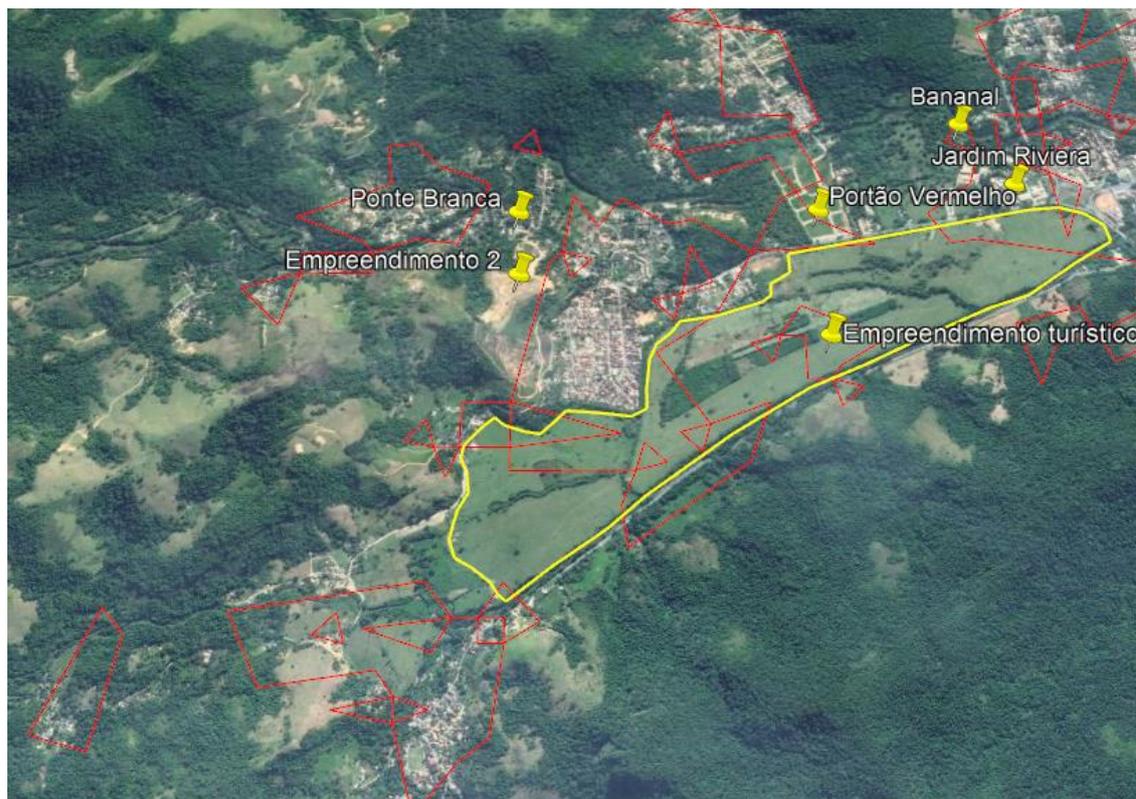


Figura 87: Pantanal, Pedra Branca e Corisco.

### Bairros Independência e Novo Horizonte

As localidades de Independência e Novo Horizonte exibidas abaixo (figura 88) pouco se destacaram em relação à expansão urbana na detecção de mudanças de 1985 a 2015. Contudo, demonstraram crescimento considerável na simulação para 2030. De acordo com informações da secretaria de Meio Ambiente, estes bairros mais o bairro de Pedras Azuis e o distrito de Paraty-Mirim, estão em processo de regularização fundiária pelo ITERJ. Segundo a prefeitura de Paraty, o termo de cooperação técnica com o ITERJ foi entregue em Paraty-Mirim dia 10 de outubro de 2015 (Pmparaty, 2015). Ademais, proprietários de terra iniciaram a venda de algumas parcelas de terra nos bairros de Independência e Novo Horizonte. Tais aspectos podem ser umas das justificativas do recente crescimento destas áreas e influenciar uma futura expansão.



Figura 88: Independência e Novo Horizonte.

#### Condomínio Laranjeiras e Vila Oratório

O modelo de simulação também apontou a expansão urbana para o Condomínio Laranjeiras e Vila Oratório (figura 89). Laranjeiras é um empreendimento turístico/imobiliário de alto padrão que apresenta constante expansão urbana. A mancha do lado oeste do empreendimento também pertence ao Condomínio Laranjeiras. Dentre as licenças consultadas concedidas pelo INEA com validade para o ano 2015 ou posterior, quantidade considerável destina-se a construção de residência unifamiliar no Condomínio Laranjeiras com lotes que variam aproximadamente de 1000m<sup>2</sup> a 5000m<sup>2</sup>, o que demonstra que o local permanece em expansão. Já a Vila Oratório demonstrou maior crescimento, neste estudo, apenas no período de 2005-2015. Não foi possível analisar este local durante o campo, contudo, nota-se ser um bairro unicamente residencial.



Figura 89: Laranjeiras e Vila Oratório.

Além das localidades explicitadas acima apontadas pelo modelo de simulação de expansão urbana, identificou-se o crescimento e projetos para outras áreas como o condomínio Bougaville lançado em 2017 com 14 unidades residenciais ocupando área de 769,40 m<sup>2</sup> em Boa Vista. Outro empreendimento para o mesmo local constitui-se de 18 unidades residenciais em área de 987,65m<sup>2</sup>, e implantação de marina em área de 1534,47m<sup>2</sup>. Destaca-se também projeto para um empreendimento turístico/imobiliário com 14.971,50 m<sup>2</sup> de área construída, compreendendo 72 edificações residenciais (casas e bangalôs) e demais construções destinadas a lazer, em terreno com área total de 460.107,30 m<sup>2</sup> na Várzea do Corumbê. Outros projetos que possuem potencial para atração de áreas urbanas é a pavimentação de um trecho de 3,7 km da estrada Paraty-Mirim, pavimentação da Estrada do Jacu, que liga as localidades de Pantanal ao Corisco, num trecho de 2.766,48m.

#### 5.6.8 Simulação da expansão urbana a médio prazo a partir de projetos turísticos / imobiliários.

A partir da identificação de novos projetos turísticos/imobiliários em fase de implantação ou a serem implantados em Paraty, criou-se dois cenários (figura 90), demonstrando a possível influência dos mesmos sobre o território no que concerne a atração de manchas urbanas. A respeito da duplicação da BR-101 mencionada anteriormente, e que se tentava utilizar como uma variável para a construção dos cenários futuros, foi informado pela Superintendência Regional do DNIT em Angra dos Reis, que este projeto “ainda não saiu do papel”. Contudo, pode-se conferir no DNITGeo, o traçado da duplicação da BR-101 de Itaguaí a Mangaratiba.

Dos cenários abaixo, o primeiro representa um contexto de expansão urbana menos acelerado e o segundo retrata uma condição de boom imobiliário. Nota-se que nestes cenários, a expansão de novas áreas permanece concentrada no centro de Paraty e dispersam-se de forma menos intensa para áreas próximas como Jabaquara, Pantanal, Condado, Ponte Branca e outros. Na condição de boom imobiliário essas áreas chegam a aglutinar-se com o centro de Paraty, formando uma única mancha, haja vista a quantidade de projetos destinados a estas localidades. Neste cenário, tanto o crescimento urbano espontâneo quanto o causado pela presença do empreendimento, contribuíram para o aumento significativo da mancha urbana na Várzea do Corumbê, de forma a aproximá-la do bairro Jabaquara. Também próximos ao centro da cidade, verifica-se crescimento considerável dos bairros Jabaquara, Porto Imperial e Boa Vista. Já nos núcleos urbanos dispersos, o bairro de Taquari aproxima-se do Sertão do Iriri, devido à influência dos empreendimentos.

