

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA DINÂMICA DA PAISAGEM DO  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO: Uma Proposta de Rotina para o Uso da  
Superfície Modelada**

**GABRIEL LOUSADA BORGES**

Rio de Janeiro  
2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**



**ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA DINÂMICA DA  
PAISAGEM DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: Uma  
Proposta de Rotina para o Uso da Superfície Modelada**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GABRIEL LOUSADA BORGES  
ORIENTADOR: PROF. MANOEL DO COUTO FERNANDES**

**Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2017**

**ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA DINÂMICA DA PAISAGEM DO ESTADO DO RIO  
DE JANEIRO: Uma Proposta de Rotina para o Uso da Superfície Modelada**

**Gabriel Lousada Borges**

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências: Geografia.

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ - Orientador  
Manoel do Couto Fernandes  
Dep. de Geografia - UFRJ

Prof. Dr. \_\_\_\_\_  
Rafael Silva de Barros  
Dep. de Geografia - UFRJ

Prof. Dr. \_\_\_\_\_  
Paulo Roberto Alves dos Santos  
Departamento de Análise Geoambiental - UFF

B732a      Borges, Gabriel Lousada  
             ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA DINÂMICA DA PAISAGEM DO  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO: Uma Proposta de Rotina  
para o Uso da Superfície Modelada / Gabriel Lousada  
Borges. -- Rio de Janeiro, 2017.  
             160 f.

             Orientador: Manoel do Couto Fernandes.  
             Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação  
em Geografia, 2017.

             1. Geoprocessamento. 2. Geoecologia. 3.  
Superfície Modelada. 4. Modelo Digital de Elevação.  
5. Sistema de Informações Geográficas . I.  
Fernandes, Manoel do Couto, orient. II. Título.



*“Estudar uma paisagem é antes de tudo apresentar um problema de método.”*

Georges Bertrand

## AGRADECIMENTOS

Muitas foram as pessoas que contribuíram para que eu pudesse concluir mais esta etapa da minha vida acadêmica e profissional. A todas elas sou imensamente grato.

Agradeço a minha mãe, Teresa Lousada, por seu infinito amor, apoio, ajuda e compreensão. Sem você nada disso seria possível e espero poder sempre retribuir tudo o que você fez/faz por mim.

Um agradecimento especial e que não pode ser expresso em palavras é para o meu pa(i)drasto Jones Renato (*in memoriam*). Não há um só dia que eu deixe de sentir sua falta, mas a lembrança de todos os ensinamentos e carinho faz com que você permaneça comigo em cada etapa vencida nessa vida. Espero sempre poder te deixar orgulhoso.

A minha namorada Talissa por todo seu amor, carinho, incentivo e paciência. Ter você ao meu lado foi parte fundamental para conclusão deste trabalho. Tenho certeza que ainda temos muitas conquistas pela frente.

Ao professor Manoel Fernandes pela orientação, ensinamentos, confiança, amizade e apoio durante todas as empreitadas. E ao professor Paulo Menezes por todas as conversas, amizade e conhecimento transmitido. Sou muito grato por vocês terem aberto as portas do GEOCART para mim.

Aos professores Rafael Barros e Carla Madureira pelo auxílio durante o processo de avaliação dos Modelos utilizados neste trabalho, tanto no fornecimento de dados quanto na ajuda para metodologia.

Ao professor Paulo Alves por se disponibilizar a compor a banca de avaliação desse trabalho trazendo importantes contribuições para o mesmo.

Ao professor Gustavo Mota por no início de tudo ter acreditado em mim e me trazer ao Laboratório de Cartografia da UFRJ onde este trabalho foi desenvolvido.

A todos os integrantes do GEOCART pelo companheirismo, amizade, aprendizado e momentos de descontração ao longo destes dois anos. Um agradecimento especial precisa ser feito a Tainá Laeta por sua ajuda no desenvolvimento desta pesquisa, compartilhando suas experiências e auxiliando na realização de importantes etapas do trabalho aqui desenvolvido; e também para Fernando Antunes pela ajuda no levantamento e processamento de alguns dos dados utilizados nesta pesquisa.

Aos meus amigos nem sempre tão presentes quanto eu gostaria no dia-a-dia mas sempre muito importantes: Bigode, Salame, Ricardo, Maria, Lara e Luciana.

A todos meus familiares pelo apoio constante e compreensão pelos momentos de ausência durante este trabalho.

Ao Governo Federal/CAPES pelo financiamento dessa pesquisa, sem o qual a mesma não poderia ter sido realizada.

## RESUMO

Ao discutir as técnicas cartográficas para a realização de diversos tipos de mapeamentos ou análises, são observadas uma série de possibilidades, cada qual com suas características específicas, vantagens e limitações. Uma das operações mais comuns a serem realizadas ao utilizar-se um mapa é o cálculo de área de uma região, entretanto, o termo área quase sempre é apresentado considerando a Superfície Planimétrica, excluindo desta forma a influência do relevo e sua rugosidade nesta métrica. Este tipo de procedimento, se voluntário, pode ser responsável por mascarar resultados de diversos tipos de análises que levem em consideração a extensão de áreas ou distâncias, especialmente em regiões de relevo acidentado.

Face ao exposto, o presente trabalho tem como finalidade desenvolver uma rotina para realização de análises Geoecológicas considerando a influência do relevo nas métricas de área (Superfície Modelada) e aplica-la na avaliação da dinâmica da paisagem para o estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007.

Para a operacionalização desta análise foi necessária à avaliação de diversos Modelos Digitais de Elevação disponibilizados gratuitamente para o estado do Rio de Janeiro, uma vez que estes produtos fornecem as informações necessárias para o cálculo de área em Superfície Modelada. Pode-se verificar que o melhor modelo disponível para o estado foi o SRTM Plus, sendo enquadrado na escala 1:50.000 de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica, possuindo um erro sistemático inferior a 1 metro.

A avaliação realizada entre as metodologias disponíveis para o cálculo de área em Superfície Modelada apontou a existência de uma tendência à subestimação dos resultados em relação ao valor de referência de 4,8%. Dentre as metodologias disponíveis, a que apresentou os melhores resultados devido a sua capacidade de processamento e precisão dos resultados foi a ferramenta *DEM Surface Tools*, desenvolvida por Jenness (2004).

A análise Geoecológica para o estado do Rio de Janeiro indicou que as áreas que apresentam a maior influência ao considerarmos a Superfície Modelada são as regiões de conservação florestal, com uma diferença percentual de 9,8% (uma diferença absoluta de 1.127 Km<sup>2</sup>), e as áreas de desmatamento, apresentando uma diferença percentual de 7,3% entre as mensurações em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada, o que equivale a uma área desmatada de 121 Km<sup>2</sup> (aproximadamente 17 mil campos de futebol).

**Palavras-chave:** Superfície Modelada, Geoprocessamento, Geoecologia, Modelos Digitais de Elevação, Sistemas de Informação Geográfica.

## ABSTRACT

When discussing the cartographic techniques for the accomplishment of diverse types of mapping or analysis a series of possibilities are observed, each one with its specific characteristics, advantages and limitations. One of the most common operations to be carried out when using a map is the area calculation of a region, however, the term area is almost always presented considering the Planimetric Area, thus excluding the influence of the relief and its roughness of this metric. This type of procedure, if voluntary, may be responsible for masking the results of various types of analyzes that take into account the extent of areas or distances, especially in regions of rugged relief.

On the basis of the above considerations, the present work has the purpose of developing a routine for the accomplishment of Geoecological analyzes considering the influence of the relief in the area metrics (Surface Area) and apply it in the evaluation of the landscape dynamics for the state of Rio de Janeiro between the Years of 1994 and 2007.

For the operationalization of this analysis it was necessary to evaluate several Digital Elevation Models available free of charge to the state of Rio de Janeiro, since these products provide the necessary information for the calculation of Surface Area. It was verified that the best available model for the state was the SRTM Plus, being classified in the 1: 50,000 scale according to the Cartographic Accuracy Standard, with a systematic error of less than 1 meter.

The evaluation performed among the methodologies available for the calculation of Surface Area showed a tendency to underestimate the results in relation to the reference value by 4.8%. Among the methodologies available, the one that presented the best results due to its processing capacity and precision was the DEM Surface Tools, developed by Jenness (2004).

The Geoecological analysis for the state of Rio de Janeiro indicated that the areas that have the greatest influence when considering the Surface Area are the regions of forest conservation, with a percentage difference of 9.8% (an absolute difference of 1,127 Km<sup>2</sup>), and the deforestation areas, with a percentage difference of 7.3% between the measurements in Planimetric Area and Surface Area, which is equivalent to a deforested area of 121 Km<sup>2</sup> (approximately 17 thousand football fields).

**Keywords:** Surface Area, Geoprocessing, Geoecology, Digital Elevation Models, Geographic Information Systems.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1	Objetivos.....	3
1.1.2	Objetivo geral.....	3
1.1.3	Objetivos específicos.....	3
1.2	Justificativa.....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO TEÓRICO-CONCEITUAL</b> .....	5
2.1	Geoeologia e Geossistemas.....	5
2.2	Geoprocessamento.....	12
2.3	Modelos Digitais de Elevação.....	15
2.3.1	Modelagem.....	20
2.3.1.1	Modelo de Grade Regular.....	21
2.3.1.2	Modelos de Grade Irregular Triangular.....	23
2.3.2	Comparação entre Grades Regulares e Grades Irregulares Triangulares.....	25
2.4	Sensoriamento Remoto para obtenção de dados altimétricos.....	27
2.5	Superfície Planimétrica e Superfície Modelada.....	30
<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	34
3.1	As regionalizações do Estado do Rio de Janeiro.....	36
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	43
4.1	Avaliação altimétrica dos MDE.....	44
4.1.1	Os modelos digitais de elevação.....	44
4.1.1.1	ASTER GDEM 2.....	45
4.1.1.2	ALOS World 3D.....	45
4.1.1.3	Produtos SRTM.....	46
4.1.1.4	TOPODATA.....	49
4.1.2	Pontos de controle e mapeamento geomorfológico.....	49
4.1.3	Métodos de avaliação.....	50
4.1.3.1	Avaliação segundo o PEC.....	51
4.1.3.2	Análise de tendência.....	53
4.1.3.3	Avaliação segundo os domínios geomorfológicos.....	54
4.2	Cálculos de área em Superfície Modelada.....	55
4.2.1	Cálculo de área através do cosseno da declividade.....	56

4.2.2 <i>DEM Surface Tools</i> .....	60
4.2.3 <i>Add Surface Information</i> .....	61
4.2.4 Validação das metodologias para cálculo de área em Superfície Modelada....	62
4.2.4.1 Validação a partir do TIN.....	62
4.2.4.2 Validação a partir dos sólidos geométricos.....	63
4.3 Mapeamentos de Cobertura da Terra.....	65
4.4 Mapeamento de Dinâmica da Paisagem.....	69
<b>5 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO</b> .....	71
5.1 Avaliação dos Modelos Digitais de Elevação segundo a base RJ25.....	71
5.2 Precisão em relação ao relevo.....	75
5.3 Avaliação utilizando pontos levantados em campo.....	76
5.4 Conclusão da avaliação dos Modelos Digitais de Elevação.....	79
<b>6 RESULTADOS DA AVALIÇÃO DAS METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DE ÁREA EM SUPERFÍCIE MODELADA</b> .....	83
6.1 Validação através dos sólidos geométricos.....	83
6.2 Validação através do MDE no formato TIN em área teste.....	89
6.3 Conclusão sobre a avaliação das metodologias para cálculo de área em SM....	90
<b>7 RESULTADOS DA ANÁLISE GEOECOLÓGICA EM SUPERFÍCIE MODELADA PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO</b> .....	93
7.1 Cobertura da Terra no Estado do Rio de Janeiro em 1994.....	93
7.2 Cobertura da Terra no Estado do Rio de Janeiro em 2007.....	97
7.3 Análise de dinâmica da paisagem entre os anos de 1994 e 2007.....	100
7.4 Comparação entre metodologias para cálculo de área em Superfície Modelada aplicada ao Rio de Janeiro.....	126
7.5 Conclusão da análise geoecológica do estado do Rio de Janeiro.....	132
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	137
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	140

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	O Geossistema e seus agentes formadores. Fonte: Bertrand (1972).....	10
Figura 2	O relacionamento entre as tecnologias do Geoprocessamento. Fonte: Menezes e Fernandes (2013).....	14
Figura 3	Representação digital de um Modelo Numérico de Terreno. Fonte: Namikawa <i>et al.</i> (2003).....	16
Figura 4	Possíveis representações computacionais de um MDE. Fonte: Fernandes (2004).....	19
Figura 5	MDE do Maciço da Tijuca construído utilizando uma Grade Irregular Triangular.....	21
Figura 6	MDE do Maciço da Tijuca construído utilizando uma Grade Regular Retangular.....	21
Figura 7	Representação bidimensional da matriz de uma Grade Regular (a) e sua visualização tridimensional (b). Fonte: Fernandes (2004).....	22
Figura 8	Critério do circuncírculo para validação da triangulação de Delaunay. (a) T e T2 são triângulos de Delaunay, (b) T e T2 não são triângulos de Delaunay. Fonte: Felgueiras (2001).....	24
Figura 9	Sombreamento do relevo mapeado por radar. Fonte: Santos (2005).....	29
Figura 10	Classes dimensionais dos objetos espaciais. Fonte: Fernandes (2009).....	31
Figura 11	Comparação entre a representação de uma área em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada. Fonte: Menezes e Fernandes (2013).	33
Figura 12	Mapa de localização do Estado do Rio de Janeiro.....	34
Figura 13	Nova regionalização do estado do Rio de Janeiro. Fonte: Saraça <i>et al.</i> (2009).....	37
Figura 14	Fluxograma de elaboração da pesquisa.....	43
Figura 15	Limite das cenas utilizadas na avaliação.....	44
Figura 16	Exemplo de regiões com ausência de informações no MDE ALOS World 3D.....	46
Figura 17	Sistema de aquisição de dados da missão SRTM. Fonte: RABUS <i>et al.</i> , (2002).....	47
Figura 18	Exemplos de regiões com ausência de informações no MDE SRTM.....	47
Figura 19	Regiões interpoladas no MDE SRTM Plus.....	48



Figura 20	Estado do Rio de Janeiro e sua formação geomorfológica acidentada.....	50
Figura 21	Relações para cálculo de área em Superfície Modelada (Figura meramente ilustrativa, sem fidelidade proporcional).....	56
Figura 22	Rotina criada para o cálculo de área em Superfície Modelada.....	58
Figura 23	Metodologia para o cálculo de área em Superfície Modelada proposta por Jenness (2004).....	61
Figura 24	Modelo Digital de Elevação do Pão de Açúcar e Morro da Urca no formato GRID e TIN.....	63
Figura 25	Visadas de topo e ortogonal dos MDE do cone e semiesfera no formato GRID.....	64
Figura 26	Chave de classificação para os mapeamentos de cobertura da terra de 1994 e 2007.....	69
Figura 27	Resultados da tolerância vertical em 90% dos pontos avaliados (LE90).....	71
Figura 28	Resultados do Erro Médio Quadrático para os modelos avaliados.....	71
Figura 29	Erro máximo encontrado em 90% dos pontos avaliados para o Município de Petrópolis.....	77
Figura 30	Erro Médio Quadrático dos modelos avaliados para o município de Petrópolis.....	77
Figura 31	Erro máximo encontrado em 90% dos pontos avaliados para a Rebio do Tinguá.....	78
Figura 32	Erro Médio Quadrático dos modelos avaliados para a Rebio do Tinguá.....	78
Figura 33	Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para o Cone simulando pequenas áreas.....	84
Figura 34	Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para a Semiesfera simulando pequenas áreas.....	85
Figura 35	Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para o Cone simulando grandes áreas.....	86
Figura 36	Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para a Semiesfera simulando grandes áreas.....	87
Figura 37	Exemplo de generalização da semiesfera com 50 metros de raio nas escalas 1:25.000 e 1:50.000.....	88
Figura 38	Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para os morros do Pão de Açúcar e da Urca.....	89

Figura 39	Mapeamento final do estado do Rio de Janeiro de 1994 após as edições....	94
Figura 40	Mapeamento final do estado do Rio de Janeiro de 2007 após as edições....	98
Figura 41	Mapeamento de dinâmica da paisagem do estado do Rio de Janeiro.....	102
Figura 42	Mapeamento de dinâmica da paisagem para região do Petróleo e Gás Natural.....	105
Figura 43	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a região Urbano-Industrial do estado do RJ.....	108
Figura 44	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Turística dos Lagos Fluminenses.....	111
Figura 45	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Serrana de Economia Diversificada.....	113
Figura 46	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Turística da Costa Verde.....	116
Figura 47	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Industrial do Médio Paraíba.....	118
Figura 48	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Turístico-Cultura do Médio-Paraíba.....	120
Figura 49	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Serrana de Economia Agropecuária.....	122
Figura 50	Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana.....	125
Figura 51	Modelo com a Área de Superfície utilizando dados brutos e dados projetados.....	127
Figura 52	Distribuição do impacto da utilização da SP e SM no estado.....	133

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação entre os modelos de Grade Regular e Grade Irregular Triangular. Fonte: Adaptado de Felgueiras (2001).....	26
Tabela 2	Tabela de pertencimento as classes para as escalas 1:50.000 e 1:100.000 segundo o PEC.....	52
Tabela 3	Tabela de pertencimento as classes para as escalas 1:50.000 e 1:100.000 segundo o PEC-PCD.....	53
Tabela 4	Enquadramento dos modelos avaliados nas classes estabelecidas pelo PEC.....	72
Tabela 5	Enquadramento dos modelos avaliados nas classes estabelecidas pelo PEC-PCD.....	73
Tabela 6	Análise de tendência dos MDE.....	74
Tabela 7	Classificação de acordo com o relevo incluindo regiões de <i>No Data</i> .....	76
Tabela 8	Classificação de acordo com o relevo excluindo regiões de <i>No Data</i> .....	76
Tabela 9	Enquadramento dos MDE no município de Petrópolis nas classes estabelecidas pelo PEC e PEC-PCD.....	77
Tabela 10	Enquadramento dos MDE na Rebio do Tinguá nas classes estabelecidas pelo PEC e PEC-PCD.....	79
Tabela 11	Totais de área para cada uma das classes no mapeamento de 1994 em SP e SM.....	95
Tabela 12	Totais de área para cada uma das classes no mapeamento de 2007 em SP e SM.....	99
Tabela 13	Diferença na extensão de área entre os anos de 1994 e 2007 em SM para cada uma das classes mapeadas.....	100
Tabela 14	Diferença de área em SP e SM para o mapeamento de dinâmica do Rio de Janeiro.....	103
Tabela 15	Diferença entre as áreas em SP e SM para região do Petróleo e Gás Natural.....	106
Tabela 16	Diferença entre as áreas em SP e SM para região Urbano-Industrial.....	109
Tabela 17	Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Turística dos Lagos Fluminense.....	112
Tabela 18	Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Serrana de Economia Diversificada.....	114

Tabela 19	Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Turística da Costa Verde.....	117
Tabela 20	Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Industrial do Médio Paraíba.....	119
Tabela 21	Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Turístico-Cultural do Médio Paraíba.....	121
Tabela 22	Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Serrana de Economia Agropecuária.....	123
Tabela 23	Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana.....	125
Tabela 24	Comparação entre a área de Superfície Modelada gerada por diferentes metodologias para o mapeamento de cobertura da terra do Rio de Janeiro em 1994.....	129
Tabela 25	Comparação entre a área de Superfície Modelada gerada por diferentes metodologias para o mapeamento de cobertura da terra do Rio de Janeiro em 2007.....	130
Tabela 26	Comparação entre a área de Superfície Modelada gerada por diferentes metodologias para o mapeamento de dinâmica da paisagem no estado do Rio de Janeiro.....	131
Tabela 27	Diferença percentual entre áreas mensuradas em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada para cada região.....	134
Tabela 28	Região que apresentou o maior percentual de cobertura para cada uma das classes.....	135
Tabela 29	Municípios com a maior área absoluta para cada uma das classes de dinâmica da paisagem.....	136

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Erro Médio Quadrático.....	51
Equação 2	Desvio Padrão.....	54
Equação 3	Cálculo do t amostral para análise de tendência.....	54
Equação 4	Desvio Padrão amostral.....	54
Equação 5	Equação para o cálculo de área em Superfície Modelada.....	57

## LISTA DE SIGLAS

ALOS	<i>Advanced land observing Satellite</i>
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
EMQ	Erro Médio Quadrático
GRID	Grade Regular Retangular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LE90	Erro Linear em 90% dos pontos
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais
SEA	Secretaria de Estado do Ambiente
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SM	Superfície Modelada
SP	Superfície Planimétrica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	Grade Irregular Triangular
ZEE-RJ	Zoneamento Ecológico - Econômico do Rio de Janeiro

## 1 INTRODUÇÃO

Ao ultrapassarmos os momentos iniciais da segunda revolução industrial e com a percepção da sensível degradação do meio natural que vinha ocorrendo, inúmeros estudos ambientais passaram a buscar uma maior compreensão do impacto do homem sobre o meio ambiente. Como marcos deste momento de necessidade de mudança da relação do Homem com a natureza podem ser destacados os debates da conferência de Estocolmo em 1972 e Rio 92. A partir deste quadro foram fomentadas diversas avaliações integrativas que se propuseram a buscar o entendimento desta relação entre homem e natureza de maneira sistêmica, considerando que somente uma visão do todo seria capaz de produzir um entendimento do papel modificador dos agentes envolvidos no sistema terrestre.

Dentre estes estudos podemos destacar uma abordagem de análise da paisagem com sua gênese nos anos 30 do século passado com o geógrafo alemão Carl Troll, a Geoecologia. A Geoecologia assume um caráter integrador de análise, onde através de conceitos básicos da paisagem (estrutura, função e dinâmica) busca-se entender o comportamento integrado do sistema terrestre. No entanto, ao iniciarmos estudos sistêmicos desde tipo, um grande número de dados e variáveis se apresentam para serem analisados de maneira ágil, visto a necessidade de respostas rápidas frente à chamada crise ambiental. Assim, é demandado cada vez mais capacidade de armazenamento e processamento de dados e informações de caráter espacial e não espacial. Neste cenário o Geoprocessamento e suas geotecnologias surgiram como uma ferramenta extremamente poderosa, sendo capaz de expandir nosso poder de obtenção, armazenamento, processamento, visualização e análise de dados e informações espacializadas.

No entanto, ao trabalharmos em um ambiente computacional, ou mesmo em um mapeamento cartográfico tradicional, é importante destacar a necessidade da utilização de generalizações para a construção de modelos de representação. É necessária a utilização de modelos que simplifiquem a realidade por duas razões básicas. A primeira delas se refere à incapacidade de reprodução da totalidade com todas suas nuances e complexidades, e a segunda é que somente através de generalizações nosso cérebro é capaz de extrair informações que antes observadas no meio pareceriam caóticas e sem sentido.

Dito isto, é necessário agir com grande cautela na utilização de modelos, pois a escolha dos níveis de generalização dos dados e o processo de modelagem podem influir diretamente nos resultados obtidos e gerar conclusões equivocadas. Fernandes (2004) e Jenness (2004) chamam atenção para um problema comum nos mapeamentos realizados com

suporte nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que é a não consideração do relevo e todas as suas rugosidades na realização de observações de área e comprimento. Grande parte dos mapeamentos que necessitam trabalhar com valores de área utilizam-se da área calculada em uma superfície projetada em um plano, ignorando a influência do relevo na extensão de uma área. O que Fernandes (2004) e Jenness (2004) destacam é a necessidade de trabalhar com a Superfície Modelada (SM), ou seja, considerando as variações topográficas quando qualquer tipo de observações métricas de área, comprimento e volume forem realizadas. Este tipo de consideração pode impactar diretamente índices que trabalhem com a influência da área e distância na concentração ou dispersão de uma variável, assim como, mudar perspectivas acerca da expansão ou retração de uma área urbana ou desmatamento de uma região, por exemplo.

Ao adotar estas considerações sobre o tipo de superfície, Planimétrica ou Modelada, em que pode-se realizar uma análise é possível compreender a importância de sua escolha ao trabalhar em uma análise ambiental integrativa como a geoecologia. A consideração da forma do relevo e seus impactos em métricas e índices da paisagem influem diretamente tanto na estrutura quanto na função, conseqüentemente alterando a dinâmica de uma paisagem.

Pensando nestas ponderações que o presente trabalho se propõe a realizar uma análise geocológica da estrutura e dinâmica da paisagem do estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007, considerando os impactos da utilização da Superfície Planimétrica (SP) e da Superfície Modelada (SM) nesta análise. A escolha do estado do Rio de Janeiro como paisagem de estudo se baliza pela configuração morfológica bastante diversificada, com unidades de relevo variando de vastas extensões de serra para planícies fluviais e costeiras. Esta característica faz com que a análise do uso de observações em Superfície Modelada e Planimétrica se tornem pertinente, uma vez que é esperado um aumento em área quando assumido a Superfície Modelada nas unidades geomorfológicas mais acidentadas em detrimento das mais suaves. Neste sentido, o estado se apresenta como uma área de destaque para a compreensão dos impactos ao trabalhar com estas duas diferentes superfícies.

Outro desafio que se põe diante das observações em Superfície Modelada é a questão operacional, incluindo a discussão que diz respeito à modelagem mais apropriada a ser utilizada na construção de Modelos Digitais de Elevação (MDE), que são a base para a obtenção destas observações. Assim, também se torna importante discutir os limites dos diferentes MDE tanto em nível de maior precisão na obtenção das observações, quanto nas possibilidades de aplicações computacionais.



Pensando nos questionamentos acima levantados, foi delineado o seguinte objetivo geral que se desdobra em objetivos específicos de apoio para atingi-lo e aprofundar as investigações acerca das observações em Superfície Modelada.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.2 Objetivo Geral**

Realizar uma análise geocológica baseada no desenvolvimento da dinâmica da paisagem no estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007 utilizando a Superfície Modelada e comparar estes resultados com uma análise realizada em Superfície Planimétrica.

### **1.1.3 Objetivos específicos**

- Avaliar diferentes tipos de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em nível altimétrico, a influência do nível de generalização geométrica relacionada ao detalhamento nos MDE e seu ajuste ao relevo modelado para a obtenção de observações de área em Superfície Modelada;
- Desenvolver e testar uma rotina para cálculo de área em Superfície Modelada utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE) no formato de Grade Regular Retangular (GRID);
- Comparar a rotina desenvolvida para o cálculo de área em Superfície Modelada com outras metodologias existentes disponíveis para tal;
- Avaliar o impacto do uso da Superfície Modelada e da Superfície Planimétrica nos conceitos geocológicos de dinâmica e estrutura da paisagem.

## **1.2 Justificativa**

Ao trabalhar em um ambiente digital com dados localizados na superfície terrestre um importante questionamento deve ser realizado acerca da dimensionalidade destes dados e de sua influência na análise que se pretende realizar. Um dos principais questionamentos metodológicos em estudos que envolvam geotecnologias é a utilização de dados projetados em uma superfície plana, não considerando os impactos do relevo na dinâmica, função e estrutura da área de estudo. A não consideração desta indagação pode ocasionar grandes impactos em avaliações que dependam da métrica de área, como por exemplo, cálculo de índices de densidade de drenagem, populacional, dispersão de uma espécie, entre outras.

A importância deste trabalho reside na necessidade do desenvolvimento e avaliação de uma rotina que permita a consideração da Superfície Modelada nos cálculos de área de maneira simples e ágil, aproveitando-se de insumos cartográficos disponibilizados gratuitamente. Devido à existência de algumas metodologias para realização do cálculo de área em Superfície Modelada e uma documentação limitada das mesmas, se faz necessária a comparação dos resultados aferidos pela rotina desenvolvida com as metodologias disponíveis para mensuração de área em Superfície Modelada de maneira a produzir resultados que indiquem o melhor método para obter os valores de área em SM. Os métodos para cálculo de área em Superfície Modelada que serão avaliados no presente trabalho são: o cálculo de área a partir do cosseno da declividade, implementado em uma rotina que será desenvolvida; a ferramenta *Add Surface Information*, presente no pacote *ArcGIS*; e a metodologia proposta por Jenness (2004) e implementada no conjunto de ferramentas *DEM Surface Tools*.

A partir do desenvolvimento desta metodologia e da realização dos testes, uma investigação da influência da Superfície Modelada nas análises geoecológicas para o estado do Rio de Janeiro poderá ser realizada levando em conta a dinâmica da paisagem observada entre os anos de 1994 e 2007. A escolha deste recorte de tempo se deu pela disponibilidade de mapeamentos de cobertura da terra consistentes para estas duas datas e realizados utilizando uma única metodologia, o que possibilita a elaboração de um mapeamento de dinâmica da paisagem de maior confiabilidade.

Outra avaliação importante que aqui se pretende realizar é a investigação da influência do nível de generalização utilizado na construção de um Modelo Digital de Elevação e sua adequação a diferentes formas de relevo. Isto porque, a etapa de modelagem é fundamental na construção de um MDE, tanto em função do levantamento dos dados a serem utilizadas na modelagem, quanto na escolha do tamanho de pixel, que pode não ser representativo da variação topográfica de uma região e comprometendo sua utilização, no caso de MDE baseados em grade regular retangular. O que se pretende investigar é qual o limite de influência dos níveis de generalização da informação e de seu ajuste ao relevo na realização de um cálculo de área em Superfície Modelada.

## **2 REVISÃO TEÓRICO-CONCEITUAL**

### **2.1 Geoecologia e Geossistemas**

Ao longo da história humana as sociedades praticam um contínuo processo reflexivo sobre sua realidade e os paradigmas que as regem, possibilitando assim uma permanente modificação em suas formas de pensar e produzir, sejam elas na arte, relações econômicas e sociais, como também nas ciências. Esses grupos de reflexões são responsáveis por organizar correntes filosóficas que guiam as práticas e desenvolvimentos de determinada época. Foi partindo de uma dessas revoluções na forma de pensar em que a ciência pôde encontrar sua grande sistematização e formulou metodologias que permeiam estudos até o presente, como a utilização de dados sensíveis e a prática de experimentos. Este período no século XVIII ficou conhecido como Iluminismo e é considerado uma das fases mais importantes da história das sociedades humanas (Vicente & Perez Filho, 2003).

No entanto, é a partir do início do século XIX que surgem os primeiros estudos físico-matemáticos que buscam uma compreensão sistêmica do comportamento dos elementos na natureza devido à incapacidade da física Newtoniana de explicar todas as relações complexas que estavam sendo descobertas. Dentre esses estudos podemos citar o surgimento da termodinâmica e seus processos conservativos e dissipativos de calor. Estes estudos trabalhavam com a perspectiva de comportamento não-linear, evolutivo, probabilístico e caótico da natureza (Vicente & Perez Filho, 2003). Zonneveld (1995) destaca que as bases filosóficas para esta forma de pensar sistêmica ganham uma grande contribuição com a proposta conceitual holística formulada por Jan Smuts em 1926. Segundo Smuts (*apud*. Zonneveld, 1995), o Cosmos pode ser considerado como uma estrutura em que a totalidade encontra-se hierarquicamente organizada.