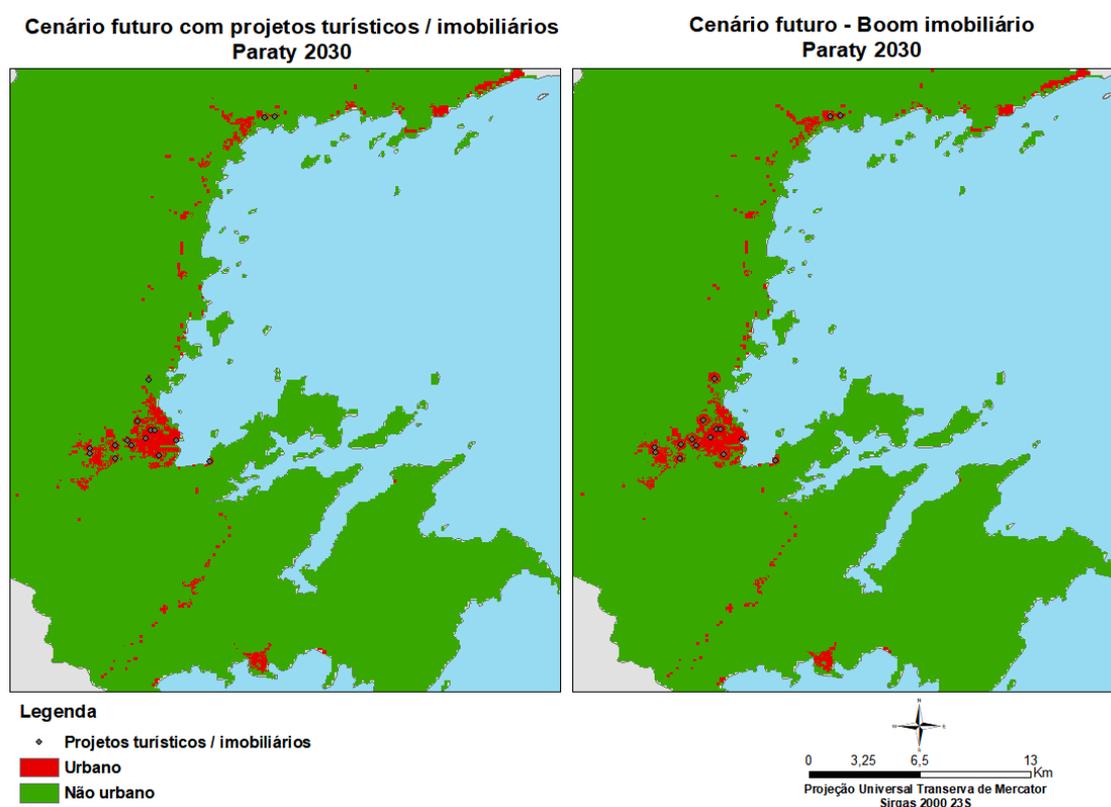


Figura 90: Cenários futuros a partir da implantação de projetos turísticos / imobiliários em Paraty para o ano de 2030. O cenário a esquerda representa um contexto de expansão urbana menos acelerado e o da direita um cenário de boom imobiliário.

Sabe-se que Paraty possui forte cultura voltada para comunidades tradicionais como caiçaras, quilombolas e indígenas e que o turismo tanto pode ser fator de fortalecimento cultural, econômico e outros, como facilitador da degradação das mesmas através de impactos como especulação imobiliária, expansão urbana desordenada, conflitos por terra,

desterritorialização, gentrificação, segregação socioespacial e etc. Apesar do modelo de simulação de expansão urbana 2030 baseada em projetos turísticos/imobiliários não ter indicado o crescimento significativo de manchas urbanas em território de comunidades tradicionais, o que pode ser verificado na figura 91 abaixo, embasado neste modelo, algumas destas comunidades demandam maior atenção, como as comunidades caiçaras de São Gonçalo e São Gonçalinho, onde a simulação demonstrou razoável expansão urbana e a comunidade quilombola do Quilombo do Campinho com o crescimento considerável de novas áreas. Outras comunidades, com menor impacto do crescimento de manchas urbanas, foram as de Tarituba, Trindade e Praia do Sono.

O mapa abaixo, também retrata as zonas de expansão das vilas caiçaras e as zonas de expansão residencial e turística segundo o zoneamento da APA Cairuçu e a localização de comunidades tradicionais em Paraty de acordo com o OTSS Bocaina. Todas as comunidades próximas a costa são caiçaras, logo nota-se que as zonas de expansão das vilas caiçaras delimitadas na APA do Cairuçu não abrangem a localização de todas as comunidades existentes apontadas pelo OTSS Bocaina. Outrossim, são as áreas destinadas a expansão residencial e turística, onde algumas delas compreendem a localização de comunidades tradicionais indicadas pelo OTSS Bocaina, como o Quilombo do Cabral e do Campinho, Ponta Grossa e Trindade. Atrai a atenção a comunidade caiçara de Trindade, devido seu engajamento observado em campo frente a luta para manutenção do território e para se organizar como local de potencial atrativo turístico, e não ter uma zona destinada para expansão caiçara, tendo somente, uma zona para expansão residencial e turística.

Dentre as licenças do INEA algumas destinam-se a construção de residência unifamiliar com lotes grandes, o que configura um imóvel de alto padrão para o Saco do Mamanguá, e a tentativa de implantação de bangalôs e píer de acesso na Ponta da Caieira em Paraty-Mirim em 2015, o que demonstra que existe procura para esses locais onde se encontram várias comunidades caiçaras.

Também deve-se alertar para determinados projetos turísticos contidos no Plano Estratégico de Turismo de Paraty, como o Projeto de Atração de Investimentos Privados e o Programa de Desenvolvimento de Novos Roteiros, incluindo localidades do norte (São Gonçalo, São Gonçalinho e Tarituba); do leste (Ponta Negra, Juatinga, Pouso da Cajaíba, Saco do Mamanguá); do oeste (Penha e Corisco) e do sul (Paraty Mirim, Araponga e Quilombo do Campinho). A exceção do roteiro do oeste, os demais destinam-se a território de comunidades tradicionais, e se estes roteiros não partirem de uma organização e empoderamento local, o

fluxo de turistas e a atração de investimentos privados, podem estimular a valorização local e desencadear processos de ocupação de maneira a impactar a estabilidade destas comunidades.

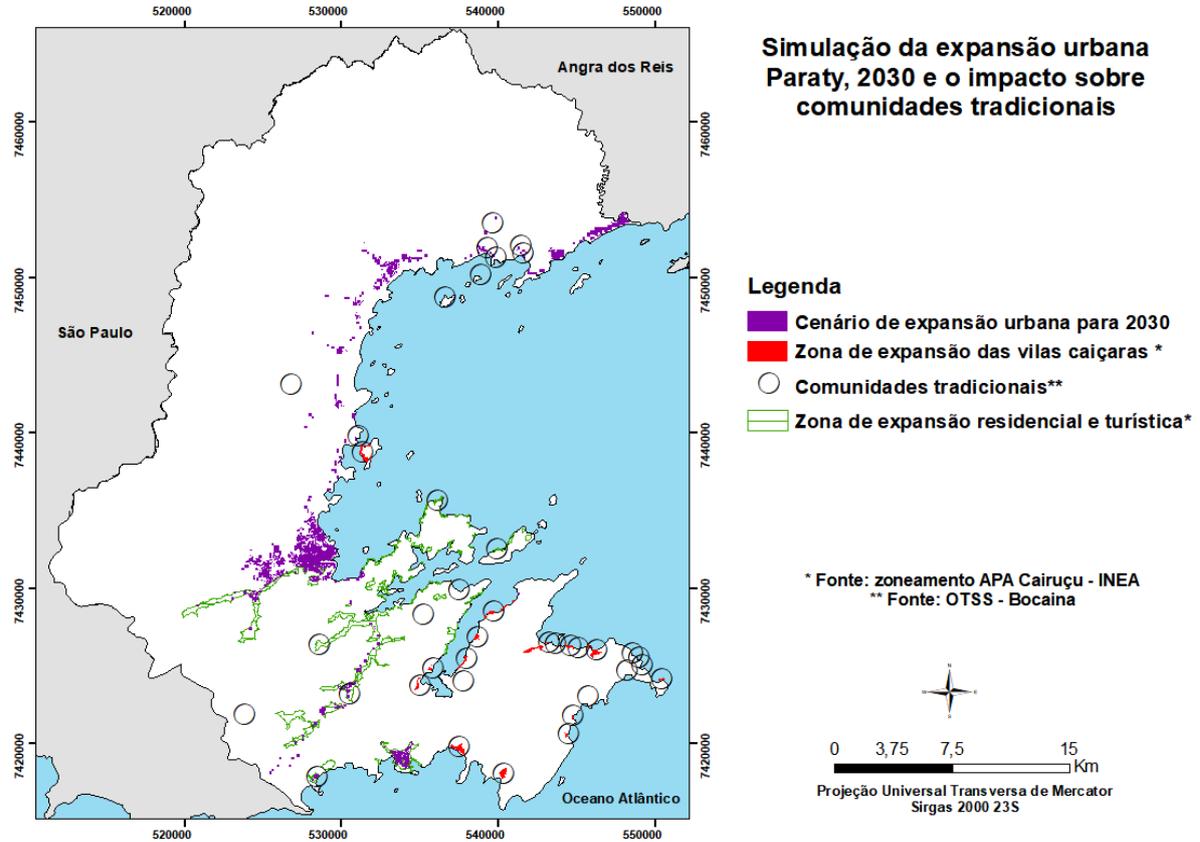


Figura 91: Simulação da expansão urbana em Paraty para o ano de 2030 e o impacto sobre comunidades tradicionais e a relação dos usos conflitantes entre as áreas mapeadas como território de comunidades tradicionais pelo OTSS Bocaina e as zonas de expansão residencial e turística mapeadas pelo INEA.