A formulação científica para a proposta holística de Smuts encontrou na Teoria Geral dos Sistemas formulada por Ludwig von Bertalanffy seu grande impulso para o desenvolvimento. Vicente & Perez Filho (2003) ressaltam que ao propor sua teoria, Bertalanffy buscava uma epistemologia que trouxesse uma linguagem científica comum e que englobasse todos os campos do conhecimento através da análise de elementos e estruturas compartilhadas por todas as ciências e que permitissem a sua compreensão de forma integrada. Os sistemas seriam então o conjunto de elementos que estão relacionados entre si e que formam uma determinada unidade e integridade, tendo sua proposta baseada no princípio isomórfico presente em diversas áreas da vida e da ciência, onde leis que governam determinados fenômenos de uma área também podem ser utilizadas perfeitamente para explicar outros

fenômenos em área distinta (Bertalanffy, 1950). Esta premissa seria real para física, biologia, medicina, química, etc.

Tais considerações levam Bertalanffy a postular sobre uma nova disciplina científica básica, a Teoria Geral dos Sistemas, um campo lógico-matemático que é responsável por formular e deduzir leis e princípios básicos que são válidos para todos os sistemas em geral.

Seu princípio é meramente formal, mas devido a seu objetivo, pode ser aplicada a toda e qualquer disciplina que se preocupe com o entendimento de sistemas. Dentre estas disciplinas podemos destacar a Geografia, que já nasceu sobre a égide de um paradigma integrativo e que enxerga seu objeto de estudo de maneira holística.

Esta forma de pensar holística na ciência geográfica pode ser observada na obra de Alexander von Humboldt, onde é proposta a existência de uma harmonia na ordem natural e que a natureza manifesta-se diferenciada na superfície terrestre em função de como ocorre a integração entre os seus elementos. É estabelecida uma unidade e inter-relações entre os fenômenos naturais, e com isso, para alcançar o entendimento do mundo físico seria necessária a compreensão da integridade da natureza (Vitte, 2007; Vicens, 2012). Christofletti (1999) chama atenção que a Geografia não seria a ciência responsável pelo estudo dos componentes da natureza de forma individualizada, mas sim, de investigar a unidade resultante da integração e das diversas conexões existentes em determinado lugar, ela deve realizar a investigação de uma organização espacial.

Outra importante contribuição aos estudos ambientais organizados de forma sistêmica foi feita por A. G. Tansley em 1935 com a introdução do termo Ecossistema, que segundo o autor, seria composto de elementos orgânicos e inorgânicos que se encontram em equilíbrio dinâmico em determinado ambiente. Esta definição de ecossistema foi fundamental para os estudos ecológicos desenvolvidos a partir de então por estabelecer uma relação funcional entre os componentes da natureza (Tansley, 1935).

No entanto, é no ano de 1939 que o geógrafo alemão Carl Troll, muito influenciado pelos trabalhos de Passarge e seus estudos de Geografia das Paisagens, cria o termo Ecologia da Paisagem. O que Troll propôs foi a emergência de uma ciência da paisagem que congregasse tanto as abordagens geográficas da paisagem, que buscam o entendimento das relações estruturais e espaciais da paisagem, com a abordagem funcional dos elementos da natureza proposta pela Ecologia. Na década de 60 para aumentar o entendimento do público com relação a esta nova proposta de ciência Troll sugeriu o uso do termo Geocologia como

sinônimo de Ecologia da Paisagem, por isso, no presente trabalho ambos serão tratados com o mesmo significado (Troll, 1970).

Em sua visão Geoecológica, Troll considera a paisagem como uma entidade orgânica, um indivíduo harmônico do espaço. Para ele, a paisagem geográfica é composta pela relação entre os elementos e suas conexões internas e externas para formar uma entidade espacial com características específicas. A geoecologia forneceria então uma metodologia científica que possibilitasse analisar esta paisagem e desvendar as conexões que formam a unidade da mesma (Troll, 2007).

O debate relativo à importância da paisagem no âmbito da Geografia não era recente, ao introduzir o termo *landschaft* na literatura geográfica no início do século XIX, definindo-o como a total característica de uma região da Terra, Humboldt já evidenciava a necessidade de avaliações integrativas da natureza para fomentar o estudo da paisagem (Vitte, 2007; Vicens, 2012). Com o desenvolver da ciência geográfica, inúmeras definições deste conceito foram aparecendo na literatura, cada uma com suas peculiaridades de acordo com os estudos desenvolvidos, no entanto, em grande parte, estas definições reforçam a natureza holística da ciência geográfica. Bertrand (1972) destaca que:

*“A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos dispartados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. A dialética tipo-indivíduo é próprio fundamento do método de pesquisa. É preciso frisar bem que não se trata somente da paisagem “natural” mas da paisagem total integrando todas as implicações da ação antrópica.”*

É possível perceber que Bertrand evidencia o caráter holístico do conceito de paisagem ao incluir em sua definição os elementos antrópicos, que interagem diretamente com a paisagem natural, reforçando assim o caráter dual da ciência Geográfica que busca em sua análise não só o entendimento das relações da natureza, mas também como essas relações se dão diante da ação do homem.

Carl Sauer (1925) em seu seminal trabalho *The Morphology of Landscape* identifica a paisagem como o conceito unificador da Geografia, definindo-a como uma área composta de distintas associações de formas, tanto físicas quanto culturais. Com isso, a Geografia seria baseada na união entre os aspectos físicos e culturais da paisagem, interessando-se na impressão do trabalho do homem sobre a área.

Como foi destacado anteriormente, inúmeras são as definições de paisagem dentro da ciência geográfica. Entretanto, em quase todas é possível observar a mesma base

epistemológica, uma base unificadora que tenta entender a paisagem em sua totalidade. Gomes (2013) diz que o ponto de vista é um dispositivo espacial que nos consente ver certas coisas que de outro lugar não seriam visíveis. A forma de olhar a paisagem, ou o olhar geográfico, seria então o ponto de vista da Geografia que permitiria entender a paisagem de forma integrada, como um sistema dinâmico aberto e hierarquicamente organizado.

Ao adotar a paisagem como objeto de análise de sua ciência, a Geoecologia propõe que o estudo da mesma seja sistematizado a partir da investigação de três conceitos-chave: estrutura, função e dinâmica. A partir do estudo dessas três características da paisagem uma série de avaliações da relação entre os elementos ali presentes pode ser realizada. Podemos destacar como algumas dessas análises a evolução e dinâmica da heterogeneidade espacial, ou seja, como o mosaico da paisagem é criado e se altera; como as interações e as trocas entre paisagens heterogêneas ocorrem, como matéria e organismos movem-se de um fragmento para outro; qual a influencia da heterogeneidade espacial do mosaico da paisagem tem sobre os processos bióticos e abióticos; como realizar o manejo dessas áreas, entre outras (Troll, 2007; Forman & Godron, 1986; Huggett, 1995).

Forman & Godron (*op. cit.*) definem a estrutura da paisagem como a relação entre os distintos ecossistemas e os elementos presentes nele, sendo de maneira mais específica, a distribuição de energia, matéria e espécies, e sua relação com o número, forma, tamanho e configuração dos ecossistemas. Para Rodriguez *et al.* (2007) a estrutura espacial constitui a forma em que é encontrado o ordenamento espacial da paisagem, refletindo uma organização sistêmica de seus elementos e que determinam sua integridade.

A função, para Forman & Godron (*op. cit.*) é a interação entre os elementos espaciais, preocupando-se com o fluxo de energia, materiais e espécimes dentro de um componente ecossistêmico. Sendo assim, baseia-se na ideia de que na paisagem todos os seus elementos cumprem determinadas funções e participam de forma única em seu sistema.

A mudança no arranjo estrutural e/ou funcional em uma determinada escala de tempo seria responsável pela dinâmica do ecossistema em análise. Rodriguez *et al.* (2007) destaca que todas as paisagens devem ser concebidas como formações históricas, que carregam uma bagagem evolutiva que deu origem a seu estado atual e passageiro. Todas as características de estrutura e função que a ela pertenceram irão refletir-se na dinâmica e evolução desta paisagem com o passar do tempo. É importante também destacar que por a paisagem ser um sistema aberto, mudanças em seu processo evolutivo também podem se dar a partir de

alterações nas influências externas, alterando os arranjos internos de estrutura e função do sistema.

Uma ponderação que se faz necessária a cerca do conceito de ecossistemas como é adotado pela Geoeologia. Por ser fortemente embasado na ciência ecológica, muitas de suas avaliações baseiam-se no aspecto natural da paisagem, o que acarreta um esforço de entendimento da ação humana como mais um dos fluxos de energia e matéria que poderiam ser mensurados de maneira objetiva e analisados em um contexto único. Jean Tricart (1977), apesar de adotar uma abordagem similar à destacada acima, já percebia que este tipo de análise sistêmica que trabalha com fluxos de matéria e energia, muitas vezes utiliza seus esquemas sistemáticos para um entendimento geral do funcionamento, no entanto, por dificuldade na mensuração de tais fluxos de energia e matéria devido a sua complexidade, não pode oferecer uma análise final completa do meio.

Uma abordagem que pode ser utilizada para superação desta barreira é a proposta de Geossistemas elaborada por Sotchava. Por tratar-se de uma abordagem sistêmica, seu entendimento da paisagem aproxima-se das bases epistemológicas da Geoeologia. Segundo ele, dentro dos Geossistemas a Geografia Física seria responsável não por estudar os componentes da natureza, mas as conexões entre eles; então “não se deve restringir à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas de preferencia, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funciona, conexões, etc.” (Sotchava, 1977).

Ainda segundo Sotchava (*op. cit.*) “Embora os Geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais, influenciando sua estrutura e peculiaridades espaciais, são tomados em consideração durante o seu estudo e suas descrições verbais ou matemáticas”. Sendo assim, as paisagens antropogênicas nada mais são do que estados variados de primitivos geossistemas naturais, e devem ser incluídas no estudo de dinâmica da paisagem. Esta influência dos fatores econômicos e sociais para a análise da paisagem dentro da visão geossistêmica se torna fundamental, principalmente quando observamos o mundo pós-revoluções industriais e em constante expansão do ecúmeno, onde quase a totalidade da superfície terrestre encontra-se sob influência de algum tipo de ação antrópica de forma direta ou indireta. Esta constante troca de influências entre aspectos físicos e antrópicos, em que a totalidade forma o que aqui chamamos de Geossistema, pode ser observada na figura 1 (Bertrand,1972).

Os Geossistemas são uma classe peculiar dos sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados. A hierarquia de construção é uma condição fundamental

dentro dos Geossistemas, dito isto, desde uma unidade fundamental na superfície da Terra até o Geossistema planetário, passando por todas as suas subdivisões intermediárias, apresentam uma organização geográfica inerente, e que assegura sua integridade funcional. Essa noção de escala é importante na delimitação do Geossistema uma vez que cada categoria geográfica espacial possui sua escala de atuação característica e peculiaridades qualitativas.

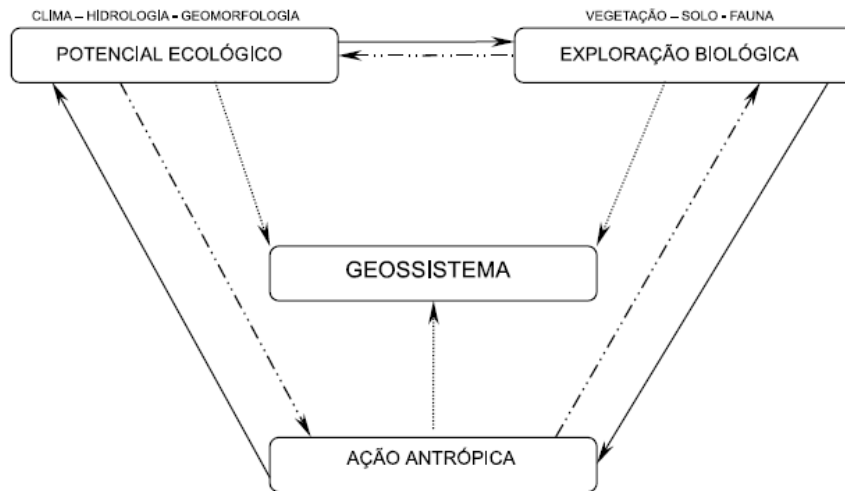


Figura 1 - O Geossistema e seus agentes formadores. Fonte: Bertrand (1972)

Esta noção de escala também se torna um fator que exige muita atenção ao discutirmos qualquer tipo de análise geográfica. Menezes e Fernandes (2013) destacam que a escala pode ser conceituada como à medida que traz visibilidade ao fenômeno, por isso, ao propor uma análise sistêmica da dinâmica da paisagem do estado do Rio de Janeiro, deve-se preocupar com adoção de uma escala que contemple os elementos que se encontram em interação e dão sentido a dinâmica desta paisagem. Segundo Huggett (1995), as análises geoecológicas geralmente consideram suas paisagens contendo não mais que 10.000 Km<sup>2</sup>, e os geotopos (menores unidades da paisagem) variando entre 10 metros e algumas centenas de metros. Tais abordagens de escala seriam incompatíveis com a extensão de área que se pretende trabalhar no presente estudo.

Por outro lado, Sotchava (1977) diz que toda categoria de Geossistemas possui suas próprias escalas e peculiaridades de acordo com seu arranjo geográfico. Isto não significa que podemos fracionar um geossistema ilimitadamente, no entanto, sua análise pode partir desde uma interpretação do geossistema planetário até uma unidade mínima em que a distribuição geográfica dos elementos ainda assegure uma unidade funcional do sistema. Esta escala de análise se torna mais adequada para ser trabalhada no presente estudo.



O que está sendo proposto então é uma análise integrativa, que honre a base epistemológica holística sob a qual a Geografia se construiu, e possibilite realizar uma análise da geoecológica da paisagem no estado do Rio de Janeiro valendo-se de seus conceitos de estrutura, função e dinâmica, no entanto, baseando-se na visão geossistêmica proposta por Sothava para a apreensão da totalidade, onde o homem é um agente transformador e atua diretamente sobre o sistema ambiental.

A Geoecologia vem sendo encarada de maneira aplicada como uma ferramenta que possibilite um planejamento ambiental capaz de garantir a integridade ambiental de determinadas áreas de interesse. Este tipo de aplicação se encontra cada vez mais evidência com a crescente degradação de áreas naturais, tanto devido a sua biodiversidade, quanto a sua capacidade de fornecer recursos para manutenção de atividades humanas. Vicens (2012) destaca que “o objetivo principal do planejamento da paisagem é garantir o uso racional e estável de seus recursos, conservando suas principais funções, que os caracterizam como prestadores de serviços ambientais à sociedade”. Sothava (1977) faz uma importante afirmação ao dizer que prever as mudanças estruturais nos geossistemas é um dos grandes objetivos deste tipo de análise, isto porque, os geossistemas em uma forma dual impactam e também são diretamente impactados pelas ações do desenvolvimento socioeconômico. Mas por se tratar de um sistema aberto e não-linear, que é baseado em complexas interações entre os elementos envolvidos, as respostas do sistema perante as intervenções antrópicas nem sempre são conhecidas, dificultando assim o trabalho de quem se propõe a realizar o planejamento ambiental.

Devido a essa complexidade inerente aos estudos sistêmicos ambientais, os avanços computacionais significaram um importante ganho no poder de coleta, armazenamento e análise de dados geográficos por parte dos pesquisadores de Geoecologia. Carl Troll (1970) já destacava, por exemplo, a utilização de imagens de sensoriamento remoto como uma grande fonte de informação para a identificação de fragmentos e padrões na paisagem, representando assim uma revolução na forma de se produzir as pesquisas geográficas. Diante deste marco na pesquisa geográfica, representado pelo advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), uma série de pesquisas em geoecologia passaram a ser desenvolvidas aproveitando-se da capacidade desse sistema computacional. Alguns exemplos do uso de geotecnologias em favor dos estudos sistêmicos podem ser encontrados em Stow (1993), Menezes (2000), Fernandes (2004) e Dikou *et al.* (2011).

No entanto, Fernandes (*op. cit.*) destaca que tal utilização ainda possui uma série de restrições, principalmente associadas à natureza dos dados computacionais utilizados para representar feição de extrema complexidade da realidade geográfica.

## **2.2 Geoprocessamento**

O desenrolar do século passado permitiu observar uma verdadeira revolução na forma de representação do mundo, esta revolução foi a capacidade de transformação de todas as características da Terra em sequências de 0 e 1, ou como são mais conhecidos, em números binários. Esta forma específica de código é a única forma de dados conhecida pelos computadores e que mesmo com sua aparente simplicidade foi capaz de reinventar o modo de vida de todas as gerações que se seguiram desde sua criação.

Sob a luz da computação e suas incontáveis aplicações às informações geográficas encontraram seu grande aliado. Esta permitia a representação de características terrestres, com uma localização definida no espaço através de sistemas de coordenadas, pelos computadores de forma rápida e com grande precisão para auxiliar nos processos de decisão que necessitassem uma compreensão espacial. O termo Geoprocessamento ficou consagrado como a ciência que abarca um conjunto de tecnologias capazes de levantar, armazenar, processar e exibir informações geográficas.

Para Xavier da Silva (2000), o Geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados georreferenciados com o intuito de transforma-los em informação geográfica. Através dele, é possível interpretar a realidade ambiental como um agregado de sistemas relacionados entre si. Aronoff (1991) define o Geoprocessamento como o conjunto de tecnologias projetadas para a coleta, armazenamento, e análise de fenômenos onde a localização geográfica é uma característica importante ou critério para a avaliação que se deseja executar. Em Longley *et al.* (2009), geoprocessamento é entendido como um sistema baseado em computadores para o armazenamento e processamento de informações geográficas, um conjunto de ferramentas capaz de aumentar a eficiência e eficácia no tratamento de eventos e objetos geográficos. Uma visão muito parecida é apresentada por Câmara & Davis (2001), onde o Geoprocessamento é compreendido como a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica.

Uma linha que parece bem definida em boa parte das explicações do que seria o Geoprocessamento é que o mesmo estaria baseado em sistemas computacionais. Todavia, é

importante destacar que alguns autores classificam também como Geoprocessamento qualquer forma de análise que se valha de análises matemáticas e espaciais, não necessariamente sendo realizadas em um ambiente digital. É o que destaca Menezes (2000), ao classificar o Geoprocessamento como o tratamento da informação geográfica, podendo tanto ser executado de uma forma convencional como computacional.

Precisar onde o Geoprocessamento teve início não é uma tarefa fácil diante do fato que esforços independentes para seu desenvolvimento ocorreram na América do Norte, Austrália e Europa. Muitas das contribuições iniciais durante a década de 50 baseavam-se na extração de medidas da superfície da Terra e no desenvolvimento militar de sistemas para localização. No entanto, foi através do governo canadense, em meados da década de 60, que o primeiro Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi desenvolvido com o intuito de realizar um inventário de seus recursos naturais e uso potencial (Longley *et al.*, 2009). Esses primeiros esforços para o desenvolvimento de um SIG apresentavam-se ainda muito limitados devido ao seu alto custo e a necessidade de uma mão de obra extremamente especializada para sua utilização.

Câmara & Davis (2001) destacam que ao longo dos anos 70 foram desenvolvidos recursos de hardware mais baratos e acessíveis, o que possibilitou uma maior difusão dos *softwares* de informação geográfica. Nessa mesma época foi observado o surgimento dos sistemas de CAD (*Computer Aided Design*, ou projeto assistido por computador), que facilitaram a criação de desenhos e plantas em computadores, significando um grande avanço para os desenhos cartográficos. Todavia, foi durante a década de 80, que acompanhando a grande popularização dos microcomputadores, aliado ao surgimento de centros de pesquisa específicos, que os Sistemas de Informação Geográfica encontraram sua grande difusão e popularidade que segue aumentando até os dias atuais.

Uma importante questão é levantada por Carvalho *et al.* (2000) acerca da confusão entre os termos Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Devemos deixar claro que o Geoprocessamento é um termo amplo e que inclui uma série de tecnologias capazes de lidar com a informação geográfica, cada qual a sua maneira e especificidade. Menezes (2000) destaca outro termo semelhante à Geoprocessamento que vem sendo utilizado cada vez com maior frequência e que seria responsável por abarcar todos os campos que fizessem parte da integração das Geociências com a Informática, a Geomática.

Já os SIG, de acordo com Menezes (2000), são entendidos como uma tecnologia computacional orientada geográfica ou espacialmente, através de sistemas integrados.

Fernandes (2004), diz que apesar da difícil definição precisa do que seria um SIG, podemos entendê-lo como uma ferramenta analítica que visa o tratamento de informações referenciadas espacialmente, além de possibilitarem a manipulação de dados provenientes de diversas fontes, como levantamentos de campo, cadastros, mapas e sensoriamento remoto. Para Aronoff (1991), os SIG são o conjunto de sistemas baseados em computadores utilizados para armazenar e manipular informações geográficas.

Menezes & Fernandes (2013) destacam como as mais importantes tecnologias que incorporam o Geoprocessamento as seguintes: modelagem numérica de terreno (MNT), sensoriamento remoto, banco de dados geográficos (BDG), o sistema de posicionamento global (GNSS) e os sistemas de informações geográficas (SIG). Sendo o SIG uma figura central, capaz de integrar todas as geotecnologias de maneira efetiva e tornar-se a peça mais importante dentro do Geoprocessamento (Figura 2).

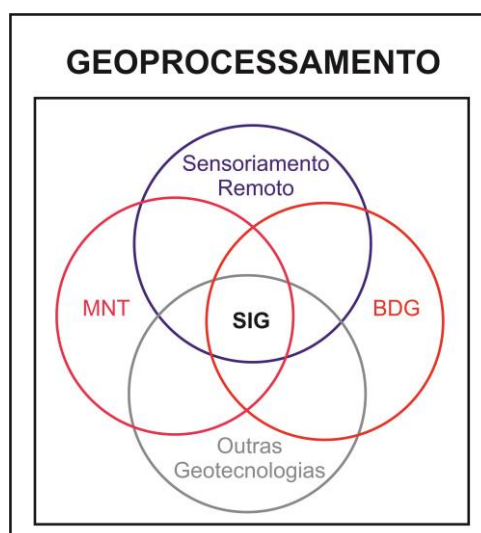


Figura 2 - O relacionamento entre as tecnologias do Geoprocessamento. Fonte: Menezes e Fernandes (2013)

Um banco de dados pode ser pensado como um conjunto integrado de dados a cerca de um determinado objeto, sendo assim, um banco de dados geográficos nada mais é do que um banco de dados contendo dados de um determinado objeto e com uma localização específica no espaço (Longley *et al.*, 2009). Algumas das vantagens em se armazenar os dados geográficos em um banco de dados estão em sua capacidade de organização de grandes volumes de dados, facilidade na consulta através de linguagens de programação, segurança da integridade do dado, compartilhamento com vários usuários, entre outros. Os ganhos ao trabalhar-se com banco de dados geográficos em geoprocessamento são inúmeros, no entanto, seu alto custo de implementação e manutenção, assim como, a necessidade de pessoas

treinadas para lidar com sua complexa natureza ainda impõe certa barreira para uma maior difusão dentro da comunidade geográfica.

Segundo a American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (*apud.* Jensen, 2009) o sensoriamento remoto compreende a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico com o objeto ou fenômeno em estudo. Jensen (*op. cit.*) destaca também a importância do advento do sensoriamento remoto por sua capacidade de coletar dados sistematicamente de áreas extensas, muitas vezes inacessíveis em campo, e sem perturbar o objeto ou área de interesse por adquirir seus dados através do registro de energia eletromagnética. O sensoriamento remoto representou um grande avanço para os estudos ambientais devido seu grande poder de obtenção dos mais variados dados da superfície terrestre.

Um tema que vem ganhando crescente atenção por parte dos pesquisadores em sensoriamento remoto é a detecção de mudanças na paisagem. O desenvolvimento de pesquisas nessa área acrescenta diretamente um grande potencial as análises geoecológicas que sempre procuraram investigar os aspectos da dinâmica da paisagem para entender como se dá a relação entre as funções e estruturas da paisagem com o passar do tempo. Um produto derivado do Sensoriamento Remoto e que será de grande importância para o desenvolvimento do presente trabalho são os Modelos Digitais de Elevação, estes modelos serão discutidos de forma mais aprofundada no capítulo a seguir.

Por apresentar uma grande capacidade no armazenamento, processamento e exibição, assim como, oferecer novas abordagens para a obtenção de dados, o geoprocessamento se mostrou um marco nas pesquisas sistêmicas e ambientais, representando também um novo impulso para as análises geoecológicas. Forman & Godron (1986), Stow (1993), Menezes (2000), Fernandes (2004) e Vicens (2012) destacam algumas das possibilidades dos estudos ambientais e geoecológicos utilizando as ferramentas do geoprocessamento.

### **2.3 Modelos Digitais de Elevação**

Dentre as tecnologias utilizadas pelo Geoprocessamento os Modelos Numéricos de Terreno sempre ocuparam um papel de destaque na realização de estudos integrativos, isto porque, a partir deles é possível realizar observações de qualquer fenômeno de forma contínua na superfície terrestre através de malhas digitais. Segundo Felgueiras (2001) um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição

de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Um MNT pode ser construído para representações geológicas, de temperatura, pressão atmosférica, precipitação, dados geofísicos e geoquímicos, econômicos, etc. No entanto, sua forma mais consagrada de utilização, e que será utilizada no presente trabalho, é para representação de dados altimétricos. A representação digital de um MNT pode ser observada na figura 3, onde o eixo Z representa o valor discretizado do fenômeno que se pretende mapear, e os eixos X e Y representam a localização de determinado valor da variável Z na superfície terrestre.

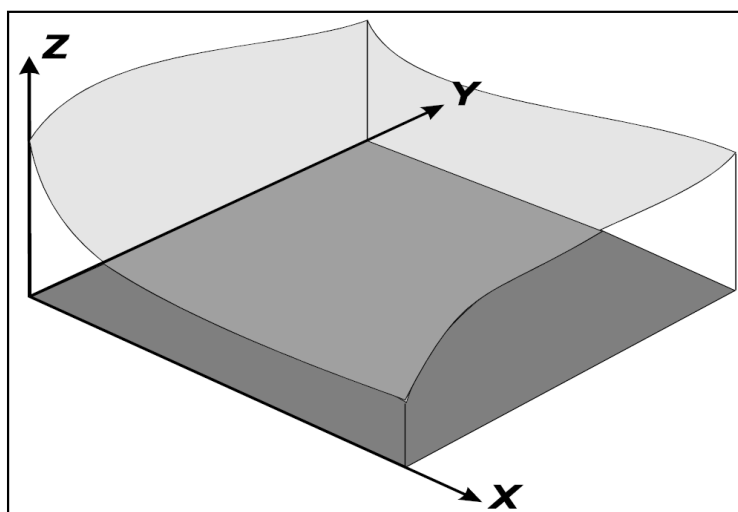


Figura 3 - Representação digital de um Modelo Numérico de Terreno. Fonte: Namikawa *et al.* (2003)

De acordo com Li *et al.* (2004), quando os Modelos Numéricos de Terreno são criados com a intenção de representar aspectos de elevação da superfície terrestre, uma série de nomenclaturas podem ser encontradas na bibliografia. Entre eles temos *Digital Height Models* (DHM), *Digital Ground Models* (DGM), *Digital Terrain Elevation Models* (DTEM), *Digital Elevation Models* (DEM), *Digital Terrain Models* (DTM), entre outros. Barros (2006) destaca que alguns autores tratam as diferentes terminologias para modelagem como semelhantes, enquanto outros traçam diferenças fundamentais entre tais termos. Alguns exemplos de diferenciações entre estas terminologias seria a utilização do DHM para denominar modelos que considerem a elevação do terreno utilizando o nível do mar como marco zero; já o DGM é empregado para referir-se a modelos construídos que possuam como sua base qualquer superfície sólida da terra, incluindo em sua modelagem o embasamento oceânico (Li *et al.*, *op cit.*).

Segundo Felgueiras (2001), na literatura nacional destacam-se como definições mais utilizadas os Modelos Digitais de Elevação (MDE), Modelos Numéricos de Terreno (MNT) e

Modelos Digitais de Terreno (MDT). Barros (2006) define os Modelos Digitais de Elevação como os modelos que representam a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela, como árvores ou construções. Por outro lado, os Modelos Digitais de Terreno representam em seus valores de altitude a superfície real do terreno, desconsiderando toda sua cobertura.

Esta diferenciação entre os Modelos Digitais de Elevação e Modelos Digitais de Terreno pode possuir implicações diretas em determinadas operações a serem realizadas, como é o caso do cálculo de área em Superfície Modelada. A utilização de um Modelo Digital de Elevação para realizar tal cálculo pode resultar em uma redução dos valores de área, uma vez que ao considerar a altitude do topo dos objetos sobre o terreno, em áreas de cobertura florestal, devido a uma tendência do topo das árvores manter certa homogeneidade de altura, maiores rugosidades do relevo podem ser mascaradas. Por este motivo, a utilização de um Modelo Digital de Terreno se tornaria mais aconselhável ao realizar uma mensuração de área em Superfície Modelada, uma vez que este poderia retratar com maior precisão as irregularidades do terreno e fornecer um valor de área em Superfície Modelada mais próximo da realidade. Todavia, devido a maior dificuldade e custo na obtenção de Modelos Digitais de Terreno, seu uso ainda se encontra restrito se comparado à utilização de Modelos Digitais de Elevação.

Entendemos que não cabe ao escopo deste trabalho avaliar a pertinência de cada um destes termos, e muito menos, pretensiosamente cunhar um novo termo para descrição do modelo aqui utilizado. Por isso optou-se por utilizar ao longo deste texto uma nomenclatura que se encontra consagrada na bibliografia nacional e internacional para facilitar a redação e leitura do texto. Consideraremos então toda e qualquer espécie de modelagem que pretenda representar aspectos de elevação como um Modelo Digital de Elevação (MDE), ou *Digital Elevation Model* (DEM), como é chamado na bibliografia de língua inglesa.

Por serem capazes de representar o relevo de forma tridimensional, os MDE possuem grande valor para diversas áreas da ciência, passando desde utilidades na engenharia para intervenções humanas em alguma região, pela biologia para análises de habitats de espécies, aos estudos geográficos que busquem abarcar a totalidade de uma paisagem e considere o relevo como aspecto fundamental para realização do estudo. Felgueiras (1997) destaca algumas das aplicações de um MDE dentro de um SIG, podemos destacar entre elas: geração de mapas de contorno, declividade e exposição, análise de perfis e de visibilidade, cálculos de volumes, entre outras.