Em suma, tanto os mapas de detecção de mudanças abrangendo o período de 1985 a 2015, quanto os cenários futuros para 2030 demonstram o crescimento do centro da cidade e dos arredores com diversos projetos turísticos/imobiliários para estas áreas o que indica que continuam em expansão. Também se consolida a dispersão urbana, formada por bairros periféricos que se expandem de maneira informal, possivelmente por dois fortes motivos, a fuga dos preços mais altos no centro da cidade para atender a demanda por habitação e serviços, e a busca por recursos paisagísticos como praias, rios, cachoeiras para geração de receita por meio do turismo. Desta forma, configura-se uma cidade com significativa especulação imobiliária, aquisição de segunda residência, o uso sazonal e com picos do espaço e dos recursos urbanos, saída da população mais carente dos lugares centrais e substituição das residências por serviços como restaurantes, lojas, agências de viagem, e etc., no centro histórico. Ademais, empreendimentos são instalados além do centro, acompanhados pela expansão da malha viária.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade litorânea de Paraty tem apresentado evolução em relação à economia local devido principalmente ao desenvolvimento do turismo que atualmente se constitui na principal atividade econômica da cidade. Também em razão do turismo, o município vivenciou o aumento populacional e o crescimento urbano, que impactou principalmente as classes de menor poder aquisitivo como comunidades tradicionais e trabalhadores rurais, que em virtude da valorização local, perderam suas terras para investidores externos. Dada esta configuração, o presente estudo buscou identificar aspectos desta expansão urbana, como taxa de crescimento, direção e perfil da mesma. Ademais, criou-se cenários futuros de médio prazo para analisar a extrapolação dos mesmos no tempo e verificar a direção das transições urbanas e se coincidiriam com territórios de comunidades tradicionais.

Para tanto, utilizou-se como método, o uso das geotecnologias como o processamento digital de imagens e os sistemas de informação geográfica que mostraram-se satisfatórios para o alcance dos objetivos deste trabalho, considerando a escala utilizada e as características da localidade estudada e replicáveis. Para analisar aspectos da expansão urbana, fez-se uso da detecção de mudanças com o método de pós-classificação para um período de 30 anos, indicando crescimento brando que se acentuou no período de 2005 a 2015.

O resultado da detecção apontou o crescimento do centro da cidade e dos arredores, que se expandem com o tecido desigual, com bairros adensados e com deficiência de infraestrutura como Mangueira e Ilha das Cobras e localidades de alto padrão como o Centro Histórico e Portal das Artes. Outrossim, é a expansão de núcleos urbanos, do norte ao sul, dispersos ao longo da BR-101 e das áreas costeiras. A maioria destes núcleos, estende-se de modo informal, próximos a vias de acesso e cursos d'água, que transformam-se em vetores populacionais, salvo pelo Condomínio Laranjeiras, empreendimento turístico/imobiliário de alto padrão e do bairro Jabaquara. Os bairros localizados em áreas centrais e arredores, tais quais os dispersos em núcleos urbanos compartilham uma função essencialmente residencial e turística, dotados de meios de hospedagem, serviços como restaurantes, lojas de souvenir, agências de viagem, de turismo náutico e outros. Com isso, verifica-se que Paraty cresce de maneira segmentada, utilizando de recursos naturais e paisagísticos para sua consolidação, com diversos vazios urbanos e eclosão de novos loteamentos, geralmente destinados a empreendimentos turísticos/imobiliários e imóveis de segunda residência.

Os cenários futuros da expansão urbana foram criados a partir de modelos baseados em autômatos celulares com a introdução de variáveis que possam explicar o fenômeno estudado

como aspectos naturais, características do relevo, infraestrutura urbana, instrumentos de políticas ambientais e equipamentos turísticos. Apesar das variáveis consideradas no modelo do presente trabalho terem apresentado resultado satisfatório, outras variáveis poderiam ter sido consideradas, e podem ser utilizadas em trabalhos futuros para explicar a expansão urbana em Paraty, como por exemplo, a orientação do relevo, já que a vista para o mar é um critério considerável para o processo de ocupação urbana na cidade.

Em relação as simulações, o resultado das mesmas conduziu a expansão urbana de forma bastante coerente com a transição da cobertura da terra observada no período de 1985 a 2015 em relação as manchas urbanas. Ou seja, os cenários apresentaram a expansão significativa do centro de Paraty e imediações com destaque para o bairro Jabaquara, Porto Imperial e Vila Colonial. O bairro Jabaquara querer atenção especial, pois apresenta uma ampla área de manguezal e, em razão dos projetos em fase de implantação no bairro, como o Condomínio Jardim Porto das Canoas e a nova avenida que ligará Jabaquara ao empreendimento, pode ocorrer a rápida expansão urbana e informal das localidades adjacentes, podendo degradar as áreas de manguezal.

Do mesmo modo, o modelo indicou o crescimento de diversos núcleos urbanos dispersos como Prainha de Mambucaba, Taquari, São Roque, Independência e Novo Horizonte. Em um cenário de boom imobiliário, verificou-se a conexão horizontal de bairros do centro da cidade aos núcleos urbanos periféricos como Pantanal, que se liga ao Condado, Ponte Branca e Corisco.

Os cenários de expansão urbana também alertam para o território de comunidades tradicionais, a exemplo de São Gonçalo, São Gonçalinho e Quilombo do Campinho, pois podem ser ameaçados pela expansão urbana e especulação imobiliária e paisagística, encontrando dificuldade para manutenção dos seus territórios e reprodução do modo de vida. Apesar da simulação não ter apontado significativo crescimento urbano para outras áreas onde habitam comunidades tradicionais, sabe-se que a proximidade com o mar, a beleza paisagística e a baixa densidade demográfica, são características atrativas para implantação de projetos turísticos / imobiliários, e por isso, estas comunidades, principalmente aquelas não incluídas pelo zoneamento da APA Cairuçu como zona de expansão das vilas caiçaras, como Trindade, necessitam encontrar meios de se precaver contra a iminente expansão urbana e contra a ação de grileiros e empresários interessados em suas terras, reconhecendo a importância e o valor cultural, monetário, ambiental e social das mesmas.

Um município com histórico de intensos conflitos por terra como Paraty necessita prover instrumentos de proteção para a população autóctone contra a ação de agentes exógenos

e da especulação imobiliária. É essencial o uso de ferramentas de ordenamento do crescimento da cidade, de maneira a ofertar a população espaços salubres, garantindo os espaços públicos de qualidade e de lazer, evitando a perdura de terrenos ociosos e monitorando áreas sensíveis a urbanização.

A modelagem da expansão urbana por meio de autômatos celulares no software Dinamica EGO, mostrou-se uma ferramenta interessante para construção de cenários futuros, devido sua capacidade de simular processos dinâmicos, que pode ser útil como instrumento de gestão e planejamento do uso e cobertura da terra e como ferramenta preditiva as futuras transformações espaciais. Contudo, este modelo deve ser aplicado para outras áreas com características distintas das de Paraty, pois a mesma apresenta aspectos peculiares de ocupação urbana. Dessa forma, é necessário verificar como o modelo ajusta-se e se comporta aplicado a localidades com áreas urbanas adensadas, sem influência da proximidade do mar como atração para ocupação, com barreiras naturais e leis ambientais diferentes das de Paraty, já que a cidade apresenta quantidade considerável de Unidades de Conservação e, por isso, possui leis de ocupação do solo mais rígidas e outros.

Assim, sugere-se para a continuidade deste estudo, o teste de outros parâmetros de simulação como variação no tamanho e formato das manchas, modelagem dos pesos de evidência a partir do conhecimento empírico do pesquisador sobre a área de estudo, podendo diminuir o recorte espacial para uma única área de interesse, testar diferentes porcentagens consideradas pela matriz de transição e pelos mapas de probabilidade de transição para geração dos mapas de uso e cobertura da terra, incluir variáveis socioeconômicas como as do censo do IBGE e etc. Outra proposta seria trabalhar com imagem de alta resolução para identificar pequenos núcleos dispersos entre as áreas de floresta, que não foram possíveis detectar utilizando imagens da série Landsat devido a sua média resolução espacial.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, P. M. Cities and regions as evolutionary, complex systems. *Geographical Systems*, vol 4. P. 103 – 130, 1997. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/245024105\\_Cities\\_and\\_Regions\\_as\\_Evolutionary\\_Complex\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/245024105_Cities_and_Regions_as_Evolutionary_Complex_Systems) /> Acesso em: 05/12/2017.
- ALMEIDA, C.M. Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP). 2004. 321 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- ALMEIDA, C. M.; BATTY, M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G.; SOARES- FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 5, p. 481-509, 2003.
- ALMEIDA, A.S.; WERNECK, G.L.; RESENDES, A.P.C. Classificação orientada a objeto de imagens de sensoriamento remoto em estudos epidemiológicos sobre leishmaniose visceral em área urbana. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 30 (B): 1639-1653, ago, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pdf/csp/2014.v30n8/1639-1653/pt/>> Acesso em 26/02/2018.
- ALVES, M.L. Análise do uso de autômatos celulares na reprodução de filtros em processamento de imagens. 2015. 90 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Faculdade Farias Brito, Fortaleza.
- ALVES, C.D.; SOUZA, I.M.; PEREIRA, M.N. Análise Orientada a Objeto para a Extração Automática de Áreas Urbanizadas. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, INPE, p. 5187-5189, 21-26 abril 2007. Disponível em: < [marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.12.36/doc/5187-5189.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.12.36/doc/5187-5189.pdf)> Acesso em: 03/10/2017.
- ARREORTUA, L.A.S. **Gentrificación en la ciudad latinoamericana. El caso de Buenos Aires y Ciudad de México.** *GeoGraphos*. [En línea]. Alicante: Grupo Interdisciplinario de Estudios Críticos y de América Latina (GIECRYAL) de la Universidad de Alicante, 24 de febrero de 2013, vol. 4, nº 44, p. 283- 307. Disponível em: < [https://web.ua.es/es/revista-geographos-giecryal/documentos/luis\\_salinas.pdf?noCache=1363271617297/](https://web.ua.es/es/revista-geographos-giecryal/documentos/luis_salinas.pdf?noCache=1363271617297/)> Acesso em: 01/11/2016.
- BANKO, G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data and of methods including remote sensing data in forest inventory. *International Institute for Applied Systems Analysis*, Laxenburg: 1998. Disponível em: < <http://pure.iiasa.ac.at/5570/1/IR-98-081.pdf> /> Acesso em: 29/10/2017
- BAR-YAM, Y. **Dynamics of Complex Systems.** Addison-Wesley. 1ª edition, 1997. Disponível em: < <http://necsi.edu/publications/dcs/Bar-YamSect1.5-6.pdf>> Acesso em: 30/09/2016.
- BATTY, M. GeoComputation using cellular automata. In: Openshaw, S.; Abrahart, R. J.ed. **Geocomputation.** New York: Taylor & Francis, 2000. Cap. 5, p. 95-126.

BELTRAME, E.; BITTENCOURT, H.R.; JANSEN, S.L. Uma proposta para a detecção de mudanças pós-classificação. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p. 1261-1266, 25-30 abril 2009. Disponível em: <[mar.tecnico.unicamp.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.12.34/doc/1261-1266.pdf](http://mar.tecnico.unicamp.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.12.34/doc/1261-1266.pdf)> Acesso em: 03/10/2017.

BRITALDO SILVEIRA SOARES-FILHO, B.S.; FILHO, L.C.; CERQUEIRA, G.C.; ARAÚJO, W.L. Simulating the spatial patterns of change through the use of the dinamica model. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, INPE, p. 721-728, 05- 10 abril 2003. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/bd2f/1a44e27677f414e9f3991ce99302a725c49f.pdf>> Acesso em: 03/10/2017.

BRITO, L. Ibama vai demolir 80 casas em Paraty. *Folha de São Paulo*, 2006. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff0902200619.htm>> Acesso em: 15/02/2018.

CAIXETA, P.R.C. Modelagem espacial da dinâmica da mancha urbana de Viçosa-MG. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em *Magister Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CALLAHAN, P. Conway's Game of Life. The World of Math Online. Disponível em: <<http://www.math.com/students/wonders/life/life.html> /> Acesso em: 12/12/2017.

CÂMARA,G; CARVALHO. M.S. Análise Espacial de Eventos, 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap2-eventos.pdf>> Acesso em: 20/01/17.

CARVALHO, M.V.A.; SILVA, G.F.; CRUZ, C.B.M.; VICENS, R.S. Análise da expansão urbana na cidade do rio de janeiro - área de planejamento 4: ensaios preliminares para a detecção de mudanças híbrida. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 5, n. 8, p.88-104, 2006. Disponível em: <<http://www.tiagomarin.com/continentes/index.php/continentes/article/view/98/93> /> Acesso em: 08/11/2016.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Blucher, 2009.

COELHO DA FONSECA. Disponível em: <<https://www.coelhodafonseca.com.br/imovel-residencial-cf272642-casa-em-condominio-laranjeiras-8-dormitorios-1500-metros-6-vagas/>> Acesso em: 10/01/2018.

CONGALTON, R.G.; ODERWALD, R.G.; MEAD, R.A. Assessing landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, Vol. 49, nº. 12, dez, p. 1671-1678, 1983. Disponível em: <[https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1983journal/dec/1983\\_dec\\_1671-1678.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1983journal/dec/1983_dec_1671-1678.pdf)> Acesso em: 02/11/2017.

COMISSÃO CAMPONESA DA VERDADE. **Relatório final - Violações de direitos no campo 1946 a 1988**. Brasília, 2014. 452 p.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, K.; NACKAERTS, B. M. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, NO. 9, 1565–1596, 10 MAY, 2004.

COSTA, J.P.O.H. **Criação de cenários de expansão urbana com recurso a autómatos celulares no apoio ao planeamento e gestão territorial: Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal)**. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território) - Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.

COUCLELIS, H. **From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation**. *Environment and Planning B Planning and Design*, v. 24, p. 165 -174, 1997.

CPDA-UFRRJ. **Relatório final - Conflitos por terra e repressão no campo no estado do rio de janeiro (1946-1988)**. Rio de Janeiro, 2015. 959 p.

CPT. Centro de Documentação D. Tomás Balduino – Acervo CPT Nacional. Disponível em: <<https://www.cptnacional.org.br/index.php/cedoc-dom-tomas-balduino-da-cpt> /> Acesso em: 23/09/16.

CRUZ, C.B.M.; VICENS, R.S.; SEABRA, V.S. REIS, R.B.; FABER, O.A. RICHTER, M.; ARNAUT, P.K.E.; ARAÚJO, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE, p. 5691-5698, 21-26 abril 2007. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.22.53/doc/5691-5698.pdf>> Acesso em: 05/10/2017.

CRUZ, C.B.M.; ROSÁRIO, L.S.; ABREU, M.B.; ALMEIDA, P.M.M.; VICENS, R.S.; CRONEMBERGER, F.M. Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p. 7789-7796, 25-30 abril 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.16.04.39/doc/7789-7796.pdf> /> Acesso em: 05/10/2017.

CSR.UFMG. Disponível em: <<http://csr.ufmg.br/dinamica/>> Acesso em: 05/12/2017.

DEBONI, B. C. et al. Turismo e Especulação Histórica de Paraty (RJ), 2014. Disponível em: <<https://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/569045/turismo-e-especulacao-imobiliaria-no-centro-historico-de-paraty/>> Acesso em: 01/11/2016.

ECOGNITION. Disponível em: <<http://www.ecognition.com/>> Acesso em: 07/10/2017.

FANZERES, A. *Reação*. Oeco, 2006. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/noticias-1/page/1816/>> Acesso em: 15/02/2018.

FONTES, C. F. L.; GUERRA, A. J. T. Conflitos socioambientais na APA de Cairuçu (Paraty-RJ) à luz da sobreposição com unidades de conservação de diferentes categorias. *Geosp – Espaço e Tempo* (Online), v. 20, n. 1, p. 178-193. 2016.

FOODY, G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, pp. 185–201, 2002. Disponível em: </> Acesso em: 22/08/2017.

FRATUCCI, A.C. A formação e o ordenamento territorial do turismo no estado do Rio de Janeiro a partir da década de 1970. Disponível em: <[http://www.academia.edu/249354/A\\_FORMACAO\\_E\\_O\\_ORDENAMENTO\\_TERRITORIAL\\_DO\\_TURISMO\\_NO\\_ESTADO\\_DO\\_RIO\\_DE\\_JANEIRO\\_A\\_PARTIR\\_DA\\_DECADA\\_DE\\_1970](http://www.academia.edu/249354/A_FORMACAO_E_O_ORDENAMENTO_TERRITORIAL_DO_TURISMO_NO_ESTADO_DO_RIO_DE_JANEIRO_A_PARTIR_DA_DECADA_DE_1970) /> Acesso em: 10/04/17.

FRATUCCI, A.C. **A dimensão espacial nas políticas públicas brasileiras de turismo: as possibilidades das redes regionais de turismo.** 2008. 309 f. Tese (Doutorado em geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

FREIRE, F.H.M.A. Introdução à Estatística Espacial, 2009. Disponível em: <<http://www.observatoriodasmetrolopolos.ufrj.br/download/aulasanalise-espacial.pdf>> Acesso em: 06/12/16.

GONG, P.; HOWART, P.J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. University of Waterloo, Ontario, 1990. Disponível em: <<https://nature.berkeley.edu/~penggong/PDFpapers/GongPERS90Assess.pdf>> Acesso em: 02/11/2017.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Object-based Image Analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT). International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, maio, 2006. Disponível em: <<file:///C:/Users/marti/Documents/Mestrado/UFRJ/Disserta%C3%A7%C3%A3o/Classifica%C3%A7%C3%A3o%20baseada%20em%20objeto/HAY%20e%20Castilla.pdf> /> Acesso em: 07/01/2017.