Em Namikawa *et al.* (2003) são descritas cinco maneiras possíveis de se representar o terreno em um ambiente computacional. São elas:

- Pontos 3D – São pontos localizados espacialmente a partir de um sistema de coordenadas XY e que possuem um terceiro valor para altitude representado no eixo Z. Este tipo de representação geralmente é utilizado para levantamentos de campo, assim como, definição de cotas máximas e mínimas em cartas topográficas.
- Isolinhas - São linhas formadas por um conjunto ordenado de pontos bidimensionais de um plano XY, definindo assim a geometria de tais linhas e mais um valor relacionado ao fenômeno estudado. Esse tipo de representação de dados é usado para a elaboração de curvas de nível (relevo).
- Grade Irregular Triangular - é uma estrutura poliédrica cujos elementos básicos são triângulos. Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto de amostras utilizado para construção do modelo.
- Grade Regular Retangular - é uma estrutura matricial que contém pontos 3D regularmente espaçados no plano XY. Os atributos importantes de uma grade regular são: número de linhas e colunas; resolução horizontal e vertical; e retângulo envolvente.
- Imagem - formada pela mesma estrutura da grade regular. A diferença básica entre a imagem e a grade regular é o valor associado a cada ponto da estrutura. No caso de imagem atribui-se um valor limitado que depende da resolução espectral usada para representar a imagem.

Estas estruturas utilizadas para representação computacional dos MDE podem ser observadas na figura 4.



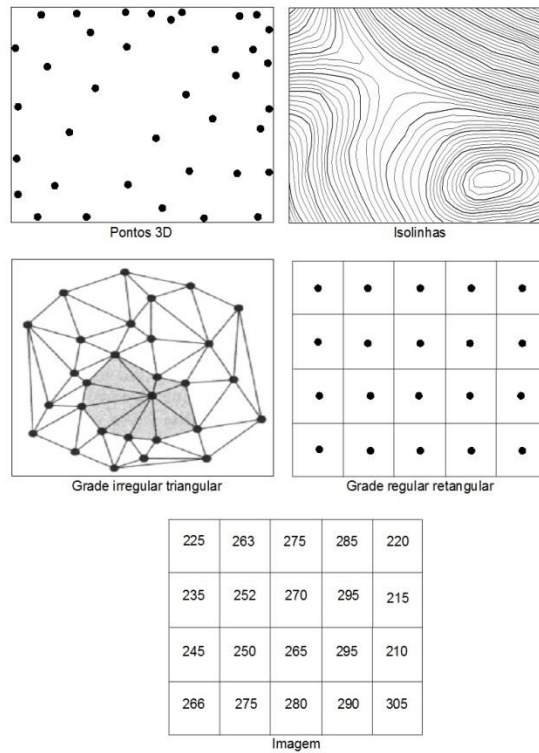


Figura 4 - Possíveis representações computacionais de um MDE. Fonte: Fernandes (2004)

Felgueiras (2001) destaca que o procedimento de criação do MDE exige três etapas: a aquisição das amostras ou amostragem, a geração do modelo propriamente dito ou modelagem, e a utilização do modelo ou aplicações. Apesar de todos passarem necessariamente por estas etapas, sua construção pode possuir parâmetros diferentes, tais parâmetros são especialmente diferentes em duas etapas. A aquisição das amostras e o processo de modelagem.

A aquisição das amostras consiste na etapa de levantamento de dados que sejam representativos do fenômeno em estudo para a geração do modelo. Esta etapa pode ocorrer de uma série de maneiras, no entanto, os métodos mais usuais são a partir de levantamentos de campo utilizando GNSS, bases topográficas que contenham curvas de nível e pontos cotados de máximo e mínimo, fotogrametria, e dados obtidos por sensoriamento remoto.

Como dito anteriormente, o processo de amostragem é de grande importância pois necessita ser representativo do fenômeno. Fernandes (2004) destaca que não se deve coletar um número reduzido de amostras, pois isto pode gerar modelos pobres representativamente (subamostragem); assim como não se deve cometer excessos nas amostras (superamostragem), que acarreta um trabalho com dados redundantes, podendo sobrecarregar o sistema com o uso excessivo de memória e até mesmo prejudicar os resultados.

### 2.3.1 Modelagem

Como destacado, um MDE é um modelo matemático que busca a representação da superfície terrestre de forma contínua em um ambiente computacional. A etapa que precede a aquisição de amostras para criação de um MDE é a modelagem, esta etapa consiste na criação de uma estrutura de dados e a definição de uma superfície de ajuste para os elementos dessa estrutura. A modelagem se propõe a estabelecer uma função interpolante definível para toda estrutura de dados inserida, este procedimento é conhecido como ajuste de superfície (Felgueiras, 2001). Segundo Li *et al.* (2004), uma função interpolante possui três características: a reconstrução de superfícies a partir das amostras, a extração de novos valores de altitude da superfície reconstruída, e a formação de contornos de pontos aleatoriamente distribuídos.

Fernandes (2004) destaca que este processo busca criar modelos digitais que representem a variabilidade dos fenômenos em toda a área de análise, definindo uma função que contemple as características gerais dos fenômenos, assim como suas variabilidades pontuais. Para isso dois tipos de funções podem ser utilizadas, locais ou globais. Felgueiras (2001) diz que as funções globais são obtidas através da utilização de todo o conjunto de amostras inseridas no sistema. Já as funções locais baseiam-se em amostras localizadas em regiões de interesse definidas pelo usuário. Essas regiões locais podem ser definidas por raios de influência ou por quantidade de amostras vizinhas.

No entanto, antes de definir a função interpoladora a ser utilizada no modelo, é necessário definir o tipo de estrutura sobre a qual o MDE será construído. Estas estruturas são formadas por uma malha (grade) de polígonos que cobrem toda a área de interesse da superfície, e cada polígono modela a superfície contida em seu interior que se diferenciam pelo espaçamento entre os pontos de elevação armazenados. Na prática, os dois tipos de grades mais utilizadas para modelagem de terreno são: os modelos de grade regular retangular (GRID); e os modelos de grade irregular triangular, ou *triangular irregular network* (TIN) (Namikawa *et al.*,2003). Estes dois tipos de grade serão discutidos a fundo nos dois próximos subtópicos, mas algumas implicações práticas podem ser observadas nas figuras 5 e 6 retratando dois MDE do Maciço da Tijuca, um construído no formato TIN e outro utilizando as grades regulares retangulares.

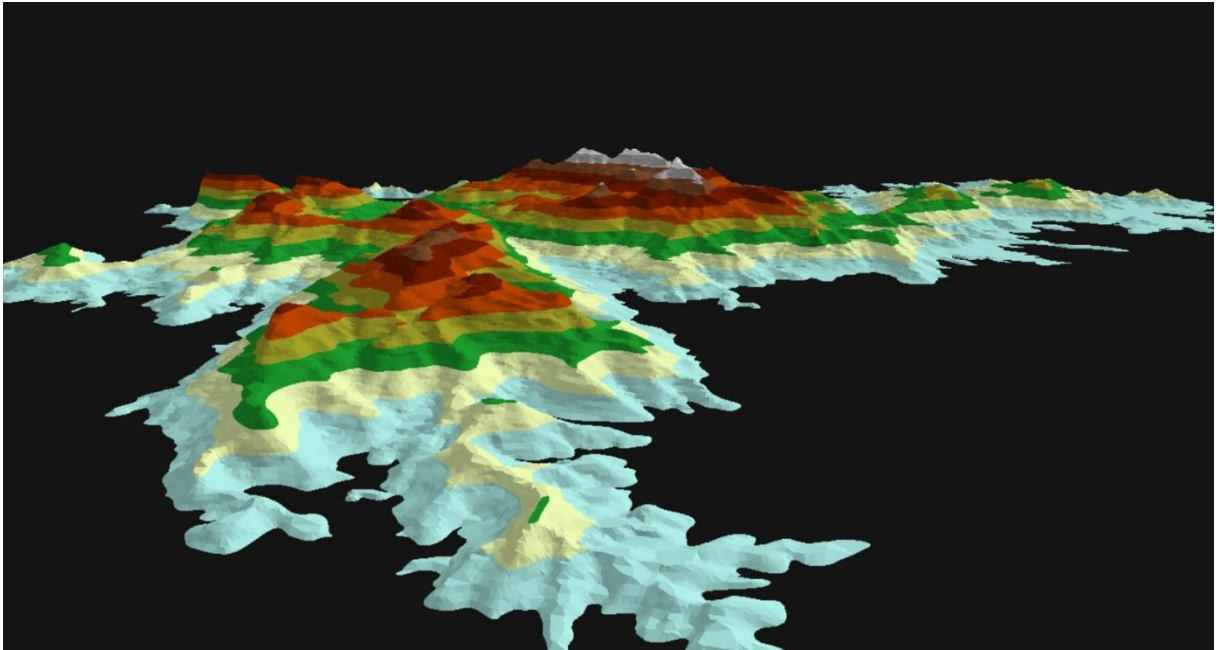


Figura 5 - MDE do Maciço da Tijuca construído utilizando uma Grade Irregular Triangular.

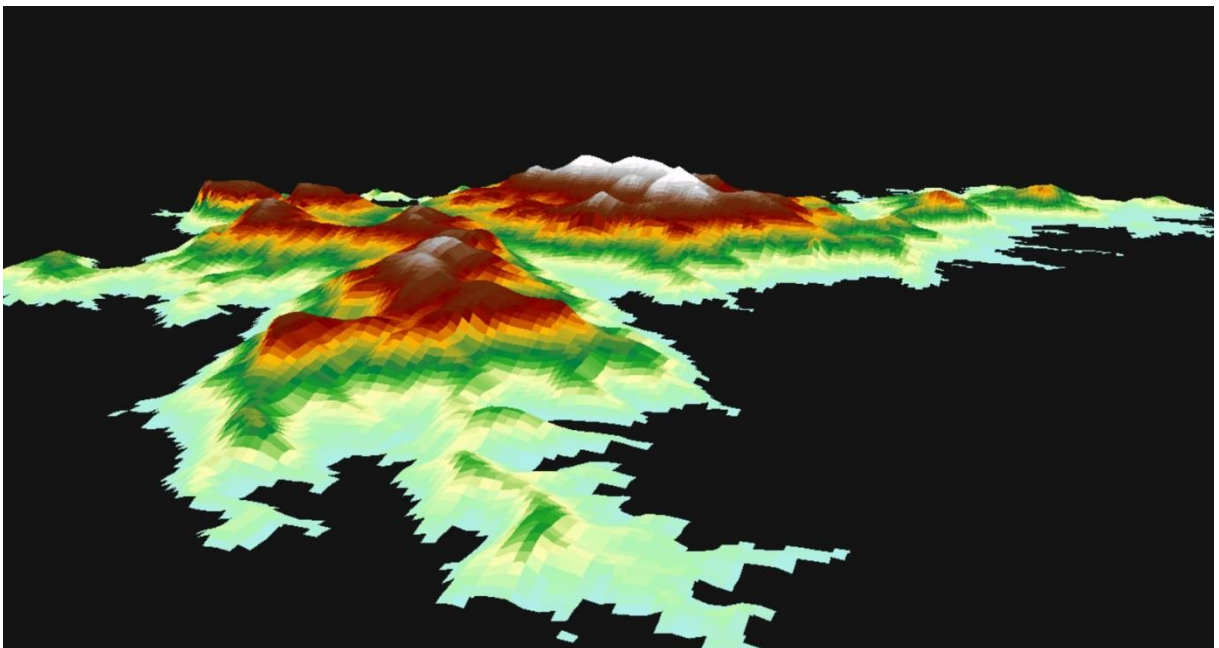


Figura 6 - MDE do Maciço da Tijuca construído utilizando uma Grade Regular Retangular.

### 2.3.1.1. Modelo de Grade Regular

A grade regular é formada por uma matriz com espaçamentos uniformes na horizontal e na vertical, no entanto, não existe a obrigatoriedade do espaçamento entre as células da matriz na horizontal ser o mesmo espaçamento das células na vertical. Quando este espaçamento difere entre os dois eixos, temos a chamada Grade Regular Retangular. Se este

espaçamento for igual para ambos os eixos seu nome será Grade Regular Quadrada. A interseção entre as linhas (eixo horizontal) e as colunas (eixo vertical) formam as células dessa matriz, ou os pixels, que possuem três coordenadas (x,y,z) responsáveis por sua localização no espaço e a determinação de uma cota de altitude (Fernades, 2004).

Segundo Namikawa *et al.* (2003), o processo de geração de uma grade regular consiste em estimar os valores de cota de cada ponto da grade a partir do conjunto de amostras de entrada. Quando utilizamos todos os pontos de amostras disponíveis, o interpolador para tal processo é chamado de global, no entanto, devido ao alto numero de amostras e a homogeneidade de determinadas áreas, o interpolador global se torna pouco utilizado por demandar elevado tempo de processamento. Por estes motivos, durante a geração de Grades Regulares, geralmente se opta por utilizar interpoladores locais. Neste caso, o valor de cota de cada elemento da grade é estimado a partir de uma quantidade preestabelecida de amostras vizinhas mais próximas do elemento. A representação da estrutura de uma grade regular pode ser observada na figura 7.

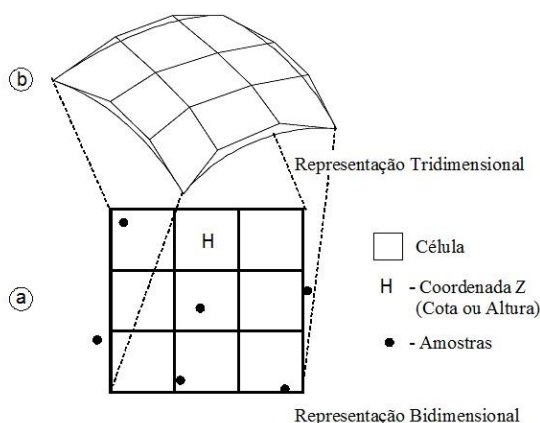


Figura 7 - Representação bidimensional da matriz de uma Grade Regular (a) e sua visualização tridimensional (b). Fonte: Fernandes (2004).

Por utilizar interpoladores para estimar o valor de altitude que cada célula da grade irá carregar, o conjunto de amostras de entrada pode possuir espaçamentos uniformes ou desiguais. De acordo com Felgueiras (2001), para se gerar grades regulares a partir de amostras irregularmente espaçadas, o que é a realidade de maior parte dos projetos, é comum a utilização de funções interpolantes simples (por exemplo: médias ponderadas, *splines*, etc.) e aplica-las localmente. É importante notar que a estimativa da cota Z de cada ponto da grade é realizada a partir de amostras vizinhas locais, no entanto, uma análise global das amostras é sempre necessária para se encontrar essa vizinhança.

Fernandes (2004) também destaca que a qualidade do MDE gerado é diretamente ligada a resolução espacial da grade, ou seja, o espaçamento entre as células formadas pelos eixos XY. Essa deve ser idealmente menor ou igual a menor distância entre duas amostras com cotas diferentes. Uma grade com resolução muito fina (densa) promoverá um grande número de informações, entretanto, essas podem ser redundantes e levarem um tempo maior de geração do modelo. Já uma grade com baixa resolução, ou seja, com uma resolução grossa (muito espaçada) poderá acarretar na perda de informações.

### **2.3.1.2 Modelos de Grade Irregular Triangular**

O modelo de Grade Irregular Triangular, mais conhecido como TIN (*triangular irregular network*), é formado por um poliedro de faces triangulares. Neste poliedro, cada ponto de amostra é utilizado como um vértice, que são unidos três a três para formar os triângulos componentes da estrutura do modelo. Como o universo amostral é utilizado para constituir os vértices dos triângulos, diferentemente das grades regulares, os valores de altitude em um modelo no formato TIN não precisam ser interpolados. Segundo Fernandes (2004), esse modelo constitui-se em uma estrutura vetorial com topologia nó-arco, onde para cada um dos três vértices de cada triângulo são armazenadas as coordenadas de localização X, Y e o atributo Z.

Dois processos são fundamentais na construção de um MDE que utilize este tipo de grade, são eles: o tipo de triangulação, e o interpolador utilizado para construção. Isso porque, apesar de os valores de vértices dos triângulos não necessitarem de nenhuma função interpoladora, a determinação das altitudes internas as faces dos triângulos precisa ser interpolada.

### **Triangulação**

A partir de um conjunto de amostras superior a 4 pontos, inúmeras triangulações podem ser realizadas, no entanto, para a construção de um MDE deseja-se que a triangulação seja única e que represente o mais próximo possível a realidade do relevo. Segundo Namikawa *et al.* (2003), a melhor triangulação é aquela que a distâncias entre os pontos amostrados são as menores possíveis. Isto porque, uma superfície interna a um dos retalhos triangulares deve ser dependente apenas dos pontos mais próximos a ele. O tipo de triangulação presente na maior parte dos SIG e que satisfaz esta condição citada é a triangulação de Delaunay.

De acordo com Fernandes (2004), a triangulação de Delaunay tem como objetivo a maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo, o que significa que os triângulos formados devem ser o mais próximos de equiláteros, evitando a formação de triângulos com ângulos internos muito agudos. Uma forma de compreendermos e verificarmos se uma triangulação é ou não de Delaunay consiste no critério do circuncírculo. Através do critério de circuncírculo esquematizado abaixo (Figura 8), para uma triangulação ser considerada de Delaunay o círculo que passa pelos três vértices de cada triângulo da malha triangular não contém, no seu interior, nenhum ponto do conjunto das amostras além dos vértices do triângulo em questão.

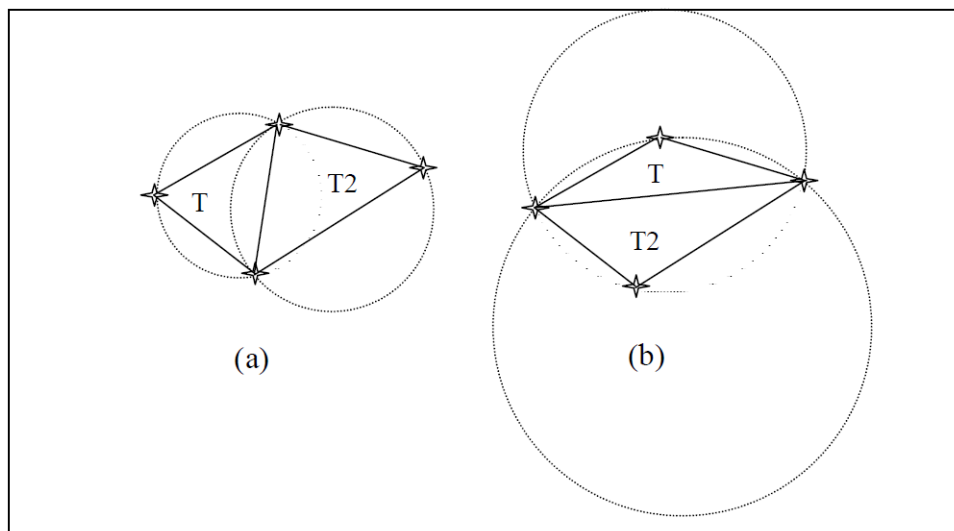


Figura 8 - Critério do circuncírculo para validação da triangulação de Delaunay. (a) T e T2 são triângulos de Delaunay, (b) T e T2 não são triângulos de Delaunay. Fonte: Felgueiras (2001).

Devemos também destacar que durante o processo de triangulação algumas características da superfície topográfica precisam ser preservadas para um melhor ajuste do modelo para com a realidade, por isso, o conjunto de amostras de entrada deve conter as linhas de características da superfície, como por exemplo: linhas divisoras de águas (linhas de máximo) e as linhas de drenagem (linhas de mínimo).

### Interpolação

Felgueiras (2001) apresenta três dos interpoladores mais utilizados na construção de grandes triangulares irregulares. São eles: Ajuste Linear, Ajuste Quântico e Ajuste Estocástico.

- Ajuste Linear – Considerando-se um comportamento linear dentro de cada triângulo pode-se estimar, com facilidade, o valor de qualquer ponto da superfície definida pela malha triangular. Essa estimação é definida através do plano no espaço tridimensional formado pelos três vértices de cada triângulo.
- Ajuste Quíntico – Modelo mais complexo, definido por Akima (1978), sugere o ajuste de uma superfície polinomial de quinta ordem incompleta para cada triângulo da malha.
- Ajuste Estocástico – Metodologia de ajuste proposta por Fournier *et al.* (1982), que lança mão de interpoladores estocásticos válidos para modelos de grade triangular. A ideia principal desse método é simular a natureza fractal das informações presentes em fenômenos geográficos como o relevo.

### **2.3.2 Comparação entre Grades Regulares e Grades Irregulares Triangulares**

Acima foram apresentadas algumas características básicas dos tipos de grades mais comumente utilizadas para a geração de Modelos Digitais de Elevação. Devemos destacar que cada uma possui vantagens e desvantagens que precisam ser avaliadas caso a caso de acordo com a área de estudo e objetivos que se pretende alcançar.

Podemos citar, por exemplo, uma maior disponibilidade de produtos finais gratuitos no formato de Grades Regulares (SRTM e ASTER da NASA, TOPODATA do INPE, etc.), o que torna seu uso mais comum em projetos com restrições orçamentárias. No entanto, é notório um melhor ajuste das Grades Irregulares Triangulares a superfície do relevo, isto porque, devido à natureza estrutural do formato de dado, os triângulos conseguem se ajustar com maior precisão a superfícies acidentadas do que as células utilizadas pelas Grades Regulares. O tempo de processamento é outro fator que deve ser levado em conta na escolha por um destes modelos, visto que para áreas de estudos muito extensas, a utilização de grades irregulares triangulares se torna uma opção muito custosa em termos de processamento de dados, sendo melhor optar por modelos no formato de grades regulares que possuem estruturas mais simples e demandam menor capacidade de processamento.

Felgueiras (2001) apresenta uma comparação entre a estrutura dos dados destas duas grades (tabela 1).

Tabela 1 - Comparação entre os modelos de Grade Regular e Grade Irregular Triangular.  
 Fonte: Adaptado de Felgueiras (2001).

<b>GRADES REGULARES RETANGULARES (GRID)</b>	<b>REDES IRREGULARES TRIÂNGULARES (TIN)</b>
Regularidade da distribuição espacial dos vértices das células do modelo	Irregularidade da distribuição espacial dos vértices das células do modelo
Os vértices dos retângulos da grade são obtidos a partir da interpolação das amostras de entrada	Os vértices dos triângulos da rede são obtidos diretamente das amostras de entrada
Possui restrições na representação de terrenos com variações locais acentuadas (terrenos com relevo acidentado)	Representam melhor superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas (terrenos com relevo acidentado)
Estrutura de dados mais simples	Estrutura de dados mais complexa
Fácil e eficiente armazenamento e implementação computacional	Requer uma ordem de magnitude maior de armazenamento de dados, dificultando implementações computacionais
Relações topológicas entre os retângulos explícitas	É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre os triângulos
Mais utilizado em aplicações qualitativas e para análises multiníveis no formato <i>raster</i>	Mais utilizado em aplicações quantitativas

No entanto, é necessário fazer uma breve, mas fundamental ponderação a cerca dos processos de modelagem. Quando coletando dados em um espaço geográfico e armazenando-os em um ambiente digital para visualização ou manipulação, todo o trabalho realizado será uma simplificação do que foi observado em campo. Toda espécie de modelo baseia-se em uma generalização da realidade presente no mundo físico real devido à impossibilidade de reprodução da totalidade em seus mínimos detalhes em um sistema computacional. Este fato acarreta a perda de informações, que podem ser insignificantes em determinadas escalas ou representar grandes distorções da realidade (Christofolletti, 1999).

Como destaca Bernhardsen (1999), os processos presentes no mundo real são irregulares e encontram-se em constante mudança, por isso, sua percepção e as informações que dali serão extraídas estão diretamente ligadas ao objetivo e capacidade do cientista interessado no levantamento de determinado fenômeno. A necessidade de generalização é uma barreira intransponível, ao menos diante das capacidades tecnológicas a disposição atualmente.

Os processos de generalização da informação associados a ruídos provenientes da própria obtenção dos dados que servirão como base para o processamento, sempre suscetível a uma série de erros, resultam em produtos que apresentam um determinado distanciamento da realidade. Por isso, como destacam Barros (2006) e Santos (2005), a avaliação dos insumos cartográficos, anteriormente a sua utilização, se torna fundamental para compreensão



da escala a qual seu uso se torna adequado e verificação da compatibilidade com a escala de trabalho definida.

#### **2.4 Sensoriamento Remoto para obtenção de dados altimétricos**

Os levantamentos realizados por sensoriamento remoto podem ser classificados inicialmente em dois grandes grupos, aqueles realizados por sensores passivos e os realizados por sensores ativos. Os sistemas passivos de sensoriamento remoto geram suas imagens através do registro da energia eletromagnética que é refletida ou emitida pela superfície terrestre. Por outro lado, os sensores ativos não são dependentes da energia eletromagnética do sol ou de propriedades termais da Terra, eles são capazes de gerar sua própria energia eletromagnética que é transmitida do sensor até a superfície terrestre, interage com o terreno e são registradas novamente em seu retorno pelo sensor através de um receptor (Jensen, 2009).

Os dois tipos de sistemas de sensores remotos, passivos ou ativos, possuem a capacidade de aquisição de dados altimétricos a partir de seus levantamentos, no entanto, a metodologia para tal é diferente.

No caso dos sensores remotos passivos, as informações altimétricas podem ser obtidas através da técnica de estereoscopia, onde a partir da observação de um par de imagens (pares estereoscópicos) adquiridas de uma mesma área, com ângulos de incidência distintos, é possível a extração dos valores de altitude. Para imagear uma mesma área com ângulos de incidência diferentes existem duas possibilidades disponíveis entre os sensores, são elas: obtenção em órbitas diferentes (*across track*) e obtenção na mesma órbita (*along track*) (Barros, 2006).

A obtenção de pares estereoscópicos em órbitas diferentes é realizada com a variação lateral do ângulo de incidência do sensor, captando a região de interesse quando o mesmo passa lateralmente a área com a variação de sua órbita. Este tipo de obtenção não é o ideal para aquisição de imagens de um mesmo local, uma vez que, para atingir órbitas diferentes o tempo necessário de repassagem do sensor é aumentado, causando dificuldade de correlação entre as imagens obtidas devido a mudanças climáticas, ou até mesmo, alterações na superfície terrestre.

No caso de pares estereoscópicos obtidos em uma mesma órbita, as imagens são obtidas com a variação da incidência do sensor para frente ou para trás. Isto permite que a mesma região seja imageada pelo sensor em um curto intervalo de tempo, uma vez que o par estereoscópico é obtido a partir de uma única passagem. Podemos citar como exemplo de

Modelos Digitais de Elevação gerados a partir de pares estereoscópicos obtidos em uma mesma órbita os produtos da missão ASTER e ALOS.

Por outro lado, o levantamento de dados de altimetria por sensores remotos ativos apresenta uma alternativa para o método estereoscópico utilizado pelos sensores passivos. Dentre os tipos de sensores ativos disponíveis atualmente podemos destacar como os mais utilizados os seguintes: micro-ondas ativas (RADAR), LIDAR, e o SONAR. A seguir será feita uma breve introdução aos sensores de micro-ondas ativas, ou RADAR, que apresenta uma vasta gama de uso para os estudos ambientais e uma rica fonte de dados para a criação de modelos representativos do relevo.

Os sensores imageadores por Radar trabalham com a aquisição de dados a partir da transmissão de micro-ondas de comprimento entre 0,75 e 100 centímetros através da atmosfera e na detecção da quantidade de energia retroespalhada pela superfície do terreno. Por trabalharem com determinadas frequências de micro-ondas, os radares possuem uma excelente solução para mapeamentos em regiões com constante cobertura de nuvens devido a sua capacidade de penetrar estas camadas e realizar a aquisição independente das condições meteorológicas. Por também atuar em comprimentos de onda fora das regiões do espectro magnético óptico e infravermelho, ele possibilita a aquisição de informações sobre rugosidade superficial, propriedades dielétricas e conteúdo de umidade (Jensen, 2009).

Segundo Jensen (*op cit.*), os radares podem ser divididos em dois diferentes grupos relativos ao tipo de antena utilizado para recepção da energia, são eles: o Radar de Abertura Real e o Radar de Abertura Sintética (*synthetic aperture radar* – SAR). A diferença entre estes dois tipos de radar consiste no fato que os radares de abertura real utilizam antenas de comprimento fixo (ex.: 1 – 2 metros), enquanto o radar de abertura sintética também pode utilizar uma antena com as mesmas dimensões, mas possui a capacidade de simular uma antena muito maior. Devido a sua capacidade de simulação de antena maior, os SAR são capazes de atingir resoluções muito mais finas para grandes áreas.

Desenvolvido nos anos 60, a tecnologia SAR emite, recebe e armazena pulsos refletidos por um alvo, e então mapeia a intensidade destes pulsos em escalas de cinza para formar uma imagem. Seu sistema funciona baseado no princípio da mudança na frequência Doppler causada pelo movimento relativo entre a antena e o alvo. Os dados gerados a partir de SAR são extremamente sensíveis a variações no terreno, tornando-se ideal para levantamentos topográficos e uma excelente fonte de dados para modelagem de terreno. O processamento de dados para finalidades tridimensionais a partir de SAR pode ocorrer de duas maneiras:

Radargrametria ou Interferometria. As técnicas de radargrametria adquirem dados para MNT a partir da medição de parallax, enquanto a técnica de interferometria utiliza-se da determinação de mudança de fase entre dois pulsos (Li *et al.*, 2004).

A tecnologia de interferometria de radar de abertura sintética, ou InSAR, baseia-se no processo pelo qual as imagens de radar de um mesmo local no terreno são registradas por antenas em localizações diferentes ou em tempos diferentes. A análise de um par interferométrico permite realizar medições sobre o deslocamento de qualquer ponto específico (x,y,z) encontrado nas duas imagens. Para mapeamentos topográficos é realizada a aquisição de dados a partir de dois ângulos de visadas diferentes e assume-se que a área imageada não sofreu deslocamento durante o intervalo de sua obtenção. O resultado de análises interferométricas podem fornecer informações topográficas tão precisas quanto, ou até melhores, que os modelos digitais de elevação obtidos através da estereoscopia. Outra vantagem desta metodologia é sua capacidade de operar através de nuvens em qualquer hora, não sendo necessária a presença de iluminação do sol.