HFURBANISMO. Disponível em: <<https://www.hfurbanismo.com.br/loteamentos-e-condominios/jardim-porto-das-canoas/>> Acesso em: 16/02/2018.

IBGE, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=330380&search=rio-de-janeiro|paraty>> Acesso em: 05/01/2018.

IBGE. Sinopse preliminar do censo demográfico – IX recenseamento geral do Brasil 1980. Rio de Janeiro, 1981. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/71/cd\\_1980\\_v1\\_t3\\_n17\\_rj.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/71/cd_1980_v1_t3_n17_rj.pdf)> Acesso em: 05/01/18.

\_\_\_\_\_. Sinopse preliminar do censo demográfico 1991. Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <[biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/309/cd\\_1991\\_v6\\_n18\\_rj.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/309/cd_1991_v6_n18_rj.pdf)> Acesso em: 05/01/18.

\_\_\_\_\_. Sinopse preliminar do censo demográfico 2000. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/sinopse\\_preliminar/Censo2000sinopse.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/sinopse_preliminar/Censo2000sinopse.pdf) /> Acesso em: 05/01/18.

\_\_\_\_\_. Sinopse preliminar do censo demográfico 2010. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse.pdf> /> Acesso em: 05/01/18.

ILabs. The Mathematics of Models of Reference. Disponível em: <<http://www.mmdr.it/provaEN.asp>> Acesso em: 03/10/2017.

IPHAN. Disponível em: < <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/381/> /> Acesso em: 07/04/2017.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JURKEVICZ, S.S. Modelagem de mudança de cobertura e uso do solo no município de Londrina. 2015. 91 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; DIAS, L.A.V. Método de Correção Atmosférica Aplicado aos Dados do Sensor AVIRIS em Regiões Tropicais. *IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, 11-18 setembro, INPE, 1998. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/profile/Luiz\\_Dias2/publication/237661774\\_Metodo\\_de\\_Correcao\\_atmosferica\\_Aplicado aos\\_Dados do\\_Sensor\\_AVIRIS em\\_Regioes\\_Tropicais/links/544f7fa90cf2bca5ce91ea77/Metodo-de-Correcao-Atmosferica-Aplicado-aos-Dados-do-Sensor-AVIRIS-em-Regioes-Tropicais.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luiz_Dias2/publication/237661774_Metodo_de_Correcao_atmosferica_Aplicado aos_Dados do_Sensor_AVIRIS em_Regioes_Tropicais/links/544f7fa90cf2bca5ce91ea77/Metodo-de-Correcao-Atmosferica-Aplicado-aos-Dados-do-Sensor-AVIRIS-em-Regioes-Tropicais.pdf) /> Acesso em: 18/07/2016.

LANDSAT.USGS.GOV. Disponível em: < <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-mission/> /> Acesso em: 20/02/2018.

LIMA, E.B. Modelos microscópicos para simulação do tráfego baseados em autômatos celulares. 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

LIU, Y. *Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata*. New York: Taylor & Francis Group, 2009. Disponível em: < <file:///C:/Users/marti/Desktop/Modelling%20Urban%20Development.pdf> /> Acesso em: 28/11/2017.

LMPARATYIMOVEIS. Disponível em: < <http://lmparatyimoveis.com.br/imoveis/property-type/casa-a-venda-em-paraty/> /> Acesso em: 05/01/2018.

LOTEAMENTO PORTA OVERMELHO. Disponível em: < <http://www.loteamentoportaovermelho.com.br/index.php/> /> 17/02/2018.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIOS, E.; MORAN, E. Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*. Taylor e Francis Ltd., n. 25, p. 2365-2407, 20 jun. 2004. Disponível em: < [file:///C:/Users/marti/Documents/Mestrado/UFRJ/Disserta%C3%A7%C3%A3o/Detec%C3%A7%C3%A3o%20de%20mudan%C3%A7as/change\\_detection\\_techniques\\_LU\\_2004.pdf](file:///C:/Users/marti/Documents/Mestrado/UFRJ/Disserta%C3%A7%C3%A3o/Detec%C3%A7%C3%A3o%20de%20mudan%C3%A7as/change_detection_techniques_LU_2004.pdf) />. Acesso em: 03/10/2017.

KIEL, R. **Detecção de mudanças no uso e na cobertura do solo em uma série temporal de imagens da região da campanha do rio grande do sul**. 2008. 203 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MAS, J.F. **Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques**. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, no. 1, 139 -152, 2009.

MELOTTI, G. **Aplicação de autômatos celulares em sistemas complexos: um estudo de caso em espalhamento de epidemias**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica.) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MENDES, L. **Cidade pós-moderna, gentrificação e a produção social do espaço fragmentado**. Cadernos Metrôpole, São Paulo, v. 13, n. 26, pp. 473-495, jul/dez 2011.

Disponível em:

<<https://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/download/14765/10769/>> Acesso em: 25/08/2016.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. (Orgs). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> /> Acesso em: 19/07/2016.

MENESES, P.R. **Princípios de sensoriamento remoto**. In: MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. (Orgs). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> /> Acesso em: 19/07/2016.

MTUR. **Índice de Competitividade do Turismo Nacional – Paraty, 2015**.

MUSSOLINI, G. *Ensaio de antropologia indígena e caiçara*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1980.

O’SULLIVAN, D. Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton models. *Geographical Analysis*, Vol. 33, nº 1, jan. 2001.

PASCOAL, F.S. **Sociedade artificial fight4life: autômato celular modelando vida artificial**. Relatório. INPE, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <[mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1916/2005/.../sociedade%20artificial.pdf](http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1916/2005/.../sociedade%20artificial.pdf)> Acesso em: 22/12/2017.

PAOLINI, L.; GRINGS, F.; SOBRINO, J.A.; MUÑOZ, J.C.J; KARSZENBAUM, H. Radiometric correction effects in Landsat multi-date/multi-sensor change detection studies. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, nº. 4, 20 fev, 685–704, 2006. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/248977785\\_Radiometric\\_correction\\_effects\\_in\\_Landsat\\_multi-date/multi-sensor\\_change\\_detection\\_studies/](https://www.researchgate.net/publication/248977785_Radiometric_correction_effects_in_Landsat_multi-date/multi-sensor_change_detection_studies/)> Acesso em: 22/08/2017.

PCIGEMATICS. Disponível em: <<http://www.pcigeomatics.com/>> Acesso em: 12/01/2017.

PEDROSA, B.M; CÂMARA, G. **Modelagem dinâmica e geoprocessamento**. In: DRUCK, S; CARVALHO, M.S; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (Orgs). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap6-dinamica.pdf>> Acesso em: 25/11/2017.

PETTERETAUFNERIMOVEIS. Disponível em:

<<http://petteretaufnerimoveis.com.br/imoveis/listings/casa-a-venda-em-paraty/>>  
Acesso em: 05/01/2018.

PONZONI, F.J.; ALMEIDA, E.S. A estimativa do parâmetro kappa (k) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 14-19 abril, INPE, p. 729-733, 1996. Disponível em: <[marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.39/.../T130.pdf](http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.39/.../T130.pdf)> Acesso em: 9/11/2017.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2012.

PORTOIMPERIAL. Disponível em: < <https://portoimperial.com.br/> > Acesso em: 16/02/2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY. Plano Estratégico de Turismo, 2017. Disponível em: < <http://pmparaty.rj.gov.br/conteudo/acoeseoprojetos/Governo-Sector.pdf> > Acesso em: 11/01/2018.

\_\_\_\_\_. Termo de cooperação com o Iterj, 2015. Disponível em: <<http://pmparaty.rj.gov.br/page/noticiasdetalhes.aspx?chave=termo-de-cooperacao-com-o-iterj>> Acesso em: 18/02/2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY, SECRETARIA DE TURISMO E CULTURA, SOLVING CONSULTORIA EM TURISMO. Plano Diretor de Desenvolvimento Turístico do Município de Paraty. Paraty, 2003. Disponível em: < <http://www.cepa.tur.br/comtursap/PDT%20Paraty.pdf> > Acesso em: 03/10/2016.

REIS, R.B.; CARDOSO, P.V.; CRUZ, C.B.M.; VICENS, R.S. Classificação do Uso e Cobertura do Solo da APA do São João em uma abordagem orientada a objeto. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p. 7087-7094, 25-30 abril 2009. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/profile/Rafael\\_Reis3/publication/242598156\\_ClassificacaodoUsoeCoberturadoSolodaAPAdo\\_SaoJoaoemumaabordagem\\_orientadaaobjeto/links/0c9605374a8dc0c10a000000/ClassificacaodoUsoeCoberturadoSolodaAPAdo-SaoJoaoemumaabordagem-orientadaaobjeto.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Reis3/publication/242598156_ClassificacaodoUsoeCoberturadoSolodaAPAdo_SaoJoaoemumaabordagem_orientadaaobjeto/links/0c9605374a8dc0c10a000000/ClassificacaodoUsoeCoberturadoSolodaAPAdo-SaoJoaoemumaabordagem-orientadaaobjeto.pdf)> Acesso em: 03/10/2017.

RIBEIRO, B.M.G.; KUX, H.J.H.; Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo – Métodos de Análise de Expansão Urbana. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 25-30 abril, INPE, p. 7893-7900, 2009. Disponível em: < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.02.47/doc/7893-7900.pdf>> Acesso em: 07/01/2017.

RIBEIRO, T. **Paraty é a cidade brasileira que mais evoluiu em economia local, revela estudo**. Ministério do Turismo, 2015. Disponível em: <<http://www.turismo.gov.br/%C3%BAltimas-not%C3%ADcias/5753-paraty-%C3%A9-a-cidade-brasileira-que-mais-evoluiu-em-economia-local,-revela-estudo.html>> Acesso em: 26/02/2018.

RODRIGUES, H.O.; SOARES-FILHO, B.S.; COSTA, W.L.S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE, p. 3089-3096, 21-26 abril 2007. Disponível em: < [mar.tecnico.ulisboa.pt/~hrodrigues/teaching/2007/3089-3096.pdf](http://mar.tecnico.ulisboa.pt/~hrodrigues/teaching/2007/3089-3096.pdf)> Acesso em: 30/12/2017.

ROSENDO, J.S.; ROSA, R. **Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 21-26 abril, INPE, p. 4209-4216, 2007. Disponível em: < <http://mar.tecnico.ulisboa.pt/~hrodrigues/teaching/2007/4209-4216.pdf> /> Acesso em: 22/08/2017.

ROSÁRIO, L.S.; CRUZ, C.B.M.; TEMPONI, L.M.; SANTOS, P.R.A. Análise Orientada a Objeto no Mapeamento dos Estágios Sucessionais da Vegetação na Escala 1:25.000 – um Estudo de Caso da Rebio União, RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p. 7119-7126, 25-30 abril 2009. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/228832458\\_Analise\\_Orientada\\_a\\_Objeto\\_no\\_Mapeamento\\_dos\\_Estagios\\_Sucessionais\\_da\\_Vegetacao\\_na\\_Escala\\_1\\_25000-um\\_Estudo\\_de\\_Caso\\_da\\_Rebio\\_Uniao\\_RJ](https://www.researchgate.net/publication/228832458_Analise_Orientada_a_Objeto_no_Mapeamento_dos_Estagios_Sucessionais_da_Vegetacao_na_Escala_1_25000-um_Estudo_de_Caso_da_Rebio_Uniao_RJ)> Acesso em: 03/10/2017.

ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, nº .2, p. 223-227, fev 1986.

ROY, G. G.; SNICKARS, F. Citylife: A study of cellular automata in urban dynamics. Spatial Analytical Perspectives on GIS. M. Fisher. London, Taylor & Francis: 213-218, 1996. Disponível em: < [https://books.google.com.br/books?id=6syqjmb85\\_8C&pg=PA237&lpg=PA237&dq=Citylife:+A+study+of+cellular+automata+in+urban+dynamics.&source=bl&ots=jrnnjorY90&sig=c79VFBKkvUOiJ5bAfqgpL11nJsc&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjT8Lu4nPzYAhVGIJAKHSuLDh4Q6AEILzAA#v=onepage&q=Citylife%3A%20A%20study%20of%20cellular%20automata%20in%20urban%20dynamics.&f=false](https://books.google.com.br/books?id=6syqjmb85_8C&pg=PA237&lpg=PA237&dq=Citylife:+A+study+of+cellular+automata+in+urban+dynamics.&source=bl&ots=jrnnjorY90&sig=c79VFBKkvUOiJ5bAfqgpL11nJsc&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjT8Lu4nPzYAhVGIJAKHSuLDh4Q6AEILzAA#v=onepage&q=Citylife%3A%20A%20study%20of%20cellular%20automata%20in%20urban%20dynamics.&f=false) /> Acesso em: 25/11/2017.

RUBIM, I.B.; COELHO, R.C.S.; BARROS, R, S.; CRUZ, C.B.M. **Correção atmosférica de recorte de imagem do RapidEye com diferentes modelos atmosféricos e estimativas de visibilidades no 6S e Atcor.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -

SBSR, João Pessoa, INPE, 25 a 29 de abril, 2015. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0270.pdf>> Acesso em: 11/01/2017.

SINGH, A. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10:6, 989-1003, 1989. Disponível em: < [SMITH, N. \*\*New globalism, new urbanism: gentrification as global urban strategy.\*\* \*Antipode\*, v. 34, n. 3, pp. 427-450, 2002.](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168908903939#aHR0cDovL3d3dy50YW5kZm9ubGluZS5jb20vZG9pL3BkZi8xMC4xMDgwLzAxNDMxMTY4OTA4OTAzOTM5P25IZWRBY2Nlc3M9dHJ1ZUBAQAQDA=/> Acesso em: 03/10/2017.</p>
</div>
<div data-bbox=)

SMITH, N. **Gentrificação, a fronteira e a reestruturação do espaço urbano. Tradução de Daniel de Mello Sanfelici.** Espaço e Tempo, São Paulo, N° 21, pp. 15 - 31, 2007. Disponível em: < [http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp21/Artigo\\_Neil.pdf](http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp21/Artigo_Neil.pdf) /> Acesso em: 17/04/2017.

SOARES-FILHO, B. S. Modelagem de dados espaciais, 2000. Disponível em: < [www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/modelagemdedadosespaciais.pdf](http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/modelagemdedadosespaciais.pdf) /> Acesso em: 10/02/2017.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 217-235, 2002.

STORY, M.; CONGALTON, R. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 52, n° 3, p. 397-399, mar 1986.

TANSCHKEIT, F. ST. O impacto da especulação imobiliária no cotidiano das populações caiçaras de Paraty. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEOGRÁFOS, 2010, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre, 2010, p 1 - 9. Disponível em: < [http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio\\_resumo2010/resumos/ccs/geo/GEO\\_Fernando%20S%C3%A3o%20Thiago%20Tanscheit.pdf](http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2010/resumos/ccs/geo/GEO_Fernando%20S%C3%A3o%20Thiago%20Tanscheit.pdf) /> Acesso em: 07/04/2017.

TENEDÓRIO, J. A., ROCHA, J., ENCARNAÇÃO, S. & FERREIRA, J. C. Modelos geográficos e sistemas complexos - Técnicas de geocomputação para a monitorização da zona costeira. *ESIG 2006*. Oeiras.

Teixeiraimoveisparaty. Disponível em: < <http://teixeiraimoveisparaty.com.br/imoveis/properties/cvp-06-casa-a-venda-em-condominio-pela-teixeira-imoveis-em-paraty/>> Acesso em: 15/02/2018.

THUMÉ, G. Autômatos celulares. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/iaudesc/autmatos-celulares-8250586/>> Acesso em: 03/10/2017.

TOBLER, W.R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, vol. 46, p. 234-240, jun. 1970.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Estudo socioeconômico 2006 Paraty. Secretaria-Geral de Planejamento, 2006. Disponível em: < [www.tce.rj.gov.br/documents/.../Estudo%20Socioeconomico%202006%20paraty.pdf](http://www.tce.rj.gov.br/documents/.../Estudo%20Socioeconomico%202006%20paraty.pdf) /> Acesso em: 07/04/2017.

TURISMOPARATY. Disponível em: < <http://turismoparaty.blogspot.com.br/>> Acesso em: 07/04/2017.

UERJ. Plano municipal de saneamento básico da prefeitura municipal de Paraty, 2011. Disponível em: < <http://pmparaty.rj.gov.br/page/download.aspx?arquivo=../conteudo/servicos/saneamento-basico/Plano%20Municipal%20de%20Saneamento%20-%20%20C3%81gua%20e%20Esgotos.pdf> /> Acesso em: 01/05/2017.

VELLOSO, M. **Paraty, reconhecimento e projeto**. 2013. 100 f. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. *Information and Control*. Vol 8. 338-353pp. 1965. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>> Acesso em: 26/02/2018.

WHITE, R. **Cities and Cellular Automata**. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Vol. 2, pp. 111-125, 1998.

WOLFRAM, S. Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of Modern Physics*, vol. 55, p. 601-644, jul. 1983.

WOLFRAM, S. **Universality and complexity in cellular automata**. *Physica D*, vol. 10, p. 1-35, jan. 1984.

ANEXO 1. Pesos de evidência e teste de significância estatística das variáveis.