Jensen (2009) também destaca que as antenas de radar enviam e recebem energia polarizada, isso significa que estas antenas trabalham com pulsos de energia eletromagnética que ocorram em um único plano perpendicular à direção de propagação. Os pulsos enviados e recebidos pelas antenas podem ser polarizados horizontalmente ou verticalmente. A interação dos pulsos polarizados verticalmente e horizontalmente ocorrem de maneiras diferentes na superfície terrestre e são recebidos de formas distintas pela antena, por isso, diferentes aplicações possuem resultados diferentes de acordo com a polarização utilizada.

Um problema comum em imagens de radar de regiões montanhosas ou que apresentem alta declividade é a ocorrência de sombras. Este fenômeno ocorre em determinadas condições em que um objeto se eleve acima do datum local, podendo causar através de sua escarpa frontal (*foreslope*), a reflexão total do pulso emitido pelo radar, e produzindo uma área de sombra negra sobre sua escarpa dorsal (*backslope*) (Figura 9).

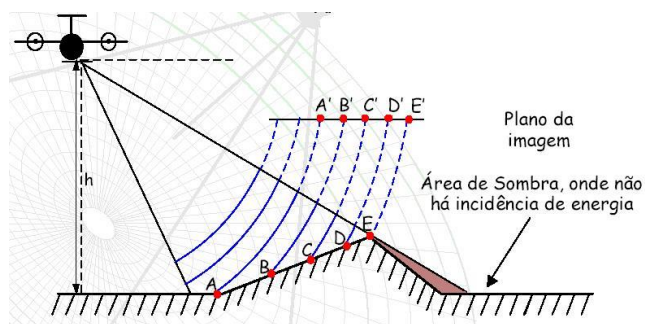


Figura 9 - Sombreamento do relevo mapeado por radar. Fonte: Santos (2005).

Uma escarpa dorsal será sombra em uma imagem de radar quando seu ângulo de declividade for maior que o ângulo de depressão do radar, que é o ângulo formado entre a fuselagem da aeronave que transporta o radar e o pulso de energia da antena ao longo da linha de visada do radar em um ponto específico do terreno. Por isso é importante destacarmos que duas montanhas com alturas e inclinação semelhantes não apresentarão sombras iguais, pois sua aparição depende da função entre a inclinação do objeto em relação ao ângulo de depressão (Jensen, 2009).

A resposta de um radar em relação a seu alvo em terra irá variar de acordo com uma série de fatores para a formação de imagens. Entre estes fatores podemos destacar a rugosidade do terreno como um dos principais. O nível de rugosidade é responsável por um maior ou menor retroespalhamento do pulsos emitidos pelo radar, que será traduzido em tons mais claros ou mais escuros na imagem. Superfícies lisas tendem a possuir um menor retroespalhamento, refletindo todos os pulsos na direção oposta ao radar e dando origem a áreas mais escuras na imagem. O oposto ocorre com superfícies rugosas, onde o retroespalhamento será maior e conseqüentemente, parte dos pulsos serão enviados de volta ao radar para originar áreas claras na imagem (Jensen, 2009).

## **2.5 Superfície Planimétrica e Superfície Modelada**

O planejamento ambiental, assim como a abordagem geoecológica, possui uma inerente complexidade à medida que as inter-relações presentes entre seus elementos representam estruturas ricas em conexões internas e externas, transformações não-lineares e desconhecidas, além de não se apresentarem equilibradas em relação ao tempo e espaço das variáveis que as compõem. Por isso, ao conduzirmos uma análise geoecológica ou em qualquer outra forma de estudo integrativo, deve-se conduzir tal análise a luz de uma abordagem específica que utilize unidades de paisagem que sejam adequadas em relação ao objetivo que se pretende alcançar (Fernandes, 2009).

Por sua grande capacidade de integração de todas as outras tecnologias do Geoprocessamento, assim como dados de naturezas diversas, os Sistemas de Informação Geográfica são uma importante ferramenta para estudos que abarquem temas tão complexos como os sistemas ambientais. Entretanto, é necessária uma grande reflexão a priori para que as técnicas e metodologias empregadas no estudo utilizando ferramentas de SIG não sejam responsáveis por mascarar ou representarem de maneira insatisfatória os fenômenos que se pretende investigar. Este tipo de problema também pode ser resultado do desconhecimento de

determinadas características do formato de dado escolhido para se trabalhar em um ambiente computacional, de forma que suas limitações estruturais não são capazes de representar da maneira que se espera o fenômeno a ser mapeado.

De acordo com Menezes (2000), os dados geográficos podem ser classificados a partir de algumas de suas características, são elas: localização, quantidade (volume de dados), dimensionalidade e continuidade. Dentre estas características, a que será de maior importância neste trabalho é a dimensionalidade do dado, diretamente ligado a uma classe de objeto geográfico e que é específica a determinados fenômenos. Estas classes dimensionais podem ser divididas em pontos, linhas, superfícies e volumes, como podem ser observados na figura 10.

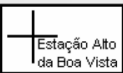



OBJETOS ESPACIAIS				
Classe do objeto	Ponto	Linha	Superfície	Volume
Dimensão	0	1	2	3
<b>Exemplo</b>	Localização de uma estação pluviométrica  Estação Alto da Boa Vista	Sessão de uma estrada  Trecho da BR101	Parcela de solo  Área de Floresta	Terreno físico  Porção de uma bacia de drenagem

Figura 10 - Classes dimensionais dos objetos espaciais. Fonte: Fernandes (2009)

Estas classes de objetos definem propriedades de representação de determinado fenômeno geográfico que é de suma importância para a análise que será realizada a partir de então. A escolha errada da classe que será atribuída a um objeto pode ser responsável pela inviabilização do estudo.

Fernandes (2009) destaca que independente da classe de objeto utilizada, todo dado ou informação geográfica apresenta-se no mundo real de forma tridimensional, ou seja, possui um par de coordenadas para posicionamento horizontal, e um valor Z para posição vertical. No entanto, durante o processo de simplificação da realidade para a representação deste fenômeno em um ambiente computacional, muitos dados são inseridos em um SIG possuindo apenas suas coordenadas horizontais. Este tipo de generalização pode ser insignificante para determinados estudos, mas representar uma falha metodológica para outros.

Ao utilizar apenas as coordenadas horizontais de um fenômeno, toda análise realizada com estes dados se dará através da projeção de seus pontos em um plano cartesiano, e seus resultados irão considerar a realidade como uma Superfície Planimétrica, onde o relevo não possui nenhum tipo de influência sobre o fenômeno. Este tipo de análise pode ser responsável

por mascarar a interpretação de estrutura, função e dinâmica dos elementos geocológicos de uma paisagem.

Partindo deste entrave metodológico que Fernandes (2004) propõe a utilização da Superfície Modelada para a realização de estudos geocológicos. A Superfície Modelada contempla o relevo com todas suas rugosidades e descontinuidades, tornando possível realizar uma análise que leve em conta aspectos de elevação e declividade (Figura 11). Este tipo de análise é especialmente impactante quando se trabalha com fatores que levem em consideração a área de determinada paisagem, isto porque, a métrica de área em Superfície Planimétrica se dá de maneira diferente da Superfície Modelada. A utilização de áreas calculadas em Superfície Modelada irá impactar diretamente índices de densidade populacional, densidade de drenagem, índices de desmatamento anual, índices de expansão urbana, entre outros. A partir destas ponderações torna-se mais simples a compreensão da importância de se trabalhar com a Superfície Modelada quando realizando estudos geocológicos. Isto porque, este tipo de superfície prima pela estrutura da superfície da paisagem, sendo capaz de revelar diferentes funcionalidades e dinâmicas em relação às observações em Superfície Planimétrica.

É importante destacar que este tipo de análise foi facilitada pelo desenvolvimento das tecnologias de Geoprocessamento, possibilitando uma representação do relevo com grande nível de acurácia através dos Modelos Digitais de Elevação, e a capacidade dos SIG de integrar e processar informações de diversas fontes e que possuíssem grandes volumes de dados.

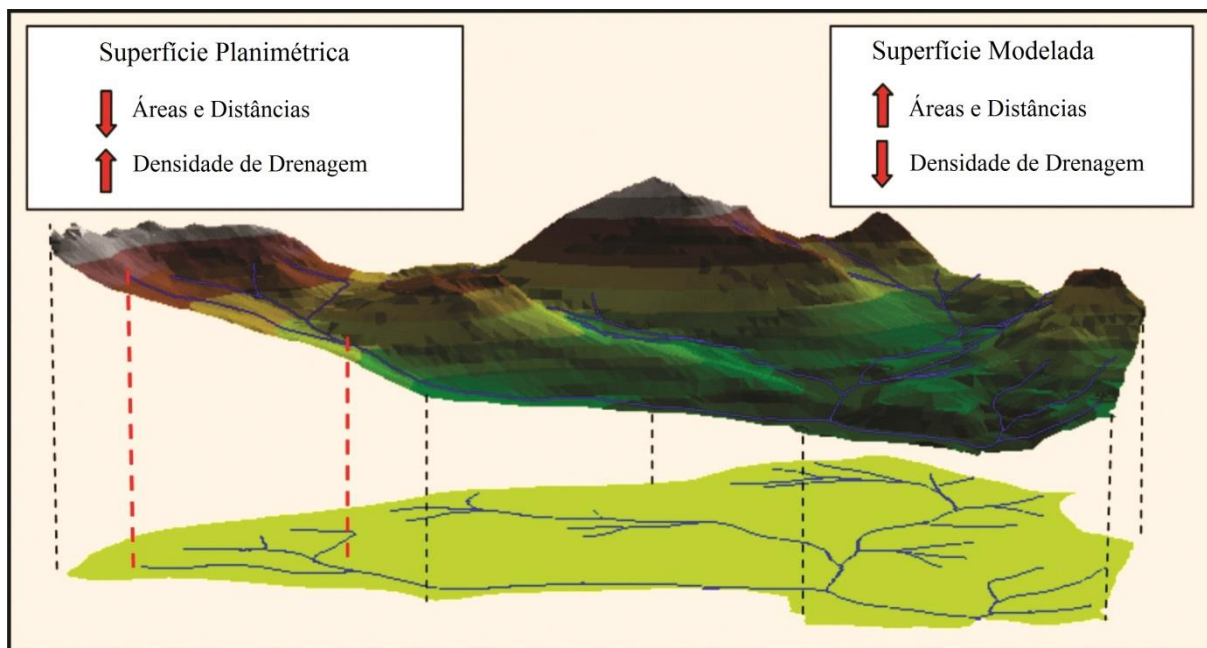


Figura 11 - Comparação entre a representação de uma área em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada.  
 Fonte: Menezes e Fernandes (2013).

Alguns exemplos da utilização da Superfície Modelada, ou *Surface Area* como é chamada na bibliografia internacional, podem ser encontrados em Hobson (1972) onde é apresentada a importância da consideração do relevo para condução de estudos e mapeamentos geológicos. Jenness (2004) apresenta a importância de se considerar a influência do relevo quando trabalha-se com indicadores de biodiversidade, como por exemplo, habitat de espécies. Fernandes *et al.* (2013) realiza uma análise na dinâmica da paisagem do Maciço da Tijuca considerando as diferenças ao realizar o cálculo de área utilizando a Superfície Planimétrica e a Superfície Modelada.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

O estado do Rio de Janeiro está localizado na região Sudeste do Brasil, entre as latitudes aproximadas de 20° 45' S e 23° 23' S, e longitudes 40° 56' O e 44° 54' O, e possui uma área planimétrica de aproximadamente 43.766 km<sup>2</sup> (Figura 12). Fazendo limite com os estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo, o estado do Rio de Janeiro possui a segunda maior população do país, assim como, a segunda maior cidade. De acordo com Santos *et al.* (2009) apesar de abranger apenas 0,5% do território brasileiro, o estado abriga cerca de 8,5% da população do país, possuindo a maior densidade demográfica do Brasil com aproximadamente 328 habitantes/ km<sup>2</sup>, sendo 96% desta população residente em áreas urbanas.

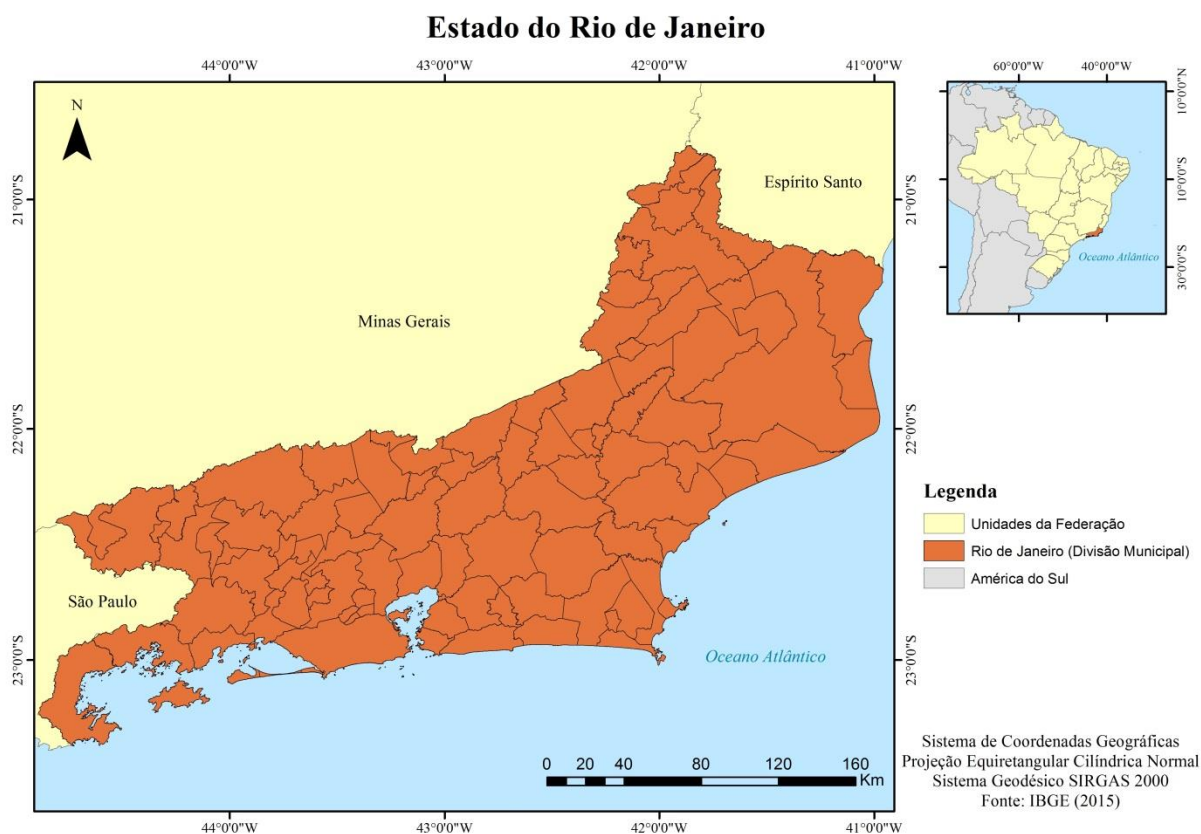


Figura 12 - Mapa de localização do Estado do Rio de Janeiro.

Santos (*op. cit.*) destaca que a organização econômica, política e social do estado é marcada pela concentração espacial de sua população, recursos e atividades. Traços estes que refletem as raízes da formação econômica e social brasileira, e o papel desempenhado pelo estado do Rio de Janeiro. Para ilustrar este cenário é possível destacar que a cidade do Rio de Janeiro, em conjunto com os demais municípios pertencentes à região metropolitana,



concentram 74,34% da população total do Estado, estimada em 16.010.429 de habitantes (IBGE, 2001).

Este fenômeno de concentração na região metropolitana se deu a partir da década de 40, com a expansão das atividades industriais e de serviço, além da decadência da atividade primária no estado, o que acarretou um fluxo de migrantes atraídos pela cidade do Rio de Janeiro. Com a integração decorrente da criação e expansão da malha ferroviária e rodoviária, acentuou-se a disparidade populacional entre as regiões fluminense e a região urbano-industrial fluminense.

Com relação a seus aspectos físicos, o estado do Rio de Janeiro apresenta uma grande diversidade geomorfológica, variando de domínios serranos a baixadas litorâneas, em áreas de relativamente pequena extensão, que deve ser compreendida através da singular interação entre os aspectos tectônicos e climáticos que delinearão sua morfologia atual.

O estado pode ser dividido em duas grandes áreas segundo sua geomorfologia. Estas áreas são separadas pelas escarpas da Serra do Mar, que se constitui como o divisor de águas central do Rio de Janeiro, estendendo-se do litoral de Paraty até a região de São Fidélis (SEA, 2011).

Na porção a norte das escarpas, assim como na área central do Estado, ocorre o predomínio de feições morfológicas acidentadas, onde encontram-se as maiores amplitudes altimétricas do Estado, caracterizadas por morros, serras escarpadas, serras isoladas e serras locais de transição entre amplitudes altimétricas diferentes.

Na porção ao sul e sudeste das escarpas da serra do mar encontram-se os domínios geomorfológicos de menores amplitudes altimétricas e relevo mais suavizado, com extensas áreas de planícies fluviais e fluviomarinhas e colinas, como na Baixada Fluminense, na Região dos Lagos e na região de Campos dos Goytacazes.

Em relação às características climáticas, o clima Tropical Atlântico se estabelece como dominante no Estado do Rio de Janeiro, marcado por uma média de temperatura bem distribuída, que se eleva à medida da maior proximidade a faixa costeira, e por uma precipitação mal distribuída, com chuvas concentradas nos meses de verão e apresentando um inverno seco. A exceção encontra-se nas regiões hidrográficas mais próximas da Serra do Mar, onde a barreira natural é responsável pelos maiores índices de pluviosidade (SEA, 2011).

Sendo um dos estados brasileiros que se encontra completamente inserido no bioma Mata Atlântica, o Rio de Janeiro é ainda o estado que preserva a maior porcentagem de

remanescentes florestais deste bioma (20,33%), constituindo uma área de aproximadamente 9.000 Km<sup>2</sup> (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2002). De acordo com Bergallo *et al.* (2009), as áreas de cobertura vegetal do estado foram continuamente reduzidas desde o início do processo de colonização, tendo atingido seu ápice no último século, onde aproximadamente 84% da cobertura natural foi extirpada. Tal remoção foi responsável pela situação de ameaça de extinção ou extinção de um grande número de espécies da fauna local.

### **3.1 As regionalizações do Estado do Rio de Janeiro**

A divisão de determinado local em regiões sempre foi um dos grandes interesses dos estudos geográficos, uma vez que este tipo de exercício pode facilitar o entendimento da realidade que se pretende analisar, dando visibilidade a fenômenos a partir do agrupamento de áreas com características físicas, sociais ou econômicas semelhantes. Este tipo de esforço também serve para guiar as decisões políticas relativas aos planos de ações e investimentos.

Ao longo do processo de formação histórica e política do Estado, levando em consideração seus aspectos físicos e sociais, o Rio de Janeiro foi subdividido em regiões administrativas conhecidas por Baixadas Litorâneas, Centro-Sul Fluminense, Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense e Serrana.

Buscando dar mais atenção aos aspectos ambientais, a Secretaria de Estado do Ambiente/RJ (SEA/RJ) utiliza uma divisão que contempla as regiões hidrográficas do estado, uma vez que as bacias de drenagem, e por sua vez os recursos hídricos, representam um dos mais importantes guias de expansão de fronteiras agrícolas, urbanas e industriais. Sendo assim, a SEA utiliza uma divisão em dez regiões hidrográficas, são elas: Baía da Ilha Grande, Guandu, Médio Paraíba do Sul, Piabanha, Baía de Guanabara, Lagos São João, Rio Dois Rios, Macaé e das Ostras, Baixo Paraíba do Sul, Itabapoana.

No entanto, Saraça *et al.* (2009) destaca que divisão regional feita pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro data de 1987, e devido as grandes modificações sofridas na dinâmica socioeconômica do estado nos últimos 20 anos, tal regionalização não é mais representativa da realidade do estado. Pensando nisso é proposta uma nova divisão regional, contendo nove regiões, pensadas nas diferenças e particularidades do cenário atual. Devido ao esforço realizado pelo autor em contemplar tanto as características físicas do estado, assim como, atualizar a regionalização diante das novas organizações socioeconômicas que se deram nas duas últimas décadas, as análises realizadas no presente trabalho levaram em conta esta nova regionalização do estado do Rio de Janeiro (Figura 13).

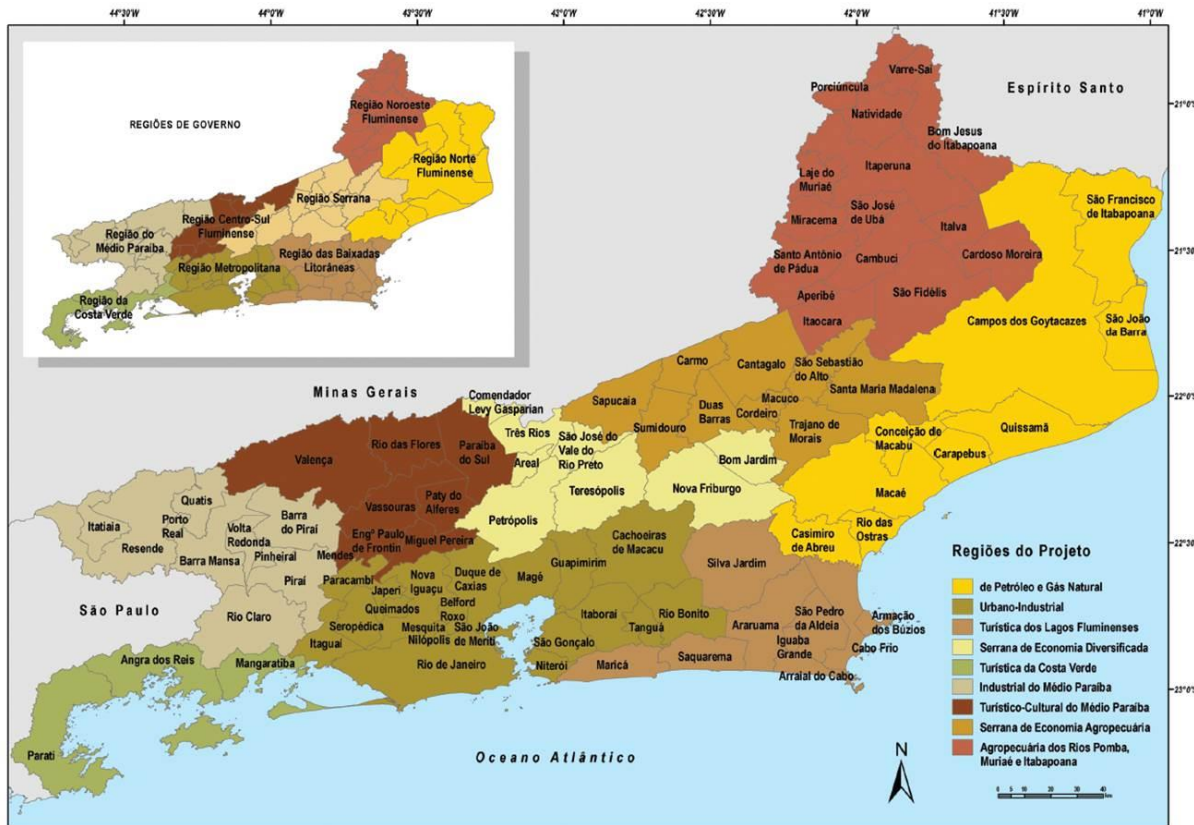


Figura 13 - Nova regionalização do estado do Rio de Janeiro. Fonte: Saraça *et al.* (2009)

A seguir será apresentada a regionalização proposta por Saraça *et al.* (2009), seus municípios constituintes e uma breve descrição das regiões.

### Região do Petróleo e Gás Natural

Municípios integrantes: Carapebus, Campos dos Goytacazes, Casimiro de Abreu, Conceição de Macabu, Macaé, Quissamã, Rio das Ostras, São Francisco de Itabapoana e São João da Barra.

Região que contempla a porção do estado mais afetada pela extração de óleo e gás no estado devido à exploração da Bacia de Campos. Segundo Saraça *et al.* (2009), nela tem ocorrido um aumento demográfico significativo, especialmente de caráter urbano. Este aumento demográfico foi responsável pela grande pressão antrópica sobre a cobertura vegetal, o que acarretou perda de biodiversidade. As áreas com maiores fragmentos florestais localizam-se nas regiões de terreno mais elevado, como por exemplo, os municípios de Casimiro de Abreu, Conceição de Macabu e Macaé.

Os municípios desta região, anteriormente ao início das atividades voltadas para a indústria do petróleo, possuíam vocação agrícola, com predomínio de culturas e pastagens.

Uma obra realizada nesta área, mas que não é contemplada pelos anos de mapeamento utilizados na presente pesquisa, é o Porto do Açú, grande empreendimento localizado no município de São João da Barra.

### **Região Urbano-Industrial**

Municípios integrantes: Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, Rio Bonito, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá.

Incluindo além dos municípios que compõe a região metropolitana do Rio de Janeiro, como também os de Itaguaí, Cachoeiras de Macacu e Rio Bonito, esta região é caracterizada pela concentração demográfica e de intensa urbanização.

Esta região é de especial interesse para o estudo aqui desenvolvido, uma vez que, além de apresentar grande pressão antrópica devido à localização da capital e a importância socioeconômica não só do município do Rio de Janeiro, como também os municípios vizinhos, devido às escarpas da Serra do Mar e os maciços costeiros, onde estão localizados importantes remanescentes de Mata Atlântica, as elevadas declividades tornam esta região especialmente suscetível aos impactos da consideração do uso da Superfície Modelada para cálculos de área.

O autor destaca que um fato preocupante é relativo ao incremento da população nas encostas dos maciços costeiros, devido à expansão das favelas, resultando em crescente retração das áreas florestais.

Nas porções a Norte e a Leste da baía de Guanabara é possível observar um número significativo de espaços rurais e grandes áreas de fragmentos florestais, especialmente nas encostas da Serra do Mar. O município de Itaboraí também recebeu uma grande obra, não contemplada pelos anos do mapeamento, que foi o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro COMPERJ. Nesta região existe a tendência de concentração de boa parte dos vetores de expansão do tecido urbano do estado do Rio de Janeiro.

### **Região Turística dos Lagos Fluminenses**

Municípios integrantes: Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande, Maricá, São Pedro da Aldeia, Silva Jardim e Saquarema.

Nesta região, merecem destaque as formações de planícies aluviais, com a ocorrência de brejos em muitos trechos, e de planícies costeiras marcadas por cordões arenosos que represaram parte das águas do mar, originando inúmeras lagoas. A presença destas lagoas é responsável pela denominação consolidada de Região dos Lagos, dada aos municípios que as contém.

O município de Silva Jardim, o único a não apresentar nenhuma área banhada pelo mar, foi incluso nesta região devido a sua importância estratégica para os outros municípios da região dos lagos fluminenses. Fazendo parte da bacia do rio São João, e sendo também o local onde foi construída a represa Juturnaíba, as águas desta região são responsáveis por abastecer todos os outros municípios da região, possuindo assim um valor estratégico para economia local.

Possuindo um interior ainda predominantemente rural, as regiões próximas à faixa costeira tem observado elevadas taxas de crescimento demográfico vinculados a atividade turística, e afetando os ecossistemas das restingas.

### **Região Serrana de Economia Diversificada**

Municípios integrantes: Areal, Bom Jardim, Comendador Levy Gasparian, Nova Friburgo, Petrópolis, São José do Vale do Rio Preto, Teresópolis e Três Rios.

Esta região é composta pelas regiões mais acidentadas e de maior altitude da Serra do Mar, com destaque para o trecho que compreende a Serra dos Órgãos. Devido às formas do relevo local, a ocupação do território foi orientada em direção aos vales através da formação de vilas e cidades. A ocupação intensa e a expansão das áreas urbanas vêm causando danos ambientais, e exponencial risco a vida de seus moradores.

Nesta região ainda são encontrados remanescentes da cobertura florestal original da Mata Atlântica, sobretudo nas áreas mais elevadas, como por exemplo, Nova Friburgo. De acordo com Saraça *et al.* (2009), com exceção de Comendador Levy Gasparian, Três Rios e Areal, os demais municípios apresentam uma recomposição significativa da mata (no lugar de antigas lavouras), podendo-se observar expressivas manchas de vegetação secundária em estágio de sucessão avançado (porte arbóreo) e também de inicial a médio.

Possuindo diversas Unidades de Conservação, a economia local é diversificada no âmbito agrícola e possui também uma relativa concentração industrial voltada para o setor têxtil.

### **Região Turística da Costa Verde**

Municípios integrantes: Angra dos Reis, Mangaratiba e Paraty.

Contando com três municípios litorâneos, esta região é a de menor extensão, mas, ao mesmo tempo, possui as maiores continuidades de Mata Atlântica de todo o estado. Devido a suas belezas naturais, nas quais, praias, cachoeiras e ilhas constituem uma paisagem impar, esta região tem se destacado por sua vocação turística.

Sua geomorfologia é caracterizada por um relevo acidentado onde as escarpas da serra da Bocaina alcançam o nível do mar em muitos trechos.

Por estar situada na rota de um dos caminhos para São Paulo, através da rodovia Rio-Santos, e ser um local de grande dinâmica econômica devido às atividades ligadas ao setor naval, turístico e do petróleo, a ocupação da região tem significado um grande vetor de pressão antrópica sobre os remanescentes de mata Atlântica.

### **Região Industrial do Médio Paraíba**

Municípios integrantes: Barra do Piraí, Barra Mansa, Itatiaia, Pinheiral, Piraí, Porto Real, Quatis, Resende, Rio Claro e Volta Redonda.

Grande parte do território desta região é pertencente ao Vale Médio do Paraíba do Sul, uma área deprimida em relação ao relevo vizinho e drenada pela Bacia do Paraíba do Sul. Este vale compreende uma região formada por colinas, que no conjunto formam a paisagem de “mar de morros”. Devido a suas encostas suaves e de baixa declividade, a ocupação urbana e as atividades econômicas são favorecidas, especialmente no município de Porto Real.

Possuindo em seus limites escarpas íngremes da Serra da Mantiqueira, o noroeste da região é formado pelo Planto de Itatiaia, onde a altitude supera os 2.500 metros e encontra-se o ponto mais alto do estado (2.791 metros).

Devido à atividade cafeeira do século XIX, ocorreu uma quase total retirada da cobertura vegetal de Mata Atlântica, até então a paisagem dominante da região. Hoje há um predomínio de pastagens com pequenas manchas de vegetação secundária que refletem o abandono de práticas agrícolas.

Esta região, no aspecto industrial, se destaca pela presença do setor siderúrgico e metalomecânico, assim como, uma crescente indústria automotiva.

### **Região Turístico-Cultural do Médio Paraíba**

Municípios integrantes: Engenheiro Paulo de Frontin, Mendes, Miguel Pereira, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Rio das Flores, Valença e Vassouras.

Juntamente com a região industrial do médio Paraíba, esta região compunha o Vale do Café, local onde estava concentrada a indústria voltada a produção do café no estado durante o século XIX.

Atualmente a região encontra-se voltada para a prática agropecuária, assim como, na crescente atividade do turismo rural e cultural. Oferecendo grandes atrativos ao público devido à presença de antigas fazendas e casarios remanescentes das produções de café, o setor hoteleiro tem sido responsável por boa parte das atividades econômicas da região. Outro grande atrativo turístico da região são as possibilidades de atividade ao ar livre, como por exemplo, voos livres e a prática de motocross.

Em decorrência do ciclo cafeeiro, esta região apresenta grandes percentuais de pastagem e pouquíssimos remanescentes da vegetação local.

### **Região Serrana de Economia Agropecuária**

Municípios integrantes: Cantagalo, Carmo, Cordeiro, Duas Barras, Macuco, Santa Maria Madalena, São Sebastião do Alto, Sapucaia, Sumidouro e Trajano de Moraes.

Região abrangida em sua maior parte pela Serra dos Órgãos, apresenta um relevo extremamente acidentado e com altos índices de declividade.

Em decorrência da presença de um solo esgotado pela atividade cafeeira, na região predominam os campos e pastagens, no entanto, havendo ocorrência significativa de vegetação secundária em vários estágios de recomposição. Alguns remanescentes de Mata Atlântica também podem ser encontrados graças à presença do Parque Estadual do Desengano, área protegida por lei.

### **Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana**

Municípios integrantes: Aperibé, Bom Jesus do Itabapoana, Cambuci, Cardoso Moreira, Italva, Itaocara, Itaperuna, Laje do Muriaé, Miracema, Natividade, Porciúncula, Santo Antônio de Pádua, São Fidélis, São José de Ubá e Varre-Sai.

Apresentando topografia diversificada, nesta região pode ser encontrado o trecho terminal da serra do Mar, assim como, morros e colinas dissecadas. Em grande parte da região as formações estão relacionadas ao Vale do Paraíba do Sul.

Devido às práticas agrícolas iniciadas no século XVIII, tendo sido a base da economia local, ocorreu uma total remoção da Mata Atlântica, que consistia na vegetação dominante à época. Atualmente é possível a localização de pequenas manchas de vegetação secundária decorrentes do declínio da atividade agrícola. Todavia, devido ao clima local, esta região apresenta grande dificuldade para recomposição da cobertura vegetal, diferentemente das regiões pertencentes ao domínio da Serra do Mar. Desta forma, a cobertura predominante é de campos e pastagens.



#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho pode ser dividido em cinco etapas: 1) avaliação altimétrica dos MDE disponíveis gratuitamente para todo território nacional; 2) elaboração de uma rotina para o cálculo de área em Superfície Modelada através do cosseno da declividade utilizando MDE no formato GRID; 3) avaliação das metodologias disponíveis para o cálculo de área em Superfície Modelada; 4) edição dos mapeamentos de cobertura da terra do estado do Rio de Janeiro; 5) análise geocológica da paisagem do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007 utilizando a Superfície Modelada.

Estas etapas podem ser observadas no fluxograma abaixo (Figura 14) e serão detalhadas nos subcapítulos a seguir.

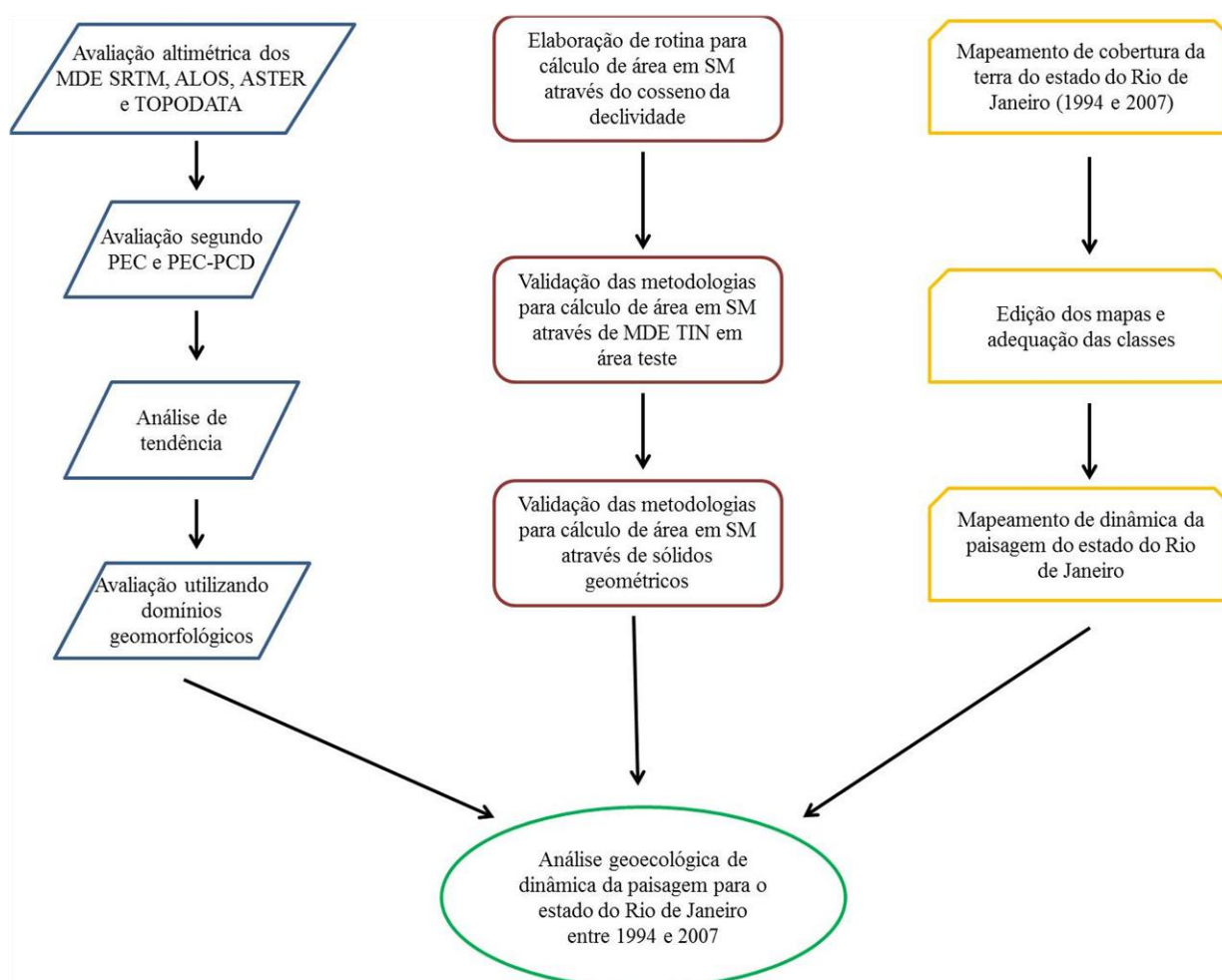


Figura 14 - Fluxograma de elaboração da pesquisa.

## 4.1 Avaliação altimétrica dos MDE

### 4.1.1 Os modelos digitais de elevação

A fim de decidir qual o melhor MDE a ser utilizado no cálculo de área em Superfície Modelada do presente estudo, os principais MDE disponíveis gratuitamente e que possuem cobertura total para o território nacional foram avaliados segundo sua precisão altimétrica no estado do Rio de Janeiro. Os modelos avaliados foram: ASTER GDEM 2, ALOS World 3D, TOPODATA e SRTM. Sendo que cinco versões do modelo SRTM foram testadas, são elas: SRTM V2 (aproximadamente 90 metros de resolução espacial), SRTM V3, SRTM V4, SRTM 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros de resolução espacial), e SRTM Plus (aproximadamente 30 metros de resolução espacial).

A total cobertura do Estado do Rio de Janeiro é composta por 12 cenas nos produtos SRTM, ASTER GDEM 2 e ALOS World 3D, e 9 cenas no produto TOPODATA. Esta quantidade de cenas nos permite realizar uma análise com maior confiabilidade. Isto porque, ao evitar a avaliação em apenas uma cena dos produtos, apesar do aumento do esforço de processamento, a ocorrência de possíveis erros pontuais em determinada da cena é reduzida (Figura 15).

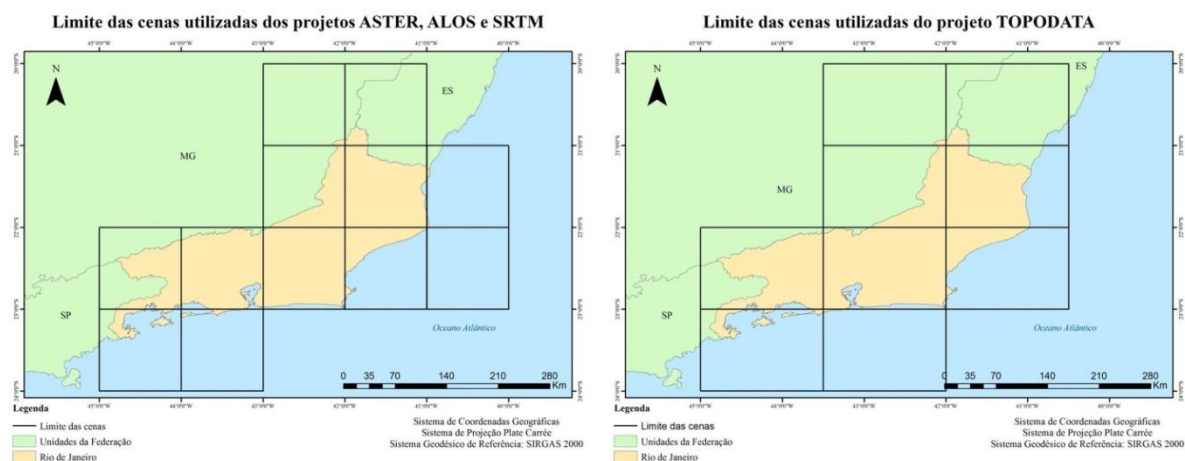


Figura 15 - Limite das cenas utilizadas na avaliação.

Os modelos em questão são produtos de três missões para aquisição de dados terrestres a partir de sensores orbitais, foram elas: a missão ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection*), resultado de uma parceria entre o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dos Estados Unidos; a missão ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*),

comandada pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), que contou com, entre outros sensores, o *Instrument for Stereo Mapping* (PRISM); e a Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial (*Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*), também administrada pela NASA, lançada em fevereiro de 2000, e que continua sendo um dos maiores esforços em termos de levantamento topográfico em escala global até os dias atuais (*Jet Propulsion Laboratory, 2005*).

#### **4.1.1.1 ASTER GDEM 2**

Resultante da missão ASTER, o modelo aqui testado, ASTER GDEM 2, baseia-se em um aprimoramento do primeiro produto disponibilizado pelo ASTER, contando agora com uma resolução espacial de 1 segundo de arco (pixel de aproximadamente 30 metros) e possui uma acurácia média que varia entre 7 e 14 metros, segundo o METI. O modelo digital de elevação é construído a partir da aquisição de dados pelo sensor ASTER a bordo do satélite Terra, lançado em dezembro de 1999 com o objetivo de possuir uma vida útil de 6 anos mas que mantém-se ativo até o presente momento. Seu processamento para elaboração do MDE ASTER GDEM 2 baseia-se no princípio de estereoscopia, utilizando pares de imagens de uma mesma região obtidas em uma única órbita (*along track*) por seu sensor no infravermelho próximo (*JAPAN SPACE SYSTEMS, 2014*).

#### **4.1.1.2 ALOS World 3D**

O satélite ALOS, lançado em janeiro de 2006 e operante até abril de 2011, contava com o instrumento de radiômetro óptico PRISM, capaz de captar imagens triplas simultâneas de uma mesma região (à ré, nadir, e à vante) com resolução espacial de 2,5 metros. Apesar de o satélite ALOS não encontrar-se mais operacional, sua missão deixou um legado de mais de três milhões de cenas que foram utilizadas para gerar o modelo ALOS World 3D a partir de princípios de estereoscopia, resultando em um produto disponibilizado gratuitamente com uma resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) e uma precisão vertical estimada em 5 metros (*TAKAKU et al., 2014*).

Por se tratar de um modelo obtido através de um sensor ótico passivo, o MDE ALOS World 3D possui áreas em que não existem informações de elevação proveniente de regiões que possuíam cobertura de nuvens em todas as cenas adquiridas pelo sensor. Estas regiões aparecem no modelo como ausente de informações, ou *No Data* (Figura 16).

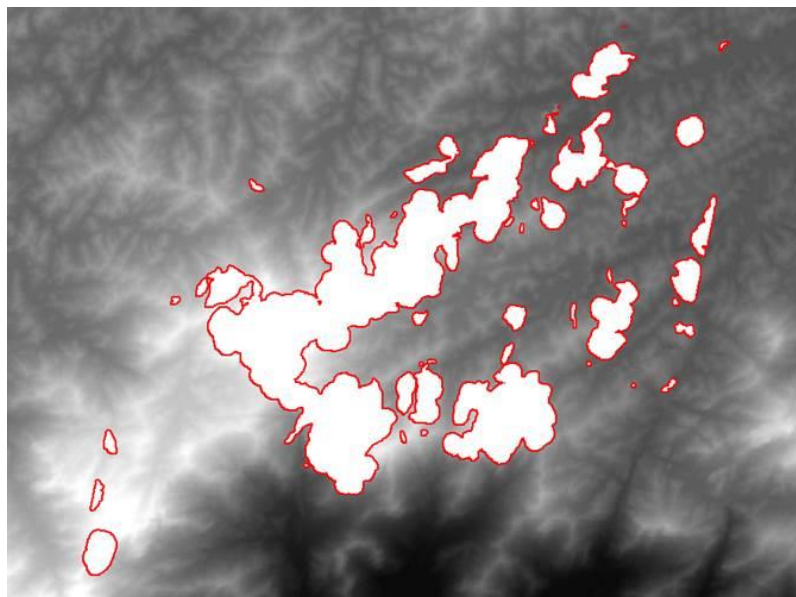


Figura 16 - Exemplo de regiões com ausência de informações (em vermelho) no MDE ALOS World 3D.

#### 4.1.1.3 Produtos SRTM

A missão SRTM utilizou um sistema chamado interferometria de passagem única, que trabalha com dois radares localizados em uma mesma plataforma e separados por alguns metros. Na época de seu lançamento esta missão foi a primeira a trabalhar com este tipo de tecnologia, possuindo a bordo do ônibus espacial *Endeavour* duas antenas. Uma delas localizava-se no compartimento de carga transmitindo e recebendo pulsos na banda C e na banda X, a outra antena estava posicionada ao final de uma haste de 60 metros recebendo pulsos nas bandas C e X (Figura 17). O radar da banda C possui polarizações VV e HH, já o radar da banda X trabalha com polarização VV (JPL, 2005).

Inicialmente seus dados foram disponibilizados com resolução de 1 segundo de arco apenas para os Estados Unidos, sendo o restante da cobertura possuindo uma resolução de 3 segundos de arco.

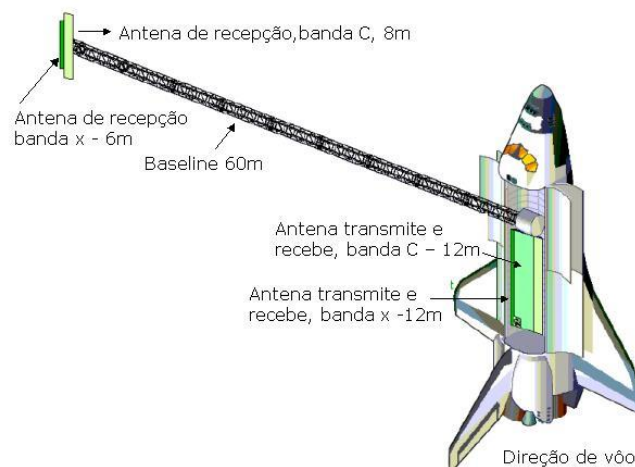


Figura 17 - Sistema de aquisição de dados da missão SRTM. Fonte: RABUS *et al.*, (2002).

Devemos destacar também que as primeiras versões do MDE disponibilizadas pela NASA possuíam áreas com *No Data* correspondentes a regiões de sombreamento do relevo, características de sensores interferométricos e que impossibilitaram a aquisição de dados (Figura 18). Pode-se observar a partir da figura 12 como as regiões de *No Data* tendem a apresentar um padrão que acompanha as linhas de crista do relevo, um padrão diferente pelo apresentado na figura 10 do modelo ALOS World 3d.

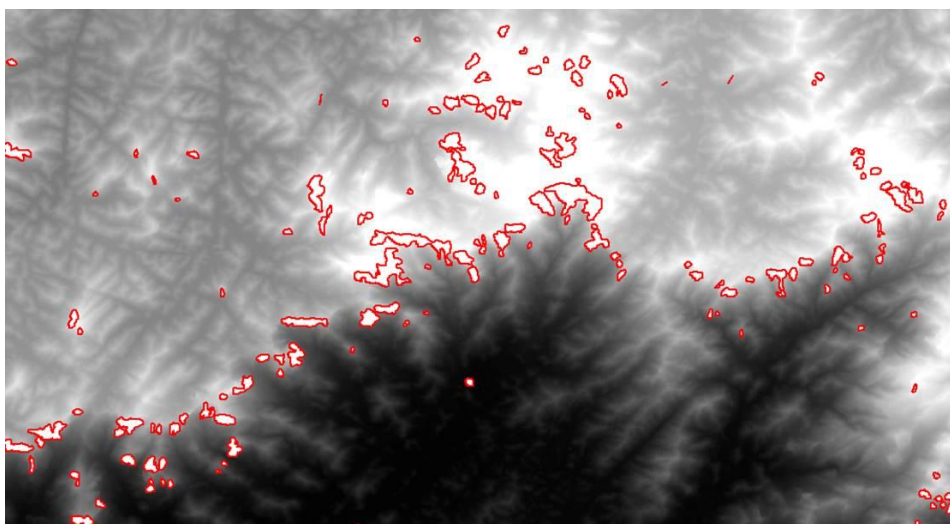


Figura 18 - Exemplos de regiões com ausência de informações (em vermelho) no MDE SRTM.

É importante observar que as regiões de *No Data* nos modelos ALOS e SRTM são provenientes de diferentes problemas para aquisição de dados, sendo uma de origem climática

que envolve a presença de nuvens e outra de origem geométrica (ângulo do sensor em relação ao relevo).

O MDE referente a este conjunto inicial de dados corresponde ao SRTM V2 (3 segundos de arco e aproximadamente 90 metros de pixel). Posteriormente foram disponibilizadas duas novas versões do MDE que contavam com um preenchimento destas áreas de *No Data* através da interpolação de valores de altitude. Estas foram as versões SRTM V3, disponibilizada pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)*, vinculado a NASA; e o SRTM V4 disponibilizado pelo *Consortium for Spatial Information*, uma comunidade global formada com a intenção de garantir o uso sustentável de recursos naturais (CGIAR-CSI). O modelo SRTM V3 utilizou-se dos dados ASTER GDEM para o preenchimento das áreas de *No Data* de forma a criar um MDE que possuísse informações contínuas e baixos níveis de extrapolação.

Em setembro de 2014 os Estados Unidos anunciaram que os dados SRTM com a resolução de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros de pixel) seriam disponibilizados para todo o planeta, sendo que ao final do mesmo ano este MDE já começou a ser disponibilizado para *download* para grande parte da superfície terrestre. O primeiro produto disponibilizado contava ainda com as áreas de *No Data* presentes também na primeira versão de 3 segundos de arco. Posteriormente foi disponibilizado pela NASA uma versão chamada SRTM Plus, que conta com o preenchimento destas áreas de sombra através de interpolação baseada nos melhores produtos de elevação disponíveis até o momento (Figura 19).

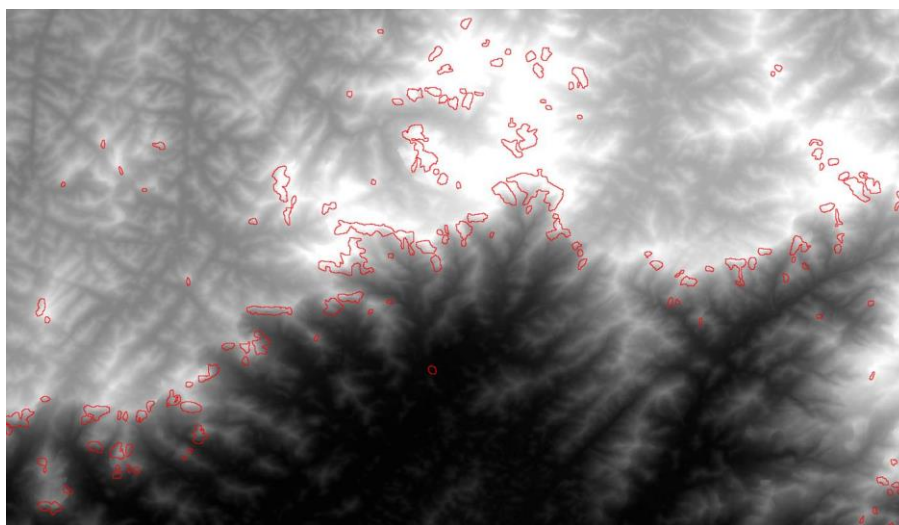


Figura 19 - Regiões interpoladas (em vermelho) no MDE SRTM Plus.

#### **4.1.1.4 TOPODATA**

O modelo TOPODATA é um produto gerado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e baseia-se em um projeto que disponibiliza informações altimétricas para todo território nacional a partir de dados obtidos da primeira versão do MDE SRTM. Este projeto realizou um processamento dos dados originais disponibilizados pela agência americana que possibilitou o preenchimento de falhas e um refinamento dos dados de maneira a disponibilizar dados com maior acurácia para todas as regiões do Brasil. Dentre algumas melhorias podemos destacar o refinamento de sua resolução espacial de 3 segundos de arco (inicialmente disponibilizado pela NASA) para 1 segundo de arco (INPE, 2008).

#### **4.1.2 Pontos de controle e mapeamento geomorfológico**

Como forma de validar a altimetria destes modelos foram utilizados como pontos de controle os pontos cotados provenientes da base cartográfica RJ25 em escala 1:25.000, frutos do mapeamento sistemático do estado do Rio de Janeiro realizado por uma parceria do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com a Secretaria de Estado do Ambiente do Rio de Janeiro (SEA/RJ). Estes pontos foram obtidos a partir de ortofotos, apresentando assim uma confiabilidade considerada satisfatória para a escala de análise deste estudo. No total foram utilizados 217.744 pontos que cobriram integralmente toda a extensão do estado do Rio de Janeiro.

Buscando aprofundar os testes realizados para estes modelos, também foi feita uma avaliação utilizando pontos obtidos por processamento diferencial de receptores GNSS geodésicos em duas campanhas de campo. O primeiro levantamento foi realizado pela equipe do Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto da UFRJ na Rebio do Tinguá, localizada no município de Nova Iguaçu/RJ como parte de um projeto de avaliação de produtos LiDAR, e cedidos para esta pesquisa. O segundo levantamento foi realizado por uma equipe do Laboratório de Cartografia (GEOCART) da UFRJ no município de Petrópolis, região serrana do Rio de Janeiro. Ao todo foram utilizados para esta avaliação 53 pontos, sendo 24 provenientes da Rebio do Tinguá, e 29 do município de Petrópolis.

Outra avaliação realizada buscou investigar o ajustamento dos MDE a diferentes tipos de relevo. Para tal foi utilizado o mapa de domínios geomorfológicos (Figura 20) elaborado para o Zoneamento ecológico-econômico (ZEE) do Rio de Janeiro na escala 1:100.000, que considerou em sua confecção aspectos de elevação, declividade, hidrografia, entre outros (ZEE-RJ, 2009). Este tipo de avaliação dos MDE levando em consideração a geomorfologia



da área de estudo é de extrema importância, uma vez que, as formas de relevo e a declividade são fatores preponderantes nos resultados obtidos pelas observações em Superfície Modelada. Sendo assim, entender como os MDE são afetados pelo relevo pode servir como um indicador de confiabilidade das análises realizadas.

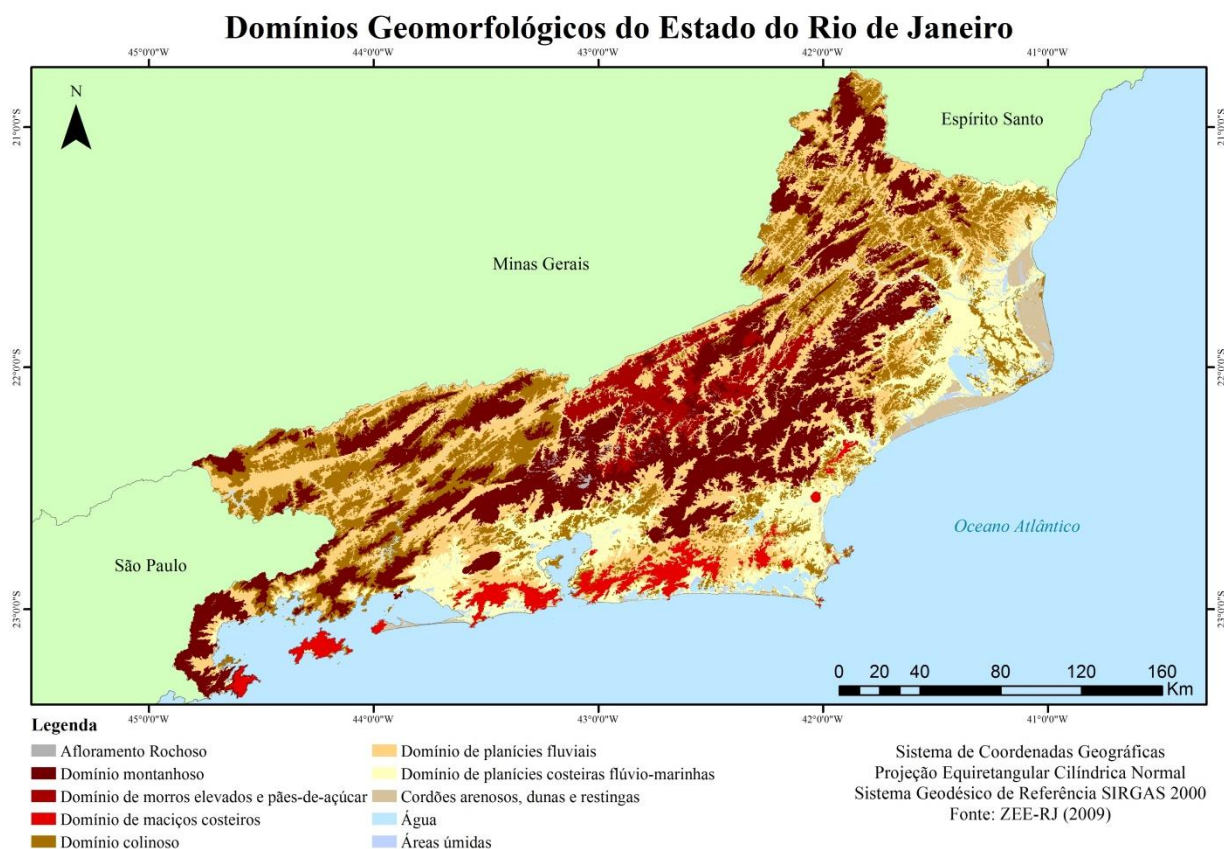


Figura 20 - Estado do Rio de Janeiro e sua formação geomorfológica acidentada.

#### 4.1.3 Métodos de avaliação

O método de avaliação dos MDE foi dividido em três etapas. A primeira constituiu-se na avaliação segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto 89.817 de 20 de Julho de 1984 (BRASIL, 1984), que inclui o cálculo do Erro Médio Quadrático (EMQ) e da tolerância vertical. A segunda avaliação foi realizada a partir de uma metodologia proposta por Vieira & Genro (2013), que se baseia numa série de cálculos estatísticos com a intenção de avaliar com maior rigor que o PEC a acurácia posicional dos insumos e produtos cartográficos. Esta etapa consiste na verificação da existência de uma tendência nos erros apresentados pelo produto, entendida como erro sistemático. Esta segunda avaliação foi realizada apenas para quatro modelos, sendo eles o ASTER GDEM 2, ALOS World 3D,



TOPODATA, e o produto melhor avaliado da missão SRTM. Isto porque, por serem provenientes de uma mesma missão e com esforço contínuo, decidiu-se avaliar a tendência apenas do produto com melhores resultados até o momento.

A última etapa de avaliação destes modelos foi a análise individualizada dos MDE de acordo com os domínios geomorfológicos presentes no estado do Rio de Janeiro. Dentro desta etapa, foram avaliados todos os pontos localizados dentro de determinado domínio geomorfológico, assim como, foi realizada uma avaliação apenas dos pontos que possuíam informação proveniente da aquisição inicial, desconsiderando assim as regiões de *No Data* ou com valores interpolados dos modelos.

#### 4.1.3.1 Avaliação segundo o PEC

O Padrão de Exatidão Cartográfica é responsável por avaliar os produtos cartográficos em sua escala de utilização, dividindo-os em três diferentes classes (A, B e C) para cada uma dessas escalas. Para o enquadramento do produto em uma dessas classes é necessário que o mesmo atenda a dois pré-requisitos com valores estabelecidos por lei: o Erro Médio Quadrático (EMQ) e a tolerância vertical em 90% dos pontos (ou LE90 – *Linear Error 90%*).

O cálculo do Erro Médio Quadrático para cada modelo em relação aos pontos de controle da base cartográfica é obtido pela aplicação da equação 1,

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum(Z_i - Z_t)^2}{N-1}} \quad (1)$$

onde,  $Z_i$  corresponde ao valor altimétrico do MDE,  $Z_t$  é o valor altimétrico do ponto de controle e  $N$  representa o número total de pontos de controle.

A tolerância vertical em 90% dos pontos (LE90) corresponde ao erro máximo encontrado no MDE em 90% dos pontos testados.

Os MDE testados no presente trabalho foram avaliados de acordo com sua adequação para duas escalas, 1:100.000 e 1:50.000. Para que estes modelos fossem enquadrados em uma das classes (A, B e C) para estas escalas eles precisariam atender aos seguintes valores (tabela 2).

Tabela 2 - Tabela de pertencimento as classes para as escalas 1:50.000 e 1:100.000 segundo o PEC.