Transition: 1->0 Variable: cuboraster/APA

Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?
1 <= v < 2	3365	3	-1.2754758347603	-1.35689641276604	yes
2 <= v < 3	5479	20	0.136914562312387	0.167646077454226	no
3 <= v < 4	163	4	2.06359334943981	2.09860597432765	yes
4 <= v < 5	1411	65	2.71569795023112	3.68667832652979	yes
5 <= v < 6	9	1	3.66676164886032	3.67636333443804	yes
6 <= v < 7	21264	4	-2.8320851002359	-3.88843937828607	yes
7 <= v < 8	8	0	-6.70563909486	~ 0	no
8 <= v < 9	217	3	1.47883946418641	1.50196686064138	yes
9 <= v < 10	27	0	-7.92117272158702	~ 0	no
10 <= v < 11	85	2	2.0205097633035	2.03770924340057	yes
	-----	-----			
	32028	102			

Transition: 1->0 Variable: cuboraster/altimetria

Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?
0 <= v < 1	959	26	1.75798201606592	1.80782986669721	yes
1 <= v < 2	133	10	2.82869141651341	2.84999401472649	yes
2 <= v < 60	11223	350	1.90218590237749	3.30576630491616	yes
60 <= v < 62	421	8	1.39428462761058	1.40789526428295	yes
62 <= v < 65	408	5	0.948792029379197	0.955700144111899	yes
65 <= v < 66	106	2	1.38704696031035	1.3904129209195	no
66 <= v < 67	127	0	-10.9467632961648	~ 0	no
67 <= v < 70	429	1	-0.720832516690017	-0.723203361408555	no
70 <= v < 71	368	3	0.537005613977398	0.539809140955911	no
71 <= v < 72	116	2	1.29523941105723	1.29849777189439	no
72 <= v < 74	229	7	1.88152344607481	1.89491854629811	yes
74 <= v < 75	139	0	-11.0370486221217	~ 0	no
75 <= v < 78	421	1	-0.701964032385634	-0.704248504536046	no
78 <= v < 79	111	1	0.637810313099364	0.638867045380831	no
79 <= v < 80	73	0	-10.3930486809974	~ 0	no
80 <= v < 81	288	6	1.48814307718172	1.4986214353182	yes
81 <= v < 82	87	0	-10.5684924271498	~ 0	no
82 <= v < 83	107	3	1.79251206841852	1.79812774876168	yes
83 <= v < 84	137	2	1.1261630810133	1.12919544463679	no
84 <= v < 85	139	0	-11.0370486221217	~ 0	no
85 <= v < 86	144	1	0.375446048631872	0.376147634788502	no
86 <= v < 87	124	3	1.64111242196315	1.6465451758046	yes
87 <= v < 88	102	0	-10.7275533403678	~ 0	no
88 <= v < 91	464	1	-0.799436375194454	-0.802185187639049	no
91 <= v < 92	142	0	-11.0584014065729	~ 0	no
92 <= v < 93	120	1	0.55916718578025	0.5660127072535636	no
93 <= v < 94	108	0	-10.7847105357498	~ 0	no
94 <= v < 95	123	1	0.534269634158523	0.535197236987535	no
95 <= v < 96	121	4	1.96241110521391	1.9701416959828	yes
96 <= v < 97	126	0	-10.9388582564587	~ 0	no
97 <= v < 101	599	3	0.0466623004945397	0.0469702959858061	no
101 <= v < 102	157	0	-11.1588186491372	~ 0	no
102 <= v < 109	833	2	-0.691191935403723	-0.695678810344837	no
109 <= v < 110	99	0	-10.6977010418309	~ 0	no
110 <= v < 156	5631	2	-2.6042492260123	-2.66216913633177	yes
156 <= v < 1804	68579	2	-5.10427462107643	-6.43547729289977	yes
	-----	-----			
	93493	447			

Transition: 1->0 Variable: cuboraster/bocaina_buffer						
Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?	
0 <= v < 4	4973	16	-1.49586478329783	-1.63556268132914	yes	
4 <= v < 5	1710	35	0.371882109713213	0.398302789690117	yes	
5 <= v < 7	4441	166	0.991550899468648	1.31340738291343	yes	
7 <= v < 8	3601	61	0.179094350528457	0.20507586773101	no	
8 <= v < 9	5411	34	-0.823422859710551	-0.936351338861749	yes	
9 <= v < 10	10917	129	-0.186274787414983	-0.274731863838507	yes	
	-----	-----				
	31053	441				
Transition: 1->0 Variable: cuboraster/deciduade						
Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?	
0 <= v < 1	3517	172	2.3705631831429	2.81973860284132	yes	
1 <= v < 2	1684	34	1.45612063661331	1.51733935756894	yes	
2 <= v < 3	2229	26	0.898811870110919	0.934776378310011	yes	
3 <= v < 8	15637	130	0.556778315483213	0.718122177286399	yes	
8 <= v < 10	7650	46	0.230502371772555	0.25384332773396	no	
10 <= v < 11	4021	8	-0.879562149695301	-0.905589875155454	yes	
11 <= v < 14	12026	17	-1.22190762471269	-1.32132239281089	yes	
14 <= v < 16	7911	6	-1.84520060152374	-1.92047217118861	yes	
16 <= v < 24	26034	8	-2.74911909676509	-3.05916282744074	yes	
24 <= v < 45	12784	0	-15.5585084376146	~ 0	no	
	-----	-----				
	93493	447				

Transition: 1->0 Variable: cuboraster/estradas						
Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?	
0 <= v < 2	1265	15	-0.247600504651504	-0.258811851605665	no	
2 <= v < 3	2591	21	-0.631890615623209	-0.682913542817667	yes	
3 <= v < 4	1153	31	0.586367242945138	0.623655881589479	yes	
4 <= v < 5	2701	10	-1.41983493319023	-1.5052744418783	yes	
5 <= v < 7	4046	37	-0.510131075455649	-0.581807674508739	yes	
7 <= v < 9	4041	47	-0.267152787723069	-0.309641875552822	yes	
9 <= v < 10	1102	26	0.452338921842385	0.47778993135081	yes	
10 <= v < 11	3255	29	-0.536454304156047	-0.594677461956665	yes	
11 <= v < 12	1057	15	-0.065598896668469	-0.0682929323971259	no	
12 <= v < 13	3660	147	1.00145505905554	1.32212466889917	yes	
13 <= v < 14	1089	15	-0.0958469494239668	-0.0998466281631863	no	
	-----	-----				
	25960	393				