	<b>Escala</b>			
	<b>1:50.000</b>		<b>1:100.000</b>	
<b>Classe</b>	<b>LE90</b>	<b>EMQ</b>	<b>LE90</b>	<b>EMQ</b>
A	10 m	6,6 m	25 m	16,6 m
B	12 m	8 m	30 m	20 m
C	15 m	10 m	36,6 m	25 m

Nos últimos anos também tem ocorrido um esforço por parte do Exército Brasileiro na criação de um novo sistema de avaliação para os produtos cartográficos que contemple também os produtos digitais devido a sua maior utilização e importância atualmente. Isto porque, as normas estabelecidas pelo PEC definem apenas parâmetros de avaliação para produtos cartográficos analógicos, sendo necessária uma adaptação para sua utilização em produtos cartográficos digitais. Estas novas normas estão dispostas no documento das Normas da Especificação Técnica Para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, de fevereiro de 2015 (ET-ADGV, 2015). Tais normas representam uma atualização das bases estabelecidas pelo PEC, assegurando maior rigor na classificação para os insumos cartográficos de natureza digital devido a sua aplicação como dados de base para mapeamentos a serem realizados. Apesar de ainda não ser regulamentado por lei, acredita-se ser importante a sua utilização para avaliações dos Modelos Digitais de Elevação.

As metodologias para avaliação dos MDE são as mesmas encontradas no PEC, no entanto, o número de classes existentes no Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) passou para quatro (A, B, C e D). Esta mudança aumentou o rigor para que qualquer modelo seja enquadrado em uma classe A de sua escala de avaliação. Na tabela 3 são apresentados os valores necessários para atingir uma classificação nas escalas 1:50.000 e 1:100.000 de acordo com o PEC-PCD.

Tabela 3 - Tabela de pertencimento as classes para as escalas 1:50.000 e 1:100.000 segundo o PEC-PCD.

	Escala			
	1:50.000		1:100.000	
Classe	LE90	EMQ	LE90	EMQ
A	5,5 m	3,3 m	13,7 m	8,3 m
B	10 m	6,6 m	25 m	16,6 m
C	12 m	8 m	30 m	20 m
D	15 m	10 m	37,5 m	25 m

#### 4.1.3.2 Análise de tendência

De acordo com a estatística, ao se realizar a análise de tendência para um determinado número de amostras aleatórias, pretende-se garantir a partir de inferências estatísticas um intervalo de confiança aceitável que garanta a precisão da veracidade dos valores obtidos nos pontos. Sendo assim, a análise de tendência é feita com o intuito de avaliar que a média dos resíduos é estatisticamente igual à zero para 90% dos pontos. Para isso, foi adotada a metodologia proposta por Vieira & Genro (2013) para avaliação dos produtos Cartográficos utilizados pela Petrobrás que se baseou em uma pesquisa bibliográfica na área de forma a fundamentar suas avaliações utilizando inferências estatísticas e que possibilitassem enquadrar os produtos em um padrão pré-estabelecido de acordo com a sua acurácia posicional. Para enquadrar a avaliação no que é estabelecido pela lei brasileira, o padrão utilizado para classificação final do produto é também o PEC. Esta metodologia se divide em três etapas que serão detalhadas a seguir, são elas: estimativa da acurácia posicional, enquadramento da acurácia estimada e verificação de tendência.

A estimativa da acurácia posicional é realizada devido à necessidade de se estabelecer um valor central que melhor representa a acurácia do produto a ser testado e um valor de confiança. Este valor central deve considerar o erro, ou resíduo absoluto, visto que o teste leva em consideração a diferença de pontos conhecidos em terreno em relação ao valor extraído do produto que se propõe o teste. A distribuição do erro foi realizada através da distribuição *t-student* considerando o intervalo de 90% de confiança, intervalo este que é o mesmo estabelecido pelo PEC. A estimativa do erro foi calculada pelo Erro Médio Quadrático (EMQ) (Equação 1). No entanto, além do EMQ, também foi calculado o desvio padrão (Equação 2) devido à necessidade de estabelecer um intervalo de confiança dentro do percentual desejado, onde  $\Delta H$  é o resíduo correspondente e N é o número de amostras.

$$S_{EMQ_{\Delta H}} = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^N (|\Delta X_i - EMQ_{\Delta H}|)]}{N-1}} \quad (2)$$

A próxima etapa nesta metodologia é o enquadramento da acurácia estimada em um valor pré-determinado, que no caso foram utilizadas as diversas classes estabelecidas pelo PEC. Para realizar este enquadramento é necessário fazer uma alteração na distribuição *t-student* para que os valores passem de uma distribuição dupla (bicaudal) para uma distribuição acumulada (unicaudal), que considere apenas o limite superior do intervalo. Este processo pode ser realizado através da função “=INVT( $\alpha$ ; N-1)” do *software MS Excell 2007*.

O último passo dessa metodologia consiste na realização da análise de tendência com o intuito de demonstrar que a média dos resíduos é estatisticamente igual à zero, com 90% de probabilidade de acerto. Inicialmente é calculado o valor *t* amostral através da equação 3 e comparado com o intervalo de aceitação definido pela distribuição.

$$t_{amostral} = \frac{\Delta \bar{X}}{S} \sqrt{N} \quad (3)$$

Onde  $\Delta X$  é a média dos resíduos da amostra, *S* é o desvio-padrão amostral e *N* é o número de amostras. O desvio padrão amostral *S* é então calculado através da equação 4,

$$S_{\Delta \bar{X}} = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2]}{N-1}} \quad (4)$$

onde  $\Delta X$  é o resíduo de uma amostra, considerando valores negativos e positivos.

A ausência de tendência ocorrerá quando a média aritmética dos resíduos for estatisticamente considerada igual à zero.

#### 4.1.3.3 Avaliação segundo os domínios geomorfológicos

Nesta última etapa todos os modelos foram avaliados baseando-se nos domínios geomorfológicos propostos pelo mapeamento do ZEE (ZEE-RJ, 2009) através dos pontos cotados provenientes da base cartográfica RJ25. Inicialmente foram considerados todos os pontos presentes em determinado domínio, sendo incluídos os pontos que não possuíam informações devido à presença de regiões de sombra (*No Data*), assim como as suas respectivas interpolações. Os domínios presentes neste mapeamento e utilizados na avaliação foram: Domínio de planícies costeiras fluvio-marinhas; Domínio montanhoso; Afloramento

Rochoso; Cordões arenosos, dunas e restingas; Domínio colinoso; Domínio de maciços costeiros; Domínio de morros elevados e pães-de-açúcar; e Domínio de planícies fluviais.

Posteriormente foi realizada uma avaliação excluindo as regiões de sombra ou interpoladas de cada um dos modelos com a finalidade de se obter uma observação mais condizente com a realidade sobre a capacidade daquele modelo em fornecer dados de determinada feição geomorfológica. É importante destacar que as regiões e a extensão das áreas de *No Data* são diferentes entre os modelos SRTM e o modelo ALOS World 3D, visto que a ausência de dados em cada um deles possui origens diferenciadas, sendo a sombra em regiões de alta declividade nos produtos SRTM e a cobertura de nuvens constante no modelo ALOS World 3D. A extensão destas áreas com ausência de informação (ou interpoladas, no caso das versões mais recentes do SRTM) para o estado do Rio de Janeiro é de aproximadamente 126 km<sup>2</sup> para os produtos SRTM e de 123 km<sup>2</sup> para o MDE ALOS World 3D. Todos estes testes foram realizados de acordo com a avaliação proposta pelo PEC.

#### **4.2 Cálculos de área em Superfície Modelada**

Com o desenvolvimento tecnológico e a maior difusão dos MDE gratuitos, os softwares de SIG, como por exemplo o pacote *ArcGIS*, vem apresentando uma crescente gama de soluções para lidar com dados tridimensionais, incluindo entre suas funções ferramentas que permitem o cálculo de área em Superfície Modelada. Contudo, tais ferramentas muitas vezes funcionam como em um sistema de caixa preta, onde o usuário não é informado qual a lógica matemática utilizada pelo programa para obter seus resultados. Um exemplo disso é a ferramenta *Add Surface Information*, presente na extensão *3D Analyst*, do pacote *ArcGIS* (ESRI, 2016), onde é possível obter informações de declividade e área em Superfície Modelada para determinada região.

Outras duas metodologias para o cálculo de área em Superfície Modelada vem ganhando notoriedade pela comunidade científica. Uma delas se baseia na utilização de modelos de declividade gerados a partir de um MDE, onde através do cosseno do ângulo de declividade é possível estimar a área em Superfície Modelada (Ying *et al.* 2014). Outra possibilidade consiste na metodologia elaborada por Jenness (2004), onde os pixels presentes em um MDE no formato GRID são subdivididos em oito triângulos, e a partir do cálculo da distância euclidiana para o centro dos pixels vizinhos é possível obter a área em Superfície Modelada.

Estas metodologias, por serem relativamente novas, ainda carecem de maiores testes de validação para verificação de o quão próximo da realidade os valores obtidos por elas estão. Nos subcapítulos a seguir serão detalhadas algumas características das três metodologias apresentadas acima, assim como, a rotina para implementação do cálculo de área em Superfície Modelada através do cosseno da declividade, e uma estratégia para validação destes cálculos.

#### 4.2.1 Cálculo de área através do cosseno da declividade

Quando se trabalha com modelos digitais de elevação no formato GRID é possível realizar o cálculo de área em Superfície Modelada a partir dos valores de altitude presentes no MDE e o tamanho de célula utilizada no mesmo. Este cálculo é realizado a partir de relações trigonométricas simples e que permitem uma grande precisão por não demandar grandes transformações do produto original.

Este cálculo baseia-se na divisão do tamanho de célula do MDE pelo cosseno do ângulo de inclinação do terreno ( $\alpha$ ), obtido através da declividade (Equação 5). Esta relação pode ser melhor compreendida através da figura 21:

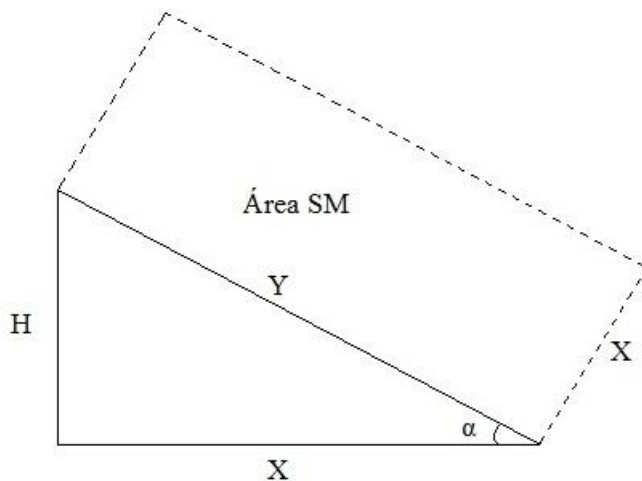


Figura 21 - Relações para cálculo de área em Superfície Modelada (Figura meramente ilustrativa, sem fidelidade proporcional).

Onde  $H$  é o valor de altitude para cada pixel do MDE utilizado para obtenção do ângulo  $\alpha$ ,  $X$  é o tamanho de pixel do MDE, e  $Y$  é a distância entre os lados opostos do pixel em Superfície Modelada obtida através do cosseno de  $\alpha$ . Por isso:

$$\text{Área SM} = \left( \frac{x}{\cos \alpha} \right) \cdot X \quad (5)$$

Valendo-se dessa lógica matemática, foi criada uma rotina no *software ArcGIS 10.3*, utilizando a extensão *ModelBuilder*, para a automatização do processo com a finalidade de realizar todas as etapas para o cálculo de área em Superfície Modelada de forma rápida e eficaz. Esta rotina pode ser observada na figura 22:

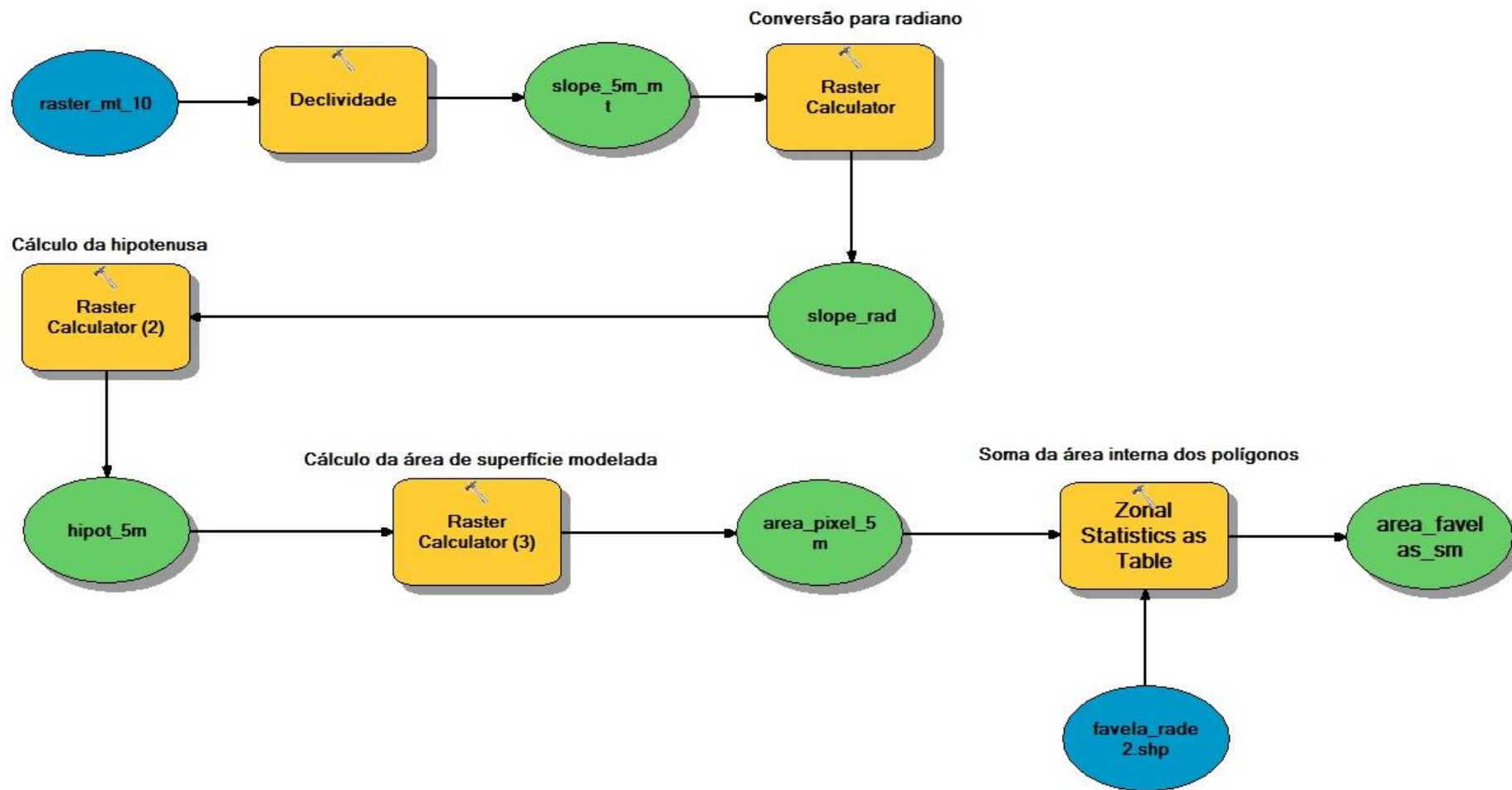


Figura 22 - Rotina criada para o cálculo de área em Superfície Modelada.



Na rotina, inicialmente é calculada a declividade do MDE inserido através da ferramenta *Slope*. Devido à lógica inerente ao *software*, o resultado produzido em graus pela ferramenta *Slope* precisa ser convertido para radianos para que o processamento possa continuar. Posteriormente é calculado o valor da distância entre as laterais do pixel em SM (Y na figura 21) através da divisão do tamanho do pixel pelo Cosseno do ângulo  $\alpha$ . A última etapa do cálculo de área consiste na criação de um novo MDE no formato GRID, no entanto, onde cada uma das células possui não mais um valor de altitude, mas um valor de área em SM. Para isso é multiplicado o valor de Y pelo tamanho do pixel do MDE de entrada. Com este novo MDE possuindo os valores de SM para cada pixel, é realizado então a soma de todos os valores de pixel dentro de uma área de análise específica delimitada por um arquivo *shapefile*. O resultado final é uma tabela com a área em Superfície Modelada para cada um dos polígonos de interesse.

### **Construção dos modelos de declividade**

O uso de modelos digitais de elevação no formato GRID para construção de modelos de declividade do terreno é uma das funções mais consagradas dos Sistemas de Informação Geográfica, contribuindo para uma grande diversidade de análises. Entretanto, a construção destes modelos de declividade pode ser realizada utilizando uma série de algoritmos, cada um com suas especificidades matemáticas.

Para a construção dos modelos de declividade, uma janela de 3x3 pixels é considerada, onde, para o cálculo da declividade do pixel central é considerado o desnível altimétrico deste pixel para os pixels vizinhos. A diferença mais básica entre os algoritmos existentes é a quantidade de pixels vizinhos considerados para o cálculo da declividade, variando geralmente na utilização entre 4 ou 8 pixels.

Visando estabelecer uma comparação da qualidade dos modelos de declividade gerados por diferentes algoritmos, Jones (1998) realizou uma série de testes em uma superfície trigonometricamente definida e em uma área teste de forma a avaliar os algoritmos disponíveis mais utilizados. Seus resultados apontaram a metodologia proposta por Fleming & Hoffer (1979), utilizando apenas 4 dos pixels vizinhos para o cálculo da declividade, como o melhor algoritmo para o cálculo da declividade. O segundo melhor resultado foi apresentado pela metodologia de Horn (1981), utilizando todos os 8 pixels vizinhos ao pixel central para o cálculo da declividade. A metodologia proposta por Horn (1981) é também o

método utilizado pelo pacote *ArcGIS* para a construção de modelos de declividade e implementada na ferramenta *Slope*.

Uma vez que o cálculo de área através do cosseno da declividade é dependente não só da qualidade do MDE utilizado, mas também do modelo de declividade gerado a partir dele, será testado no presente trabalho a realização do cálculo de área em Superfície Modelada pelo cosseno da declividade utilizando os modelos de declividade gerados a partir da metodologia proposta por Fleming & Hoffer (1979), referenciada daqui pra frente como cálculo de área pelo cosseno da declividade com 4 pixels; e a metodologia de construção do modelo de declividade proposta por Horn (1981), chamada aqui de cálculo de área pelo cosseno da declividade com 8 pixels.

Para utilização do modelo de declividade gerado pelo método de Horn (1981), o processamento do MDE será realizado na ferramenta *Slope*, pertencente ao pacote ArcGIS 10. Já para criação do modelo de declividade utilizando a metodologia proposta por Fleming & Hoffer (1979) será utilizado o pacote de ferramentas *DEM Surface Tools*, desenvolvido por Jenness (2004), onde uma das funções presentes é a construção de modelos de declividade com a disponibilidade de diferentes metodologias.

#### **4.2.2 *DEM Surface Tools***

A metodologia para o cálculo de área em Superfície Modelada desenvolvida por Jenness (2004), e implementada no pacote de ferramenta *DEM Surface Tools*, baseia-se na quebra de cada pixel presente no MDE de formato GRID em oito triângulos distintos de forma a proporcionar um maior ajuste ao relevo modelado. Isto é feito utilizando uma janela de 3x3 onde o centro do pixel é ligado ao centro dos oito pixels vizinhos de forma a permitir o cálculo da distância euclidiana entre o pixel central da janela e cada um de seus oito pares. A área de cada um dos triângulos formados pela ligação do pixel central com cada um dos oito pixels vizinhos representa a área em um plano tridimensional uma vez que é construída levando em conta os valores de altimetria presentes no MDE, e representando assim a Superfície Modelada. A última etapa desta metodologia consiste na redução total da área calculada da janela 3x3 para a área do pixel central, e posteriormente, a soma da área de cada um dos oito triângulos.

É importante observar que esta triangulação realizada pela ferramenta é meramente matemática, não necessitando nenhum tipo de transformação do MDE do formato GRID para TIN. O esquema desta metodologia pode ser observado na figura 23.

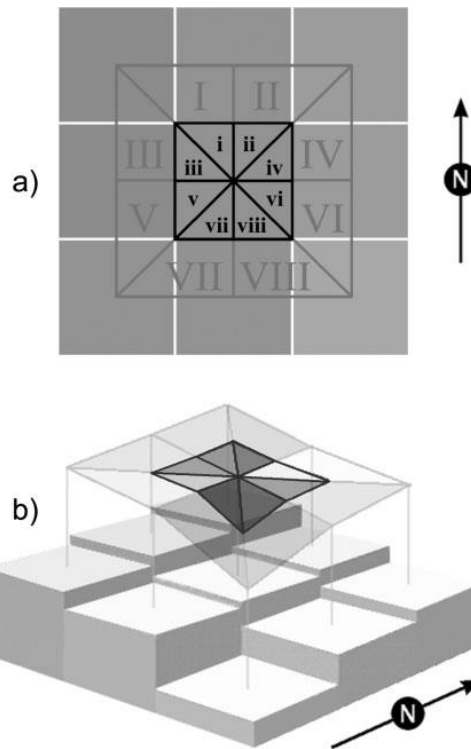


Figura 23 - Metodologia para o cálculo de área em Superfície Modelada proposta por Jenness (2004).

#### 4.2.3 Add Surface Information

A ferramenta *Add Surface Information* faz parte do pacote de extensões *3D Analyst* do software *ArcGIS* e possui como objetivo a inserção de informações extraídas de um Modelo Digital de Elevação para uma determinada área delimitada por um arquivo de polígonos. Dentre as informações que podem ser obtidas por esta ferramenta temos a média e os valores máximos e mínimos de altitude e declividade, assim como, a área total em Superfície Modelada (chamada na ferramenta de *Surface Area*). Esta ferramenta possibilita trabalhar com MDE em formatos do tipo GRID ou TIN.

Deve-se destacar que esta ferramenta esteve presente em diversas versões do software *ArcGIS*, ainda assim, sempre apresentando algumas limitações em seu processamento como pode ser observado nos fóruns de discussão do fabricante. Estas limitações geralmente aparecem quando trabalhamos com MDE no formato GRID, sendo ainda necessário realizar o cálculo de área em regiões muito extensas ou em que o número de polígonos para realizar tal cálculo seja muito elevado. Outra questão importante é a falta de documentação por parte do fabricante relatando o método utilizado por esta ferramenta para realizar os cálculos de área em Superfície Modelada. Estes dois pontos abordados acima serviram como mais uma motivação para realizar testes que avaliem a precisão desta ferramenta.

#### **4.2.4 Validação das metodologias para cálculo de área em Superfície Modelada**

Como forma de validar as metodologias acima apresentadas foram realizados dois testes distintos. Um deles consistiu na comparação do valor de área em Superfície Modelada obtido a partir dos MDE no formato GRID pelas ferramentas supracitadas com os valores obtidos por um MDE no formato TIN em uma área teste.

A escolha do TIN como valor de referência para comparação foi definida devido à estrutura deste modelo, baseando-se em vetores tridimensionais, o que facilita seu ajuste a área de interesse, tal como, os cálculos matemáticos necessários para sua quantificação. Este melhor ajuste se torna possível quando em sua construção é utilizado um conjunto de amostras de boa qualidade, sem que haja a ocorrência de subamostragem ou superamostragem, e a região modelada possua um relevo irregular, tornando os triângulos pertencentes a esta grade mais ajustados ao terreno que a estrutura regular retangular do GRID.

Todavia, por melhor que seja o processo de modelagem realizado, a comparação com outro MDE ainda deixa algumas lacunas devido ao fato de que todo modelo se caracteriza por um determinado nível de simplificação da realidade. Buscando superar esta barreira, as ferramentas também foram validadas através da metodologia proposta por Fernandes (2004), que utiliza formas geométricas (cone e semiesfera) com valores de área conhecidos matematicamente para avaliação dos cálculos de área em Superfície Modelada. As metodologias utilizadas para validação e área de estudo escolhida serão detalhadas nas seções a seguir.

##### **4.2.4.1. Validação a partir do TIN**

Para validar as ferramentas comparando os valores de área em Superfície Modelada com os valores obtidos em um MDE no formato TIN foi necessário à escolha de uma área teste. A área escolhida constitui-se no conjunto de morros do Pão de Açúcar e da Urca, no município do Rio de Janeiro. Esta escolha se deu primeiramente pela disponibilidade de uma base cartográfica na escala 1:10.000 do Instituto Pereira Passos (IPP, 2016), o que possibilitou a geração de MDE em grande e média escala de maneira a atender as necessidades da avaliação. O segundo motivo para escolha desta área foi a sua semelhança com os sólidos geométricos do cone e da semiesfera utilizados na segunda parte desta avaliação.

Como dados de entrada para geração dos MDE no formato TIN e GRID foram utilizados os arquivos de curvas de nível e pontos cotados presentes na base. Por se tratar de

um relevo escarpado e com grandes paredões rochosos, a presença de drenagens na área pode ser desprezada sem danos ao modelo final. Com a intenção de gerar MDE no formato GRID em diversos níveis de generalização cartográfica, os modelos foram criados atendendo as escalas 1:10.000 (resolução espacial de 2 metros), 1:25.000 (resolução espacial de 5 metros) e 1:50.000 (resolução espacial de 10 metros). Estes valores foram estabelecidos utilizando a máxima precisão gráfica percebida pelos usuários, de 2 mm, e vinculado para cada escala cartográfica conforme regulamentado pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (1984).

É importante destacar que todos os modelos gerados para esta validação foram criados utilizando a Projeção Equivalente de Albers visando manter os valores de área o mais próximo possível da realidade. Os MDE no formato TIN e GRID gerados podem ser observados na figura 24.

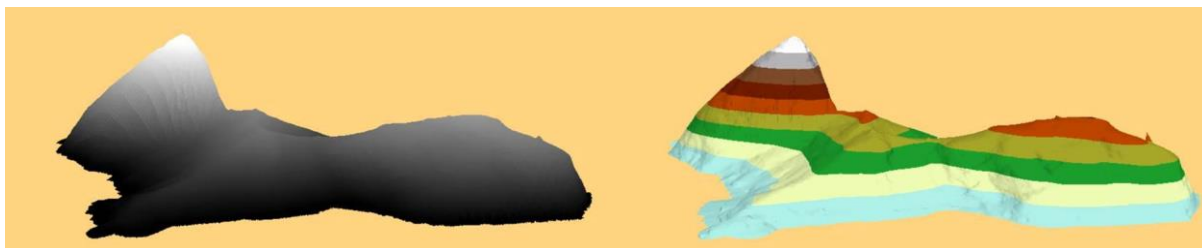


Figura 24 - Modelo Digital de Elevação do Pão de Açúcar e Morro da Urca no formato GRID (à esquerda) e TIN (à direita).

#### 4.2.4.2 Validação a partir dos sólidos geométricos

Como forma de validar os resultados obtidos pelas três metodologias avaliadas e descobrir a pertinência dos cálculos por elas realizados, optou-se por adotar uma série de testes implementados por Fernandes (2004) que consiste no cálculo de área em Superfície Modelada de sólidos geométricos construídos para simular um MDE. Isto porque, tais sólidos geométricos são formas conhecidas, podendo então ter suas áreas calculadas matematicamente. No presente trabalho optou-se por trabalhar com duas formas geométricas, a semiesfera e cone, uma vez que estas figuras possuem maior semelhança com feições geomorfológicas encontradas na realidade. Como, por exemplo, a forma geométrica da semiesfera em associação com a colina abobadada, representando a forma de relevo de domínio de 'mares de morros' e do cone em associação com a colina cônica, representando as colinas, serras, montanhas e cones vulcânicos. As vistas de topo e ortogonal destes modelos podem ser observadas na figura 25.

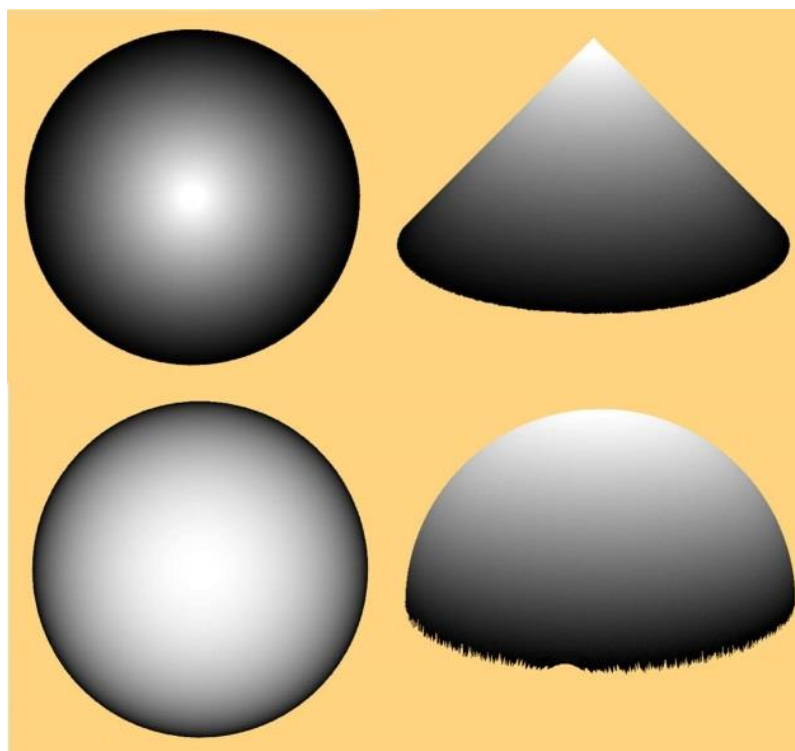


Figura 25 - Visadas de topo e ortogonal dos MDE do cone e semiesfera no formato GRID.

Para a construção destas figuras foram necessários três arquivos de entrada básicos: ponto cotado, curvas de nível e limite do modelo. Com a intenção de testar o impacto de diferentes escalas sobre o cálculo de área, estes modelos foram construídos simulando duas escalas geográficas distintas. No primeiro grupo de teste, elaborado para pequenas escalas geográficas, o ponto cotado possuiu um valor estabelecido de 50 metros de altitude; já as curvas de nível foram criadas simulando as escalas cartográficas 1:2.000, 1:10.000 e 1:25.000, variando assim seu espaçamento entre curvas em 1 metro, 5 metros e 10 metros, e possuindo a curva mínima com 0 metro de elevação e a máxima com 49, 45 e 40 metros. Já no segundo grupo de teste, elaborado para grandes escalas geográficas, o ponto cotado possuiu um valor estabelecido de 3000 metros de altitude; e as curvas de nível foram criadas simulando as escalas cartográficas 1:25.000, 1:50.000 e 1:100.000, variando o espaçamento entre curvas em 10 metros, 20 metros e 50 metros, e possuindo a curva mínima com 0 metro de elevação e a máxima com 2990, 2980 e 2950 metros.

A resolução espacial adotada para os modelos seguiu o mesmo padrão adotado na validação a partir de um MDE no formato TIN, utilizando então, a precisão gráfica de 2 mm associada a cada uma das escalas para definição do tamanho de pixel. Sendo assim, a resolução espacial foi definida como: 0,4 metros na escala 1:2.000; 2 metros na escala 1:10.000; 5 metros na escala 1:25.000; 10 metros na escala 1:50.000; e 20 metros na escala

1:100.000. Os MDE das duas formas geométricas no formato GRID foram gerados utilizando a ferramenta *Topo to Raster* do software *ArcGIS 10.3*, e assim como na validação realizada na área dos morros da Urca e do Pão de Açúcar, todos os MDE gerados utilizam a Projeção Equivalente de Albers para obtenção dos melhores valores possíveis de área.

### **4.3. Mapeamentos de Cobertura da Terra**

Os mapeamentos de cobertura da terra para o Estado do Rio de Janeiro compreendem os anos de 1994 e 2007, sendo o mapeamento de 2007 elaborado pelo Laboratório Espaço de Sensoriamento e Estudos Ambientais (UFRJ), como subsídio para o Zoneamento Ecológico Econômico do estado, realizado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro em contrato com a Secretaria Estadual do Ambiente-RJ; e o mapeamento de 1994 foi elaborado por Abreu (2010). Tais mapeamentos foram realizados a partir de imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5. Das sete bandas espectrais que compõe o sensor TM, foram utilizadas as bandas do Azul, Verde, Vermelho, Infravermelho próximo, Infravermelho médio (SWIR-1) e Infravermelho médio-distante (SWIR-2), todas possuindo 30 metros de resolução espacial.

Ao todo, cada mapeamento utilizou-se de um total de sete cenas do sensor Landsat 5 TM de forma a cobrir integralmente a área de estudo. As cenas foram adquiridas com as datas mais próximas possíveis, sendo todas elas durante o período seco do ano (Abreu, 2010). Foram necessárias duas etapas de pré-processamento das imagens, sendo elas a correção geométrica e a mosaicagem. Estas etapas foram realizadas atentando para os parâmetros estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para a escala 1:100.000.

A legenda do mapeamento foi estabelecida seguindo a proposta do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE, dando prioridade às classes de cobertura da terra, uma vez que a escala adotada abrange características regionais, e o mapeamento de características de uso representaria um esforço significativamente maior. Ao todo foram estabelecidas dezoito classes, são elas: Afloramento rochoso, Agricultura, Água, Brejo, Campo de altitude, Cordões arenosos, Floresta, Mangue, Ocupação urbana (divida em baixa, média e alta densidade), Pastagem, Reflorestamento, Restinga, Salinas, Solo Exposto, Várzea, Vegetação em estágio inicial. A classificação das imagens foi realizada utilizando a técnica de Classificação Orientada a Objeto, através do *software eCognition 5*.

É importante destacar que o mapeamento de cobertura da terra de 2007, produzido para o Zoneamento Ecológico e Econômico do estado, é o mapa oficial e mais atual do Rio de

Janeiro. Sua elaboração contou com critérios mais rígidos e uma maior equipe para garantir a qualidade necessária em sua confecção. Pelos motivos acima citados, este mapeamento será adotado na presente pesquisa como de maior confiabilidade e será a base para as edições necessárias. Isto porque, como é destacado por Abreu (2010), o cruzamento entre os dois mapas realça algumas diferenças que podem ser caracterizadas como inconsistências entre os mapeamentos e que necessitaram ser corrigidas para o andamento da análise aqui proposta. Entre essas inconsistências podemos destacar a diferença no traçado dos limites do estado e mudanças espúrias, como por exemplo, regiões classificadas como área urbana em 1994 e pastagem em 2007.

Traçando este quadro, e a inviabilidade da edição manual de todas as inconsistências do mapeamento de maneira individualizada, algumas decisões foram tomadas de maneira a realizar as correções necessárias de maneira semi-automatizada e consistente em todo o processo. Inicialmente os dois mapeamentos, que se encontram no formato vetorial, foram unidos em um único arquivo através da ferramenta *Union*, do *software ArcGIS*, para facilitar a detecção de inconsistências. Os erros encontrados e as regras estabelecidas para edição do mapeamento serão descritas abaixo:

### **Regras de edição**

- 1) O mapeamento de 2007 apresenta maior grau de confiabilidade, por isso, em casos de inconsistências, a classe designada em 2007 será preponderante e herdada para o mapeamento de 1994;
- 2) O mapa de 1994 possuía limites “mais extensos” que o mapa de 2007, causando assim áreas que não poderiam ser comparadas nos dois anos. Por isso, toda área que possuísse informação em 1994, mas não possuísse em 2007 foi eliminada;
- 3) Algumas áreas no mapa de 1994 não possuíam uma classificação. Por isso, áreas não classificadas em 1994 receberam a mesma classificação do mapa de 2007. Tal decisão foi tomada devido a maior confiabilidade do mapa de 2007;
- 4) Como este arquivo de edição é proveniente da ferramenta *Union*, a formação de diversos pequenos polígonos ocorreu durante o processo. A solução para tal problema foi ordenar os polígonos por tamanho de área e todos que possuíssem uma área inferior a área mínima de mapeamento (5 hectares) receberam a classificação do mapa de 2007;
- 5) A quinta regra de decisão foi transformar tudo que era classificado como Afloramento Rochoso em 2007 como afloramento rochoso também em 1994. Isto porque, na escala que o



mapeamento foi realizado, o simples desmatamento não seria capaz de revelar afloramentos rochosos, apenas grandes áreas foram mapeadas;

6) Todas as áreas de Ocupação Urbana de Alta Densidade no mapa de 1994 foram reclassificadas para classificação do mapa de 2007. Isto porque, uma área não poderia sofrer com a involução urbana (o que era ocupação urbana de alta densidade em 1994 continuou como ocupação urbana de alta densidade em 2007); e nos casos em que não houvesse nenhum tipo de área urbana no mapeamento de 2007, o mapeamento de 1994 é considerado como errôneo e deve-se adotar o mapeamento de 2007;

7) Todas as área de Ocupação Urbana de Média Densidade no mapa de 1994 e que tornaram-se Ocupação Urbana de Alta Densidade ou que mantiveram-se como Média Densidade herdaram as mesmas classificações de seus respectivos anos;

8) Todas as áreas de Ocupação Urbana de Baixa Densidade no mapa de 1994 e que mantiveram-se como Ocupação Urbana de Baixa Densidade ou tornaram-se de Média ou Alta Densidade herdaram as mesmas classificações de seus respectivos anos;

9) Toda área urbana de alta ou média densidade em 2007 e outra classe que não urbano em 1994 herdou a mesma classificação de 2007. Isto porque áreas urbanas com tamanha densidade não poderiam ter surgido em tão pouco tempo;

10) Toda área urbana de baixa densidade em 2007 e outra classe em 1994 teve sua classe mantida devido a possibilidade do surgimento de um centro urbano rarefeito;

11) Regiões classificadas como Água em 2007 e que possuíam classificação diferente em 1994 foram reclassificadas para Água. Isto porque, apesar de ser possível ocorrer uma dinâmica local que ocasione o alagamento de regiões anteriormente ocupadas, tal evento além de ser localizado, necessitaria um tipo de análise mais aprofundada e que não seria capaz de ser contemplada na presente pesquisa;

O estabelecimento destas regras possibilitou a resolução de parte considerável das inconsistências nos mapeamentos, no entanto, algumas mudanças incoerentes ainda existiam e necessitavam de correção, como por exemplo, áreas de agricultura em 1994 e que se tornaram floresta em 2007. Por serem inconsistências pontuais e em número reduzido, estes erros foram corrigidos individualmente de maneira a dar maior atenção ao processo de edição final do mapa.

Após realizadas todas as edições necessárias acima descritas, os mapeamentos foram novamente separados em arquivos vetoriais individualizados através da ferramenta *Dissolve*, do *software ArcGIS*.

Devido ao elevado número de classes utilizado no mapeamento original e a necessidade de criar um novo mapeamento de dinâmica de cobertura da terra para o estado entre os anos de 1994 e 2007, foi tomada a decisão de realizar uma generalização semântica de aspecto qualitativo, onde, segundo Menezes e Fernandes (2013), procura-se estabelecer dentro da estruturação hierárquica da informação o que deverá ser representado. A generalização das classes pode ser observada na figura 26.

Das dezoito classes iniciais presentes nos mapeamentos de 1994 e 2007, após a generalização, os mapeamentos passaram a ter dez classes. São elas: Afloramento rochoso, Agricultura, Água, Área Natural Não Florestada, Ocupação Urbana de Média ou Alta Densidade, Ocupação Urbana de Baixa Densidade, Floresta, Reflorestamento ou Vegetação Inicial, Solo Exposto ou Salinas, e Pastagem.

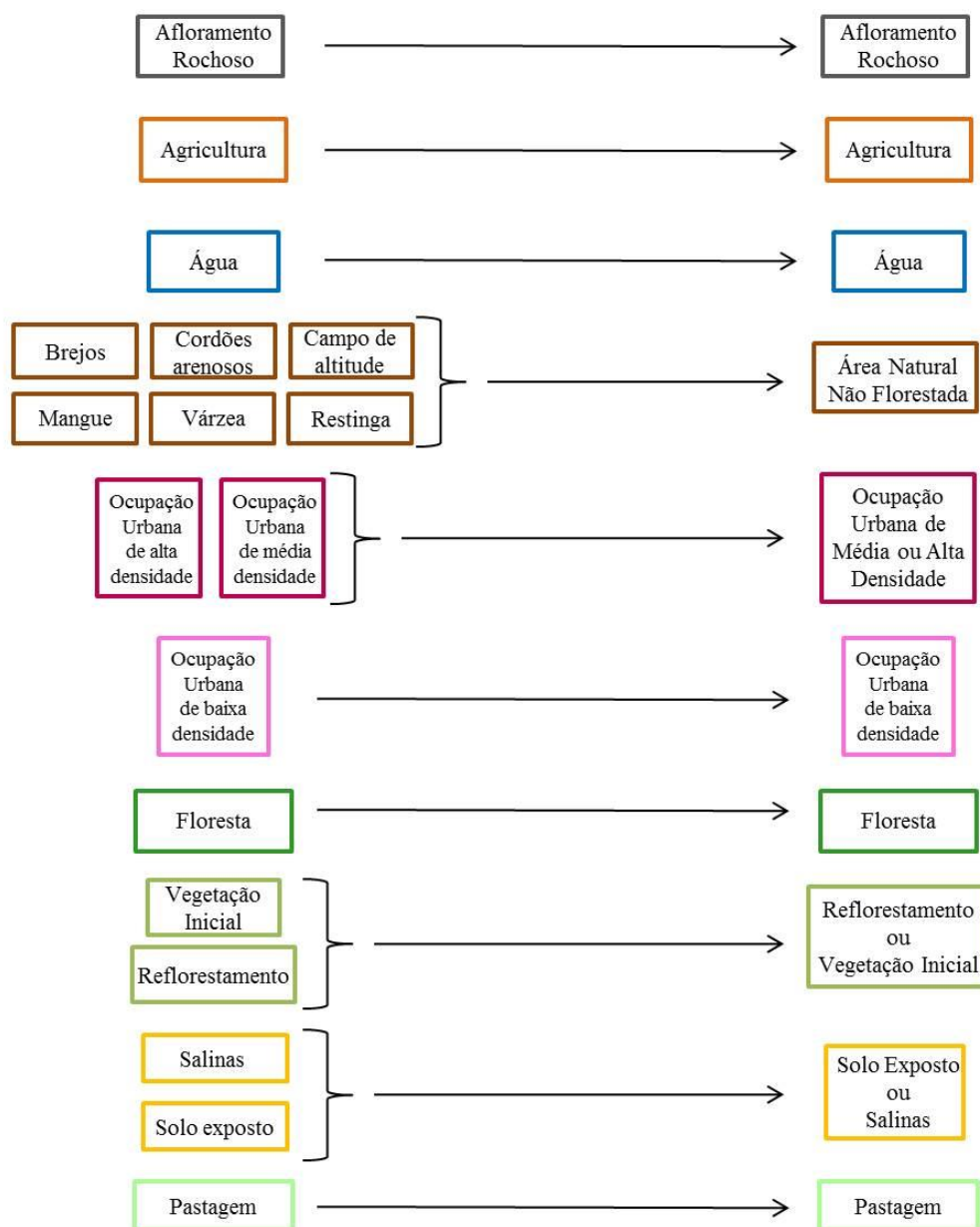


Figura 26 - Chave de classificação para os mapeamentos de cobertura da terra de 1994 e 2007.

#### 4.4. Mapeamento de Dinâmica da Paisagem

O mapeamento de dinâmica da paisagem, uma das principais ferramentas de análise em pesquisas geológicas, consiste na elaboração de mapas que contemplem as mudanças estruturais ocorridas na paisagem de determinada área durante um intervalo de tempo definido. Este tipo de mapeamento é responsável por fornecer importantes indicadores do estágio de conservação ou pressões antrópicas sobre determinado ambiente, assim como, auxiliar na tomada de decisões para manutenção da integridade ambiental.

Para realização do mapa de dinâmica da paisagem do estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007, os mapeamentos provenientes das edições foram unificados em um

arquivo único através da ferramenta *Union*, do *software ArcGIS*. Foram então definidas seis classes para o mapeamento da dinâmica, foram elas: Adensamento Urbano, Conservação Florestal, Desmatamento, Área Não Florestada, Reflorestamento, e Urbanização.

A classe de adensamento urbano é proveniente de áreas que possuíam a classificação de Ocupação Urbana de Baixa Densidade em 1994 e se tornaram áreas de Ocupação Urbana de Média ou Alta Densidade em 2007. A classe Urbanização, por outro lado, surge em áreas que possuíam qualquer classificação não-urbana em 1994 e que tornaram-se áreas de Ocupação Urbana de Baixa Densidade em 2007.

A classe de Conservação Florestal foi atribuída às regiões classificadas como Floresta nos dois anos de mapeamento. Já a classe de Reflorestamento consiste em áreas classificadas como Reflorestamento ou Vegetação Inicial em 1994 e mapeadas posteriormente como Floresta em 2007.

A classe desmatamento consiste em áreas mapeadas como Floresta em 1994 e mapeadas posteriormente como qualquer outra classe em 2007. A mudança de classe de Floresta em 1994 para Ocupação Urbana de Baixa Densidade em 2007 foi incluída na classe de dinâmica de Desmatamento, e não Urbanização, uma vez que este tipo de mudança possui maiores implicações para planejamentos vinculados à conservação de áreas florestais.

Todas as outras possíveis mudanças observadas foram incluídas na classe de Áreas Não Florestadas.

É importante destacar que nos mapeamentos de cobertura da terra de 1994 e 2007 não existe uma classe individualizada para as áreas de silvicultura no estado. A inexistência de tal classe pode implicar em áreas de cultivo de eucalipto sendo mapeadas como floresta, ou até mesmo, reflorestamento e vegetação em estágio inicial se as imagens utilizadas refletirem momentos após o corte destes eucaliptos. No entanto, como tais áreas não foram mapeadas nos insumos cartográficos aqui utilizados, a resolução de tal problema se torna inexecutável.

## 5 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Nos subcapítulos a seguir serão apresentados os resultados para todas as etapas realizadas no presente trabalho para avaliar os Modelos Digitais de Elevação para o estado do Rio de Janeiro.

### 5.1 Avaliação dos Modelos Digitais de Elevação segundo a base RJ25

Os resultados obtidos a partir da avaliação dos MDE segundo o PEC e utilizando a base RJ25 como valor de referência para altimetria demonstraram uma superioridade do SRTM Plus em relação aos outros modelos tanto em sua tolerância vertical em 90% dos pontos, quanto no Erro Médio Quadrático. Estes resultados podem ser observados nas figuras 27 e 28.

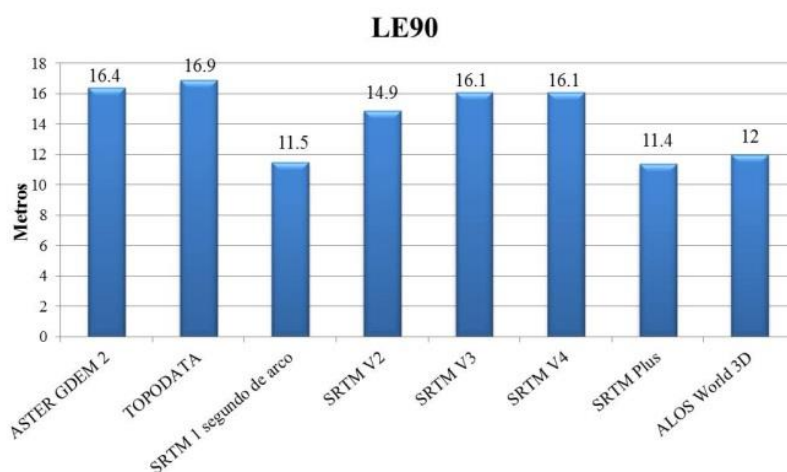


Figura 27 - Resultados da tolerância vertical em 90% dos pontos avaliados (LE90).

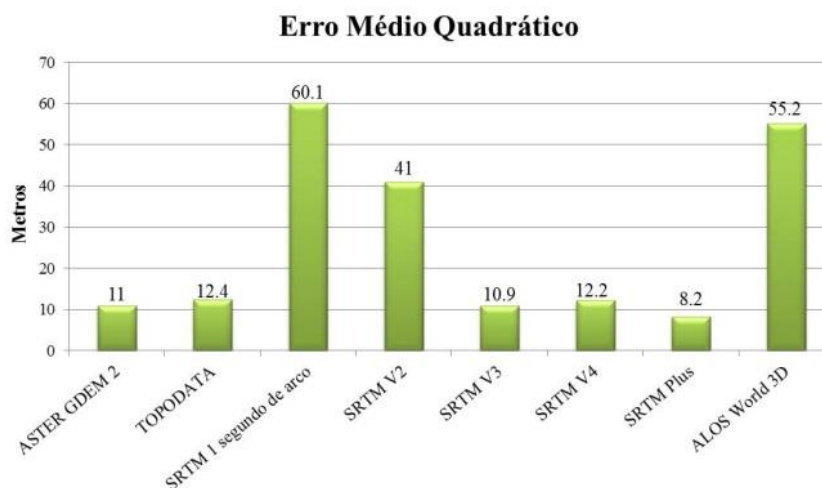


Figura 28 - Resultados do Erro Médio Quadrático para os modelos avaliados.

A avaliação utilizando os critérios do PEC demonstrou que apenas o MDE SRTM Plus estaria apto a ser utilizado na escala 1:50.000 podendo ser enquadrado na classe C. No entanto, com exceção dos MDE SRTM 1 segundo de arco, SRTM V2 e ALOS World 3D, todos os outros modelos se mostraram aptos a serem utilizados na escala 1:100.000, sendo enquadrados como classe A. O desempenho inferior apresentado pelos três modelos (SRTM 1 segundo de arco, SRTM V2, e ALOS World 3D) se deve ao fato destes modelos contarem com regiões que não possuem informações altimétricas (*No Data*), fazendo com que seus resultados piores significativamente.

A interpolação das áreas de sombra nos modelos SRTM V3, SRTM V4 e SRTM Plus permite que seus resultados melhorem expressivamente, a ponto de a última versão liberada ao público, SRTM Plus, com resolução espacial de aproximadamente 30 metros, consiga ser enquadrada na Classe C ao trabalharmos na escala 1:50.000.

O modelo ALOS World 3D ainda não conta com um produto que possua suas regiões de *No Data*, que apresentavam coberturas de nuvem durante a aquisição das cenas, interpoladas. Para que fosse possível ter uma real noção da precisão deste MDE foi realizada uma análise excluindo os pontos que estivessem localizados em regiões com ausência de dados. Esta análise resultou em um enquadramento do MDE ALOS World 3D na escala 1:50.000 classe B, apresentando uma tolerância vertical de 11,9 metros e o Erro Médio Quadrático de 7,7 metros.

O enquadramento de todos os modelos nas classes estabelecidas pelo PEC nas escalas 1:50.000 e 1:100.000 pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4 – Enquadramento dos modelos avaliados nas classes estabelecidas pelo PEC.

MDE	Escala	
	1:50.000	1:100.000
ASTER GDEM 2	-	Classe A
TOPODATA	-	Classe A
SRTM 1 segundo de arco	-	-
SRTM V2	-	-
SRTM V3	-	Classe A
SRTM V4	-	Classe A
SRTM Plus	Classe C	Classe A
ALOS World 3D	-	-

Na tabela 5 podem ser observados os enquadramentos dos MDE nas classes estabelecidas para os produtos cartográficos digitais (PEC-PCD).

Tabela 5 - Enquadramento dos modelos avaliados nas classes estabelecidas pelo PEC-PCD.

MDE	Escala	
	1:50.000	1:100.000
ASTER GDEM 2	-	Classe B
TOPODATA	-	Classe B
SRTM 1 segundo de arco	-	-
SRTM V2	-	-
SRTM V3	-	Classe B
SRTM V4	-	Classe B
SRTM Plus	Classe D	Classe A
ALOS World 3D	-	-

Na escala 1:100.000 é possível perceber um rebaixamento na classe de quase todos os modelos, com exceção do SRTM Plus que se manteve como Classe A. Os modelos SRTM 1 segundo de arco, SRTM V2 e ALOS World 3D continuaram sem poder ser classificados nesta escala. Já na escala 1:50.000 o modelo SRTM Plus continua a ser o único a alcançar algum tipo de classificação, no entanto, o mesmo passa a ser enquadrado na classe D.

Apesar de não alterar a forma como os produtos digitais são avaliados, o maior rigor nas classes do PEC-PCD fez com que apenas o MDE SRTM Plus fosse enquadrado na melhor classificação possível na escala 1:100.000.

A fim de compararmos a influência das áreas interpoladas no SRTM Plus, foi realizado um novo teste neste modelo desconsiderando os valores que encontravam-se dentro das áreas de sombra no SRTM original. Este teste permitiu o enquadramento do SRTM Plus na Classe B quando trabalhando na escala 1:50.000 do PEC, apresentando um Erro Médio Quadrático de 7,6 metros e o erro máximo em 90% dos pontos de controle de 11,4 m. Este resultado, quando comparado ao obtido pelo ALOS World 3D se também desconsiderarmos as áreas com indisponibilidade de dados, coloca os dois modelos muito próximos em precisão vertical, fazendo com que ambos sejam enquadrados na mesma classe na escala 1:50.000.

Estas avaliações utilizando o Padrão de Exatidão Cartográfica demonstraram o grande potencial dos MDE SRTM Plus e ALOS World 3D, com ligeira superioridade do primeiro

devido a sua acurácia vertical, podendo ser utilizado com alto nível de confiabilidade na escala 1:100.000 ou até mesmo em escalas maiores dependendo da área de estudo e a necessidade do projeto.

Por ter sido o modelo com melhor resultado nas avaliações propostas pelo PEC, o SRTM Plus foi submetido à análise de tendência elaborada por Vieira & Genro (2013) juntamente com os modelos ASTER GDEM 2, ALOS World 3D e TOPODATA para a investigação de erros sistemáticos no produto. Os resultados desta avaliação podem ser observados na tabela 6.

Tabela 6 - Análise de tendência dos MDE.

<b>MDE</b>	<b>Tendência (m)</b>
ASTER GDEM 2	-1,92
ALOS World 3D	+1,81
SRTM Plus	+0,97
TOPODATA	-2,13

Os valores apresentados na tabela 6, quando positivos indicam uma superestimação da altimetria do relevo, e quando negativos, que a altimetria está sendo subestimada.

Os resultados obtidos apontam o MDE SRTM Plus com um menor erro sistemático, tendendo a superestimar o relevo em menos de 1 metro, enquanto, o modelo que demonstra o maior erro sistemático foi o TOPODATA, apresentando uma subestimação de altimetria de pouco mais de 2 metros. O valor próximo a zero apresentado pelo SRTM Plus corrobora com os resultados da avaliação anterior relativa à qualidade do MDE, apresentando um erro sistemático reduzido, principalmente se levarmos em conta à escala para qual é recomendável à utilização do produto. Por ser uma avaliação mais criteriosa e exigindo maior precisão do produto, a análise metodológica desenvolvida por Viera & Genro (2013) enquadraria o MDE SRTM Plus na Classe A da escala 1:100.000, no entanto, sem alcançar uma possível classificação para escala 1:50.000. Os resultados para a tolerância vertical em 90% dos pontos segundo esta análise foram de 16,7 metros e o Erro Médio Quadrático de 8,24 metros.

Para se avaliar o potencial da análise de tendência realizada e seu ganho ao efetuar a correção do modelo, um novo teste de acordo com PEC foi realizado para o SRTM Plus subtraindo o valor de tendência encontrado (0,97 m), do valor de altimetria do modelo para cada um dos pontos a fim de validar a aplicabilidade desta metodologia. Com a redução de



0,97 metros de toda a altimetria do MDE SRTM Plus, o mesmo apresentou resultados próximos ao que foi encontrado quando desconsideramos as áreas com os valores de altimetria interpolados para as regiões de *No Data*. O erro máximo em 90% dos pontos foi de 11,3 metros e o Erro Médio Quadrático de 8,1 metros. Este resultado fez com que o modelo ficasse muito próximo de ser enquadrado na Classe B da escala 1:50.000, mesmo considerando os pontos em áreas de sombra.

## **5.2 Precisão em relação ao relevo**

Os testes seguindo a compartimentação geomorfológica do relevo foram conduzidos também utilizando a base RJ25 uma vez que não existiam pontos obtidos em campo o suficiente de maneira a cobrir toda diversidade da geomorfologia local. Nestes testes o modelo SRTM Plus continuou apresentando o melhor resultado entre todos os MDE analisados. Foi possível observar também a grande dificuldade apresentada pelos modelos em retratar com acurácia a altimetria em regiões de afloramento rochoso, nas quais nenhum dos modelos pode ser enquadrado em uma classificação na escala 1:100.000 quando os pontos localizados em áreas de *No Data* ou interpolação foram considerados. Com a exclusão destes pontos, apenas os modelos SRTM 1 segundo de arco, SRTM Plus e ALOS World 3D conseguiram ser enquadrados na escala 1:100.000 em regiões de afloramento, tendo o modelo ALOS World 3D apresentado o melhor resultado alcançando uma classificação B.

As regiões que apresentaram os melhores resultados em todos os modelos foram os Domínios de planícies costeiras fluvio-marinhas, Cordões arenosos, dunas e restingas, e os Domínios de planícies fluviais, nas quais quase todos os MDE conseguiram alcançar uma das classes na escala 1:50.000 na avaliação considerando a totalidade dos pontos, com exceção do modelo ALOS World 3D que nos domínios de planícies fluviais foi classificado na Classe C da escala 1:100.000 devido a presença de regiões de sombra nesse MDE. As classificações de todos os modelos em cada uma das classes de relevo podem ser observadas nas tabelas 7 e 8. É importante destacar que o modelo ASTER GDEM 2 não foi avaliado excluindo regiões de *No Data* ou interpoladas pois o mesmo não possui dados sobre onde seriam tais regiões. Para o modelo TOPODATA, por ser um produto fruto da missão SRTM, foram utilizadas as mesmas regiões com ausência de informações dos produtos SRTM originalmente disponibilizados.

Tabela 7 - Classificação de acordo com o relevo incluindo regiões de *No Data*.

Relevo	ASTER GDEM 2	TOPODATA	SRTM 1 segundo de arco	SRTM V2	SRTM V3	SRTM V4	SRTM Plus	ALOS World 3D
Domínio de planícies costeiras fluvio-marinhas	1:50.000 C	1:50.000 B	1:50.000 B	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 C	1:50.000 A	1:50.000 A
Domínio montanhoso	1:100.000 A	1:100.000 A	-	-	100.000 A	1:100.000 A	1:100.000 A	-
Afloramento Rochoso	-	-	-	-	-	-	-	-
Cordões arenosos, dunas e restingas	1:50.000 C	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A
Domínio colinoso	1:100.000 A	1:100.000 A	1:50.000 C	1:50.000 C	1:100.000 A	1:100.000 A	1:50.000 B	-
Domínio de maciços costeiros	1:100.000 B	1:100.000 B	-	1:100.000 B	1:100.000 B	1:100.000 B	1:100.000 A	1:100.000 A
Domínio de morros elevados e pães-de-açúcar	1:100.000 A	1:100.000 A	1:100.000 A	1:100.000 C	1:100.000 A	1:100.000 A	1:50.000 B	-
Domínio de planícies fluviais	1:50.000 C	1:50.000 C	1:50.000 B	1:50.000 C	1:50.000 C	1:50.000 C	1:50.000 A	1:100.000 C

MDE com melhor classificação  
MDE não alcançou classificação nas classes avaliadas

Tabela 8 - Classificação de acordo com o relevo excluindo regiões de *No Data*.

Relevo	TOPODATA	SRTM 1 segundo de arco	SRTM V2	SRTM V3	SRTM V4	SRTM Plus	ALOS World 3D
Domínio de planícies costeiras fluvio-marinhas	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A	1:50.000 A
Domínio montanhoso	1:100.000 A	1:50.000 C	1:100.000 A	1:100.000 A	1:100.000 A	1:50.000 C	1:100.000 A
Afloramento Rochoso	-	1:100.000 C	-	-	-	1:100.000 C	1:100.000 B
Domínio colinoso	1:100.000 A	1:50.000 B	1:50.000 C	1:100.000 A	1:100.000 A	1:50.000 B	1:50.000 B
Domínio de maciços costeiros	1:100.000 B	1:100.000 A	1:100.000 B	1:100.000 B	1:100.000 B	1:100.000 A	1:100.000 A
Domínio de morros elevados e pães-de-açúcar	1:100.000 A	1:50.000 B	1:100.000 A	1:100.000 A	1:100.000 A	1:50.000 B	1:50.000 C
Domínio de planícies fluviais	1:50.000 C	1:50.000 A	1:50.000 C	1:50.000 C	1:50.000 C	1:50.000 A	1:50.000 A

MDE com melhor classificação  
MDE não alcançou classificação nas classes avaliadas

### 5.3 Avaliação utilizando pontos levantados em campo

Para a avaliação dos MDE utilizando pontos levantados em campo, apenas o melhor MDE da missão SRTM nas avaliações anteriores foi utilizado. Sendo assim, os modelos avaliados nesta etapa foram: SRTM Plus, ALOS World 3D, ASTER GDEM 2 e o TOPODATA.