Transition: 1->0 Variable: cuboraster/hidrografia					
Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?
0 <= v < 5	1148	16	0.487835867349898	0.50323612417762	yes
5 <= v < 6	387	0	-11.9842969083316	~ 0	no
6 <= v < 8	726	16	0.954312156077665	0.978732073515276	yes
8 <= v < 9	445	0	-12.1239456839744	~ 0	no
9 <= v < 11	425	21	1.79005596363552	1.83364808539368	yes
11 <= v < 12	342	0	-11.8606837736084	~ 0	no
12 <= v < 13	371	5	0.453792982905979	0.458242552736269	no
13 <= v < 14	324	0	-11.80661694471	~ 0	no
14 <= v < 19	2927	4	-1.84708300011811	-1.90060002278041	yes
19 <= v < 20	197	0	-11.309081963701	~ 0	no
20 <= v < 22	268	6	0.970403369340203	0.979495292285106	yes
22 <= v < 23	368	0	-11.9339554757198	~ 0	no
23 <= v < 26	1641	2	-1.96170599431064	-1.99182219593844	yes
26 <= v < 27	210	12	1.94362802296671	1.96888302465541	yes
27 <= v < 28	192	0	-11.2833739262393	~ 0	no
28 <= v < 30	598	1	-1.64492870951936	-1.65510290796911	no
30 <= v < 31	211	4	0.800563971727767	0.8059244450588876	no
31 <= v < 32	469	0	-12.1764738924906	~ 0	no
32 <= v < 36	998	10	0.153890799119423	0.157415134787137	no
36 <= v < 37	376	0	-11.9556415412875	~ 0	no
37 <= v < 39	572	3	-0.498279741584976	-0.503005397096214	no
39 <= v < 40	431	0	-12.0919796682264	~ 0	no
40 <= v < 41	154	2	0.416255063586914	0.417906553342578	no
41 <= v < 42	222	8	1.46045393053123	1.475471033311	yes
42 <= v < 43	288	0	-11.6888348409363	~ 0	no
43 <= v < 58	5795	10	-1.61345014276049	-1.71826354327511	yes
58 <= v < 59	193	1	-0.510506968154536	-0.512121189579384	no
59 <= v < 60	200	0	-11.3241954175951	~ 0	no
60 <= v < 61	348	3	0.00205627550999522	0.00207126928681315	no
61 <= v < 62	185	15	2.31924016792519	2.35257501735538	yes
62 <= v < 63	433	0	-12.0966092802394	~ 0	no
63 <= v < 64	569	2	-0.900223719294562	-0.907337082845339	no
64 <= v < 65	11	0	-8.42398080969406	~ 0	no
65 <= v < 67	358	4	0.263985851859361	0.266246860630708	no
67 <= v < 68	304	5	0.655982742916659	0.661846546077826	no
68 <= v < 69	177	0	-11.2020293529667	~ 0	no
69 <= v < 70	379	5	0.432170518892814	0.436451091299911	no
70 <= v < 71	382	0	-11.9712929056028	~ 0	no
71 <= v < 72	169	5	1.25655988480315	1.2652672056136	yes
72 <= v < 73	148	11	2.22490275084349	2.24895639588124	yes
73 <= v < 74	276	0	-11.646275591167	~ 0	no
74 <= v < 88	5152	4	-2.41308080372288	-2.51755624327895	yes
88 <= v < 89	165	6	1.46984367089107	1.48110412986184	yes
89 <= v < 92	651	11	0.683415500317898	0.69683917808179	yes
92 <= v < 94	552	3	-0.462497748968176	-0.466799217321682	no
94 <= v < 97	735	5	-0.236618217835091	-0.239887091751357	no
97 <= v < 98	37	3	2.31924016792519	2.32580000445039	yes
98 <= v < 99	249	2	-0.0692527521947867	-0.0696009052747282	no
99 <= v < 100	161	0	-11.1072853415478	~ 0	no
100 <= v < 101	333	1	-1.05814656504324	-1.06271151153615	no
101 <= v < 102	386	0	-11.9817096009362	~ 0	no
102 <= v < 103	145	8	1.90644901972496	1.92308606710766	yes
103 <= v < 105	350	11	1.31888356929117	1.33868188875878	yes
105 <= v < 106	377	4	0.21170434534932	0.213564040340713	no
106 <= v < 107	266	0	-11.6093713632385	~ 0	no
107 <= v < 112	2658	6	-1.34432147820445	-1.38691561696415	yes
112 <= v < 113	140	0	-10.9675256495639	~ 0	no
113 <= v < 116	386	2	-0.510506968154536	-0.513745876003754	no
116 <= v < 118	1246	4	-0.991195497500288	-1.00786491973665	yes
118 <= v < 119	85	3	1.4388814452771	1.44443393649151	yes
119 <= v < 120	110	29	3.71983507918728	3.79075844732415	yes
120 <= v < 122	275	11	1.5689345735253	1.59031495485454	yes
122 <= v < 123	342	7	0.878768021103492	0.888774156922405	yes
123 <= v < 124	177	20	2.68647487207893	2.73269365715436	yes
124 <= v < 125	417	0	-12.0589579880748	~ 0	no
125 <= v < 126	526	5	0.100676274553979	0.101846424546684	no
126 <= v < 127	4	0	-7.41276401742656	~ 0	no
127 <= v < 128	251	2	-0.0773173120315171	-0.0777076058615703	no
128 <= v < 129	19	2	2.60692224037697	2.61140846698318	yes
129 <= v < 130	299	0	-11.7263176256414	~ 0	no
130 <= v < 132	477	6	0.383889779084883	0.388566963598404	no
132 <= v < 133	358	0	-11.9064057072953	~ 0	no
133 <= v < 134	128	15	2.72765078626311	2.76218935818541	yes
134 <= v < 135	93	4	1.644646395261	1.65248795192975	yes
135 <= v < 136	192	0	-11.2833739262393	~ 0	no
136 <= v < 137	393	4	0.16970342137469	0.171225042958675	no
137 <= v < 138	298	1	-0.946743734929454	-0.950570183493515	no
138 <= v < 139	1435	0	-13.2947877852643	~ 0	no
139 <= v < 143	1278	2	-1.71134507947154	-1.7336174770104	yes
143 <= v < 144	131	0	-10.9010817354743	~ 0	no
144 <= v < 148	1078	16	0.551667924311142	0.568569972843748	yes
148 <= v < 149	566	0	-12.3644643196147	~ 0	no
149 <= v < 151	167	8	1.75752574333285	1.77370021711605	yes
151 <= v < 152	169	18	2.62008032495449	2.66136198042497	yes
152 <= v < 153	162	7	1.64947343600931	1.66327200415947	yes
153 <= v < 154	329	2	-0.349824586464063	-0.351859756244907	no
154 <= v < 155	157	11	2.16127705496328	2.18514149120856	yes
-----		48122	414		

Transition: 1-&gt;0 Variable: cuboraster/mar

Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?
0 <= v < 2	4234	28	-0.428619126316254	-0.471868188198314	yes
2 <= v < 3	4703	46	-0.0340416267220953	-0.0387935929134646	no
3 <= v < 4	5510	12	-1.543789299166	-1.67097052453466	yes
4 <= v < 5	6280	40	-0.46641228747835	-0.538450412477681	yes
5 <= v < 6	7430	111	0.394744935482294	0.520133058138372	yes
6 <= v < 7	9604	145	0.405455513978591	0.591050209948581	yes
	-----	-----			
	37761	382			

Transition: 1-&gt;0 Variable: cuboraster/ruas\_buffer\_final

Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?
0 <= v < 2	401	15	1.24838445598184	1.27510151880837	yes
2 <= v < 4	7387	9	-2.21286167647594	-2.4146530213868	yes
4 <= v < 5	259	12	1.47168993750449	1.49465425995329	yes
5 <= v < 6	135	4	1.0072686622632	1.01350322491107	yes
6 <= v < 7	11	2	2.99209422756819	2.99673939151274	yes
7 <= v < 8	11104	4	-3.43223440183607	-3.78183674797786	yes
8 <= v < 9	72	10	2.67162233229342	2.69462718077007	yes
9 <= v < 10	18	0	-8.90666440977005	~ 0	no
10 <= v < 12	17789	354	0.599233578368486	1.94717556721057	yes
	-----	-----			
	37176	410			

Transition: 1-&gt;0 Variable: distance/distance\_to\_0

Ranges	Possible Transitions (# cells)	Executed Transitions (# cells)	Weight Coefficients	Contrast	Significant?
0 <= v < 161	1202	130	3.22784413527762	3.55378141468569	yes
161 <= v < 660	6342	233	2.071111110736872	2.72416981651715	yes
660 <= v < 679	329	0	-11.9141616437484	~ 0	no
679 <= v < 801	1439	2	-1.2395746790663	-1.25049311321592	no
801 <= v < 816	440	7	1.21276344750561	1.22370643997752	yes
816 <= v < 933	1087	10	0.658241442290439	0.66904412036587	yes
933 <= v < 961	254	0	-11.6554401368458	~ 0	no
961 <= v < 974	350	6	1.28870883830744	1.29836351329822	yes
974 <= v < 1074	1013	12	0.913742896925562	0.92987397732166	yes
1074 <= v < 1121	226	2	0.619092155157688	0.621132404161703	no
1121 <= v < 1219	1358	9	0.327696747581246	0.333332000257151	no
1219 <= v < 1281	492	2	-0.163667184091945	-0.164454317923839	no
1281 <= v < 1290	495	0	-12.3226594103843	~ 0	no
1290 <= v < 1358	380	1	-0.599945178629644	-0.601761438316085	no
1358 <= v < 1368	248	0	-11.6315348257926	~ 0	no
1368 <= v < 1432	514	4	0.489474661854302	0.492909216437926	no
1432 <= v < 1441	132	4	1.87185512365306	1.87934841858818	yes
1441 <= v < 1449	198	0	-11.4063753531345	~ 0	no
1449 <= v < 1601	1627	4	-0.668146179941918	-0.676632019694346	no
1601 <= v < 1608	147	0	-11.108544768675	~ 0	no
1608 <= v < 1701	806	4	0.0367767797061585	0.0370976946836195	no
1701 <= v < 1724	220	0	-11.511734756358	~ 0	no
1724 <= v < 1789	828	2	-0.68585656650825	-0.690226595865154	no
1789 <= v < 1811	109	0	-10.8094652878018	~ 0	no
1811 <= v < 1873	740	2	-0.573205617587745	-0.576636028061786	no
1873 <= v < 1921	86	0	-10.5724701060968	~ 0	no
1921 <= v < 1927	317	2	0.278165568187095	0.279239453986376	no
1927 <= v < 1934	196	0	-11.3962230951841	~ 0	no
1934 <= v < 1947	108	1	0.664762191990876	0.665833591698959	no
1947 <= v < 1954	164	0	-11.2179770565264	~ 0	no
1954 <= v < 2049	690	4	0.193007759846788	0.194566761072075	no
2049 <= v < 2081	243	2	0.545941273522073	0.547801064054931	no
2081 <= v < 2087	303	0	-11.8318372729737	~ 0	no
2087 <= v < 2241	1257	1	-1.79809632057536	-1.80928035528126	no
2241 <= v < 2246	106	0	-10.7815570715901	~ 0	no
2246 <= v < 2881	5628	2	-2.60441578203707	-2.66142319313969	yes
2881 <= v < 3041	1384	2	-1.20054879731489	-1.21087600842184	no
3041 <= v < 3045	86	0	-10.5724701060968	~ 0	no
3045 <= v < 3204	1440	2	-1.24027033126826	-1.25119951816387	no
3204 <= v < 3216	73	0	-10.4085868119287	~ 0	no
3216 <= v < 3712	4180	2	-2.30684973510378	-2.34768434717399	yes
3712 <= v < 3722	72	0	-10.3947939088557	~ 0	no
3722 <= v < 16997	57582	2	-4.93019235715344	-5.86666472456652	yes
	94891	454			