O resultado da avaliação dos modelos utilizando os pontos levantados em campo para o município de Petrópolis pode ser observado nas figuras 29 e 30.

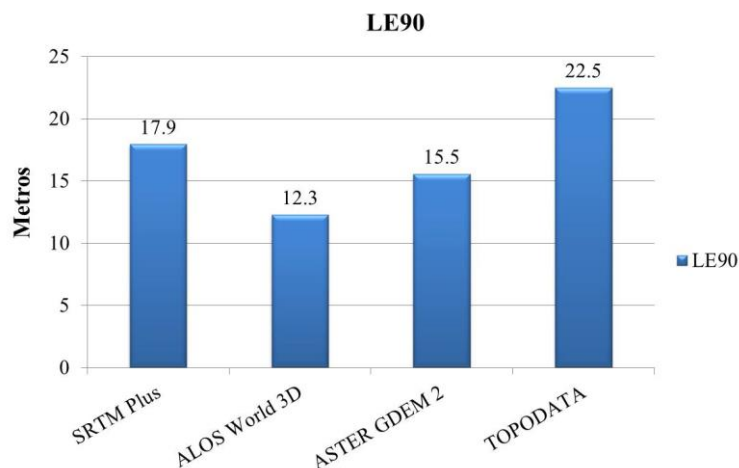


Figura 29 - Erro máximo encontrado em 90% dos pontos avaliados para o Município de Petrópolis.

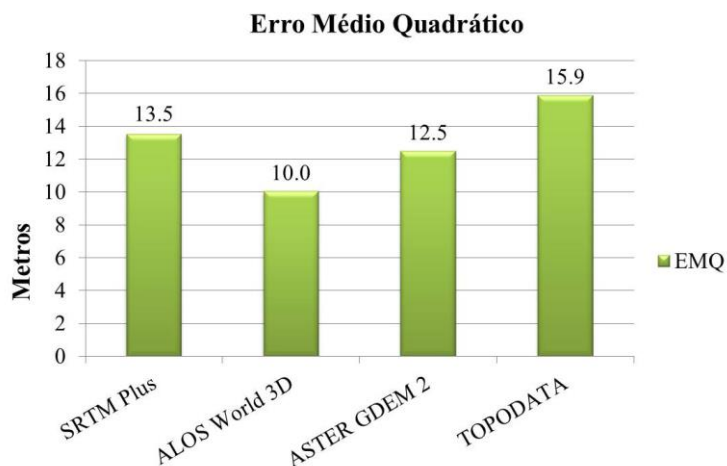


Figura 30 - Erro Médio Quadrático dos modelos avaliados para o município de Petrópolis.

Estes resultados apontam para o modelos ALOS World 3D como sendo o melhor MDE para a região onde foi realizado o levantamento dos pontos, tendo atingido um Erro Médio Quadrático de 10 metros, e um erro máximo em 90% dos pontos de 12,3 metros. Por outro lado, o pior modelo para esta região foi o TOPODATA, possuindo um Erro Médio Quadrático de 15,9 metros, e LE90 de 22,5 metros. O enquadramento dos modelos para as classes estabelecidas pelo PEC e pelo PEC-PCD pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela 9 - Enquadramento dos MDE no município de Petrópolis nas classes estabelecidas pelo PEC e PEC-PCD.

	<b>SRTM Plus</b>	<b>ALOS World 3D</b>	<b>ASTER GDEM 2</b>	<b>TOPODATA</b>
PEC	1:100.000 A	1:50.000 C	1:100.000 A	1:100.000 A
PEC-PCD	1:100.000 B	1:50.000 D	1:100.000 B	1:100.000 B

Para a localidade onde os pontos foram levantados no município de Petrópolis, o único modelo a alcançar uma classificação na escala 1:50.000 foi o ALOS World 3D, sendo classificado como C pelo PEC e D pelos critérios do PEC-PCD. Todos os outros modelos possuíram classificação semelhante entre si tanto na avaliação do PEC, quanto do PEC/PCD, sendo enquadrados apenas na escala 1:100.000. É importante destacar que nesta região não ocorre a presença de áreas com ausência de informações altimétricas (*No Data*).

Para a avaliação realizada com os pontos coletados na Rebio do Tinguá, os resultados podem ser observados nas figuras 31 e 32.

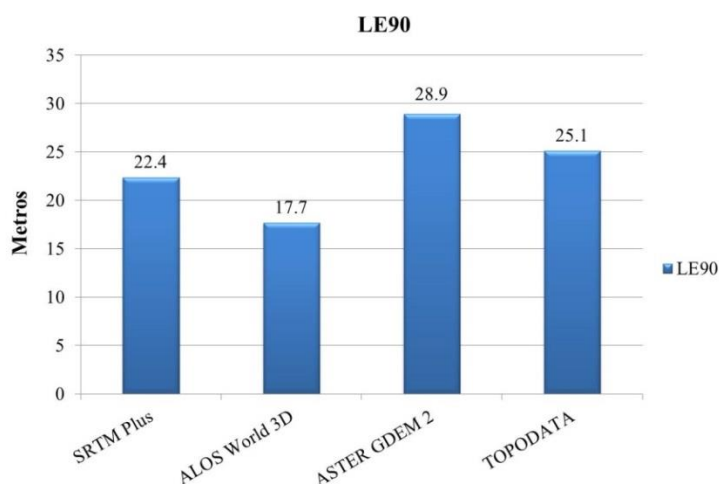


Figura 31 - Erro máximo encontrado em 90% dos pontos avaliados para a Rebio do Tinguá.

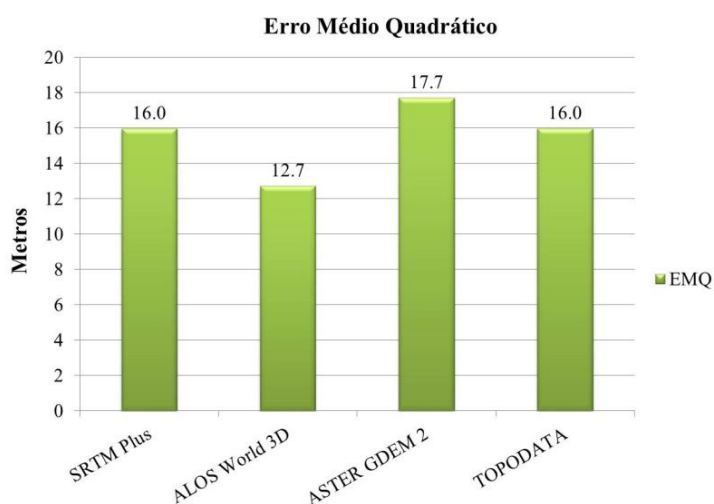


Figura 32 - Erro Médio Quadrático dos modelos avaliados para a Rebio do Tinguá.

Na avaliação utilizando os pontos coletados na Rebio do Tinguá, o MDE ALOS World 3D obteve novamente os melhores resultados, alcançando um valor de 17,7 metros para o erro máximo em 90% dos pontos avaliados, e um Erro Médio Quadrático de 12,7 metros. O

modelo com os piores resultados nesta área foi o ASTER GDEM 2, que obteve um valor de 28,9 metros para o LE90 e 17,7 para o Erro Médio Quadrático. Assim como a avaliação realizada em Petrópolis, esta área também não apresentou áreas com ausência de dados altimétricos nos modelos (*No Data*).

O enquadramento de cada um destes modelos nas classes e escalas estabelecidas pelos parâmetros do PEC e do PEC-PCD podem ser observados na tabela 10.

Tabela 10 - Enquadramento dos MDE na Rebio do Tinguá nas classes estabelecidas pelo PEC e PEC-PCD.

	<b>SRTM Plus</b>	<b>ALOS World 3D</b>	<b>ASTER GDEM 2</b>	<b>TOPODATA</b>
PEC	1:100.000 A	1:100.000 A	1:100.000 B	1:100.000 B
PEC-PCD	1:100.000 B	1:100.000 B	1:100.000 C	1:100.000 C

Apesar de possuir valores absolutos superiores aos outros modelos, o MDE ALOS World 3D, assim como o SRTM Plus, foram enquadrados na Classe A da escala 1:100.000 de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo PEC, e na Classe B da escala 1:100.000 segundo os parâmetros do PEC/PCD. Os modelos ASTER GDEM 2 e TOPODATA foram também enquadrados na escala 1:100.000, possuindo Classe B para o PEC e Classe C para o PEC/PCD.

#### **5.4 Conclusão da avaliação dos Modelos Digitais de Elevação**

Através das avaliações realizadas foi possível constatar a alta qualidade dos dados adquiridos pela missão SRTM, produzindo um MDE que pode ser utilizado com confiabilidade aceitável até a escala 1:50.000 de acordo com a área de estudo em questão. O erro sistemático próximo de zero encontrado no SRTM Plus corrobora com esta conclusão e possibilita classificá-lo como o melhor MDE disponibilizado gratuitamente para o estado do Rio de Janeiro.

No entanto, é necessário também destacar os resultados positivos obtidos pelos testes realizados no modelo ALOS World 3D quando são excluídas as regiões de sombra do modelo. Por não contar ainda com uma versão que possua essas áreas interpoladas, como ocorre com alguns dos produtos SRTM, o MDE ALOS World 3D não alcança um enquadramento nas classes propostas pelo PEC para as escalas 1:100.000 e 1:50.000 quando são considerados a totalidade dos pontos. No entanto, ao desconsiderarmos as pequenas

regiões de sombra, seus resultados se mostram promissores e seu uso pode se tornar recomendado de acordo com a área de estudo.

Os resultados positivos obtidos pelo ALOS World 3D são confirmados pela avaliação realizada utilizando pontos levantados em campo no município de Petrópolis e na Rebio do Tinguá. Apesar de possuírem um menor universo amostral, localizando-se todos dentro de uma mesma cena dos MDE avaliados, este teste classificou o MDE ALOS como o melhor dentre os avaliados, sendo superior inclusive ao SRTM Plus. Isto foi possível uma vez que nestas regiões avaliadas o MDE ALOS não possuía regiões com sombreado de nuvens, inexistindo então áreas com ausência de dados.

A análise compartimentada de acordo com o relevo também permitiu a observação da dificuldade dos sensores orbitais para a aquisição de dados em regiões com elevada declividade, como por exemplo, os afloramentos rochosos ou maciços costeiros. Os resultados apontando grandes erros indicam que a sombra presente nos produtos SRTM não é a única característica responsável pela presença de erros altimétricos nestas regiões, mas também a própria natureza do terreno com maiores irregularidades, dificulta a aquisição de dados com grande acurácia independente do método de aquisição de dados do sensor. Quando as regiões de *No Data* são excluídas da análise, esta torna-se a única classe em que o modelo SRTM Plus não possui a melhor classificação entre os MDE avaliados, ficando atrás do MDE ALOS World 3D.

Uma diferença que podemos destacar entre estes dois MDE é o seu formato de aquisição de dados, sendo o SRTM uma missão que utilizou sensores ativos (radar interferométrico) e suscetível ao sombreado do relevo que originou as regiões de *No Data*, e a técnica de estereoscopia ótica utilizada na missão ALOS. Acredita-se que os resultados do MDE ALOS World 3D tenham sido melhores para as regiões de afloramento rochoso por sua aquisição não ter sofrido com problemas de sombreado decorrentes de regiões de elevada inclinação, como ocorreu durante a missão SRTM. As regiões de *No Data* do modelo ALOS World 3D são provenientes de áreas com constante cobertura de nuvens, gerando assim uma espécie de vazio de dados que não é associada diretamente com o terreno.

Outra possível explicação para os bons resultados apresentados pelo MDE ALOS World 3D é devido ao processo de estereoscopia utilizado, onde, diferentemente das técnicas tradicionais realizadas com um par de imagens, este MDE é gerado a partir de uma estereoscopia com três imagens de uma mesma região (*triplet*) com superposição total.

No entanto, mesmo apresentando resultados melhores que o SRTM Plus, a classe de afloramento rochoso ainda teve resultado inferior às outras classes avaliadas nos domínios geomorfológicos, indicando que apesar de o erro proveniente de sombreamento em sistemas de sensores ativos não estar presente no produto da missão ALOS, ele não é o único fator complicador para a aquisição de dados altimétricos em regiões de afloramento rochoso. Pensando nisto propõe-se o questionamento se apenas a declividade está influenciando negativamente os resultados ou se a cobertura do solo pode também de alguma forma influenciar nas respostas dos sensores nestes locais.

É importante destacar que neste trabalho não foi avaliada a precisão horizontal dos modelos. Este tipo de erro posicional pode significar um aumento ou redução da precisão do MDE, pois partimos do pressuposto que todos os pontos de controle carregam a altimetria da exata porção do terreno representada por aquele pixel onde se extraiu a informação do modelo, ignorando assim, possíveis erros de deslocamento horizontal. Admitiu-se este tipo de variável devido à precisão planimétrica observada nos processos de validação dos modelos realizados pelas agências espaciais norte-americana e japonesa, onde o erro planimétrico médio encontrado para os MDE SRTM foi de 9 metros para América do Sul, 6,1 metros para o MDE ALOS World 3D e para o MDE ASTER GDEM 2 foi de 18 metros. Tais valores se mostram inferiores à resolução dos MDE aqui avaliados (aproximadamente 30 ou 90 metros de pixel) (TADONO *et al.*, 2014; TACHIKAWA *et al.*, 2011; RODRÍGUEZ *et al.*, 2005).

Após a realização de todas as etapas, decidiu-se utilizar o MDE SRTM Plus como fonte de informações altimétricas para o cálculo de área em Superfície Modelada para o estado do Rio de Janeiro. Apesar de o MDE ALOS World 3D possuir uma qualidade muito semelhante, apresentando inclusive melhores resultados em determinados domínios geomorfológicos ou quando foi realizada a avaliação a partir dos pontos levantados em campo, este modelo ainda possui regiões com ausência de dados (totalizando uma área de 123 Km<sup>2</sup>). Esta ausência inviabilizaria sua utilização para o cálculo de área em determinadas partes do estado.

Esta ausência de dados poderia ser contornada através da interpolação das áreas de *No Data* utilizando a informação de *pixels* vizinhos, ou mesmo informações altimétricas de outros produtos. No entanto, este tipo de processo exigiria uma nova avaliação destas áreas para testar a qualidade do produto final uma vez que a interpolação poderia não atingir o mesmo nível de confiança das outras áreas do MDE.

Por isso, devido a grande semelhança de qualidade entre os modelos, e a necessidade de interpolação de áreas com ausência de informação no MDE ALOS World 3D, optou-se por trabalhar aqui com o MDE SRTM Plus.



## **6 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DE ÁREA EM SUPERFÍCIE MODELADA**

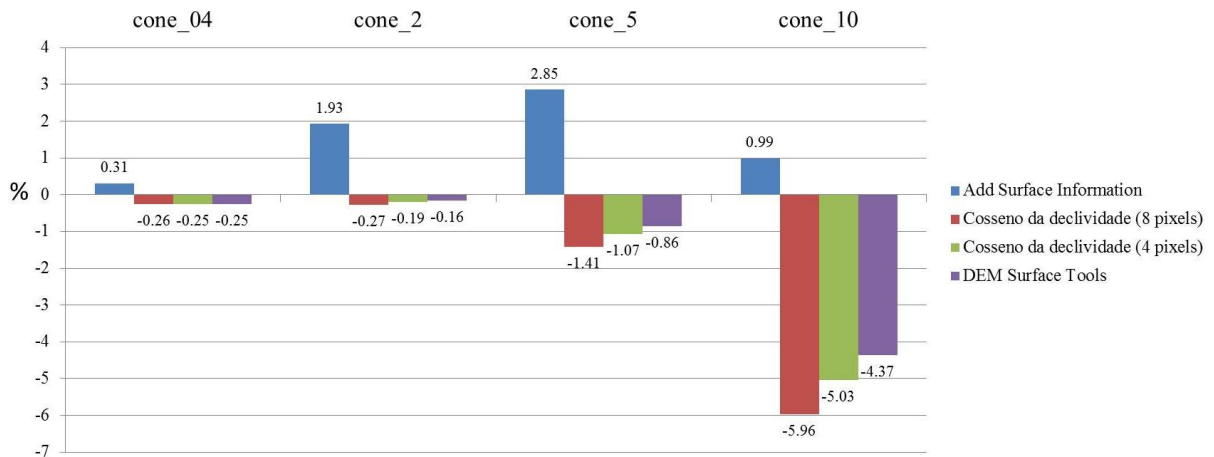
A validação das quatro metodologias de cálculo de área em Superfície Modelada foi realizada de duas maneiras. Utilizando sólidos geométricos de formas conhecidas e possíveis de terem suas áreas calculadas matematicamente; e através da comparação com os valores de área em Superfície Modelada obtidos de um MDE no formato TIN em uma área teste. A seguir serão apresentados os resultados para estas duas avaliações realizadas.

### **6.1 Validação através dos sólidos geométricos**

A primeira etapa da validação consistiu na utilização dos sólidos geométricos do Cone e da Semiesfera, ambos com áreas calculadas matematicamente, para comparação com os valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas. Estes testes foram realizados simulando pequenas e grandes áreas geográficas através de sólidos geométricos com 50 metros de altura e 50 metros de raio, e posteriormente com 3000 metros de altura e 3000 metros de raio. A utilização de diferentes áreas possibilitou um maior aprofundamento nas avaliações relativas à escala cartográfica, uma vez que em grandes áreas geográficas foi possível realizar maiores generalizações sem degradar em demasia os dados.

Os resultados obtidos para o Cone com altitude de 50 metros, uma área geográfica pequena, pode ser observado na figura 33.

Diferença percentual entre área matemática e área obtida pela ferramenta



Modelo	Escala	Resolução espacial (m)	Área Planimétrica	Área Matemática	Add Surface Information	Cosseno da declividade (8 pixels)	Cosseno da declividade (4 pixels)	DEM Surface Tools
cone_04	1:2.000	0.4	7853.982	11107.207	11141.88071	11078.13451	11079.18153	11079.07481
cone_2	1:10.000	2			11321.59257	11076.69204	11085.74753	11089.40704
cone_5	1:25.000	5			11424.14729	10950.16416	10988.1438	11011.73435
cone_10	1:50.000	10			11217.35939	10444.97767	10548.29127	10621.79491

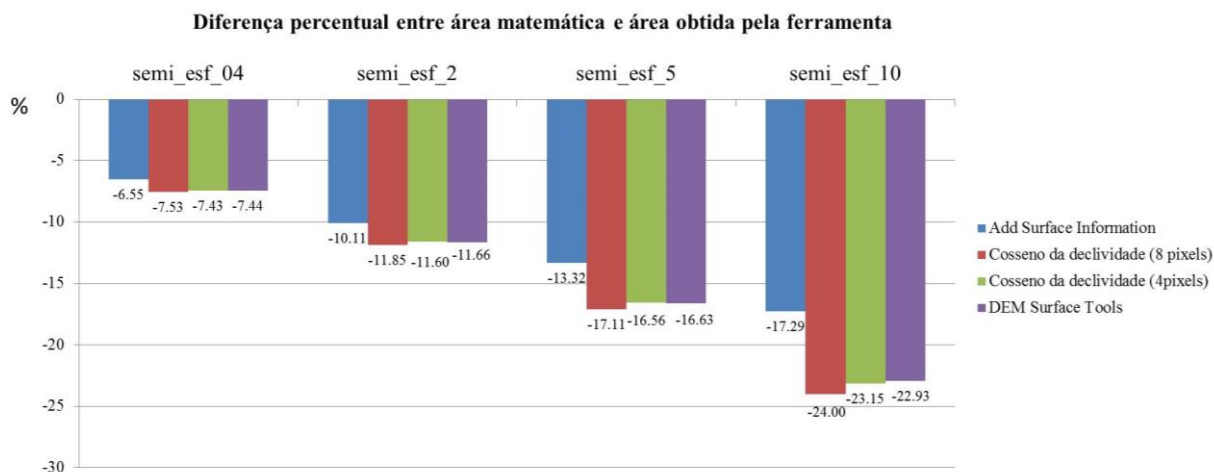
Figura 33 - Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para o Cone simulando pequenas áreas.

Nos testes realizados para o Cone na escala 1:2.000 as ferramentas apresentaram resultados semelhantes em relação ao valor percentual da diferença para a área matemática, errando em média 0,27%. Já no teste para escala 1:10.000 a ferramenta que apresentou a menor diferença percentual em relação ao valor de referência foi a *DEM Surface Tools*, com um erro de apenas 0,16%, este resultado foi seguido do cálculo pelo Cosseno da declividade utilizando 4 pixels (0,19%), o cálculo pelo Cosseno da declividade utilizando 8 pixels (0,27%) e a ferramenta com o pior resultado foi a *Add Surface Information* com 1,9% de diferença em relação ao valor matemático. No teste da escala 1:25:000 as diferenças relativas entre as ferramentas se mantiveram, com a *DEM Surface Tools* apresentando os melhores resultados e a *Add Surface Information* os piores. No entanto, no teste para escala 1:50.000, a ferramenta que apresentou resultados mais próximos do valor de referência foi a *Add Surface Information*, com um erro aproximado de 1%, e a ferramenta com maior erro percentual foi a que calcula a área em Superfície Modelada a partir do Cosseno da declividade utilizando 8 pixels, apresentando uma diferença relativa de 5,96%.

Podemos destacar deste teste inicial com o Cone o fato de que as ferramentas *DEM Surface Tools* e os dois métodos do cálculo de área pelo cosseno da declividade apresentaram uma tendência a subestimar a área em Superfície Modelada. Por outro lado, a ferramenta *Add*

*Surface Information* apresentou resultados que superestimavam os valores de área calculados matematicamente.

Na figura 34 podem ser observados os resultados obtidos para a semiesfera com altitude de 50 metros, simulando uma área geográfica pequena.

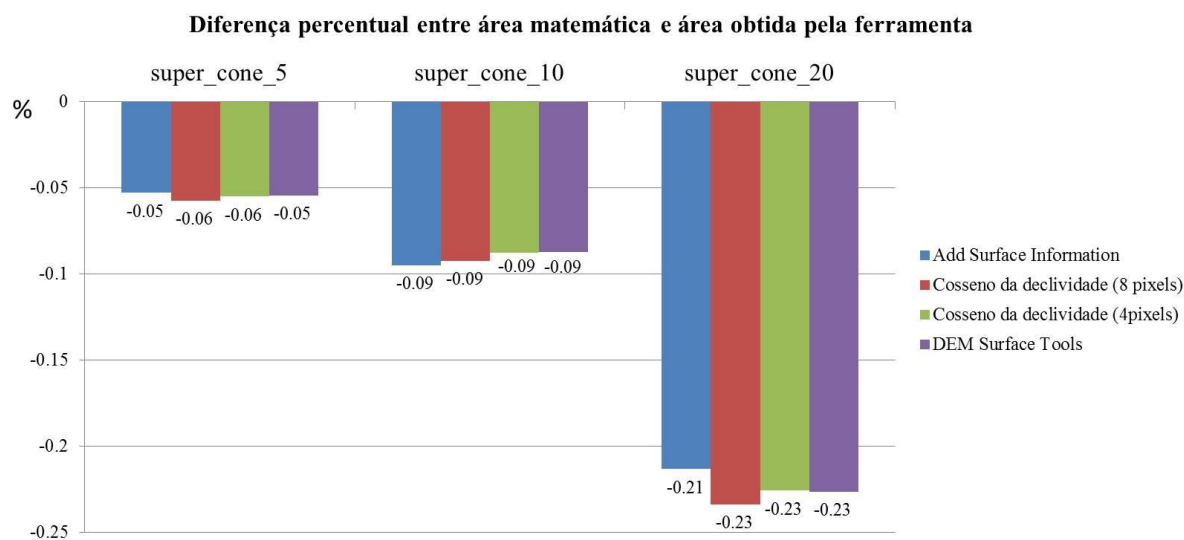


Modelo	Escala	Resolução espacial (m)	Área Planimétrica	Área Matemática	Add Surface Information	Cosseno da declividade (8 pixels)	Cosseno da declividade (4 pixels)	DEM Surface Tools
semi_esf_04	1:2.000	0.4	7853.982	15707.963	14679.86968	14525.75438	14540.70176	14539.57307
semi_esf_2	1:10.000	2			14120.47001	13846.68418	13886.47015	13876.77443
semi_esf_5	1:25.000	5			13615.61983	13020.42454	13106.56968	13095.08455
semi_esf_10	1:50.000	10			12991.65537	11937.93079	12071.7075	12106.61227

Figura 34 - Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para a Semiesfera simulando pequenas áreas.

Este teste apresentou resultados mais homogêneos, sendo a ferramenta *Add Surface Information* a que apresentou os melhores resultados em todas as escalas avaliadas, e o cálculo de área através do cosseno da declividade com 8 pixels a metodologia que apresentou os piores resultados. Em geral, o percentual de diferença entre os resultados obtidos pelas ferramentas apresentou uma tendência a aumentar conforme a escala diminuía, isto pode ser ilustrado pela diferença de apenas 0,98% entre a ferramenta *Add Surface Information* e o cálculo de área pelo cosseno da declividade utilizando 8 pixels na escala 1:2.000, e o aumento para uma diferença de 6,7% na escala 1:50.000. É importante destacar também que, diferente do que ocorreu no teste realizado com o Cone, para a Semiesfera todas as ferramentas apresentaram uma tendência a subestimar a área, fornecendo valores inferiores ao calculado matematicamente.

Na figura 35 podem ser observados os resultados do Cone simulando o cálculo em grandes áreas.

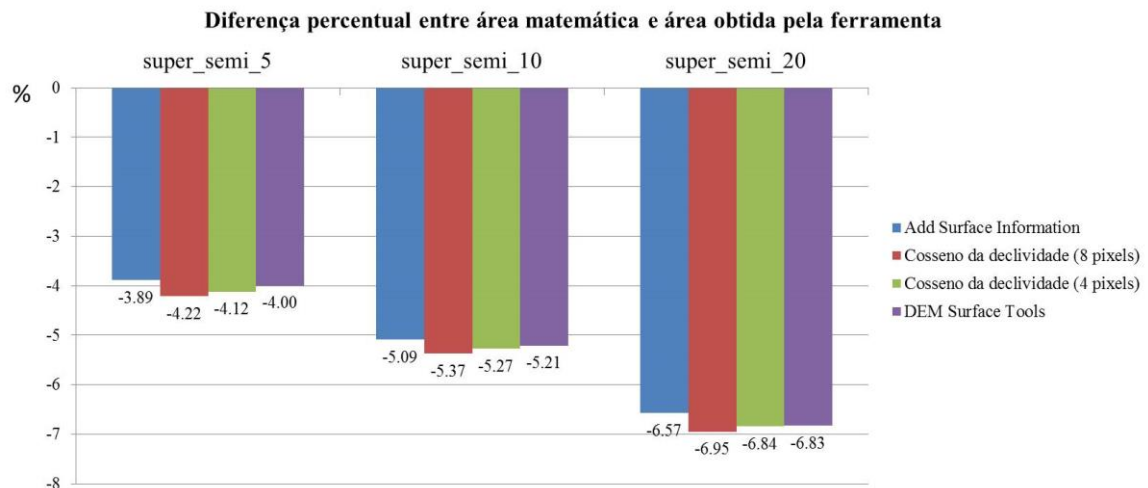


Modelo	Escala	Resolução espacial (m)	Área Planimétrica	Área Matemática	Add Surface Information	Cosseno da declividade (8 pixels)	Cosseno da declividade (4 pixels)	DEM Surface Tools
super_cone_5	1:25.000	5	28274333.882	39985946.443	39964751.55	39962933.13	39963900.88	39964188.22
super_cone_10	1:50.000	10			39948017.64	39949006.29	39950874.12	39951097.34
super_cone_20	1:100.000	20			39900674.78	39892516.21	39895695.61	39895488.46

Figura 35 - Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para o Cone simulando grandes áreas.

Diferente do teste utilizando o Cone para pequenas áreas, neste teste todas as ferramentas apresentaram tendência a subestimar o valor de área em Superfície Modelada. Nas avaliações para escala 1:25.000 e 1:50.000 as ferramentas obtiveram resultados muito semelhantes, com uma diferença percentual entre si inferior a 0,01%, e apresentando grande proximidade aos valores de referência calculados matematicamente. Apenas no teste para escala 1:100.000 a ferramenta *Add Surface Information* apresentou uma leve superioridade de 0,02% em relação as outras duas metodologias. Todos os testes realizados para este sólido geométrico apresentaram uma diferença percentual em relação ao valor de referência inferior a 1%, indicado assim, o bom desempenho das quatro metodologias.

Os resultados da avaliação utilizando a semiesfera simulando grandes áreas podem ser observados na figura 36.



Modelo	Escala	Resolução espacial (m)	Área Planimétrica	Área Matemática	Add Surface Information	Cosseno da declividade (8 pixels)	Cosseno da declividade (4 pixels)	DEM Surface Tools
super_semi_5	1:25.000	5	28274333.882	56548667.765	54350507.75	54164892.6	54218657.81	54289187.41
super_semi_10	1:50.000	10			53670673.62	53509780.68	53566543.32	53603688.22
super_semi_20	1:100.000	20			52833507.54	52618461.59	52679651.18	52688587.99

Figura 36 - Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para a Semiesfera simulando grandes áreas.

Os resultados obtidos a partir da avaliação usando como referência a semiesfera simulando grandes áreas indicou uma superioridade da ferramenta *Add Surface Information* em todas as escalas de análise (1:25.000, 1:50.000 e 1:100.000). Por outro lado, o cálculo de área em Superfície Modelada a partir do cosseno da declividade com 8 pixels apresentou os piores resultados quando comparado ao valor de referência. No entanto, é importante destacar que os valores obtidos pelas quatro diferentes metodologias nesta análise foram muito próximos, chegando a um máximo de 0,38% de diferença entre si na escala 1:100.000. A diferença dos valores obtidos pelas ferramentas e os valores calculados matematicamente foi maior do que observado no Cone, no entanto, tais valores ainda se mostraram de grande precisão, errando em média 4% na escala 1:25.000, 5,2% na escala 1:50.000 e 6,8% na escala 1:100.000.

A partir dos testes realizados utilizando os sólidos geométricos, foi possível observar uma superioridade da ferramenta *Add Surface Information*. Dos 14 testes realizados, a ferramenta *Add Surface Information* se saiu melhor em 9, comparado ao melhor desempenho em 2 testes da ferramenta *DEM Surface Tools*, e 3 empates de duas ou mais ferramentas.

As maiores discrepâncias observadas ocorreram nos testes que utilizaram as figuras geométricas com 50 metros de altura. Estas figuras também apresentaram uma tendência a

maximizar as diferenças entre os resultados obtidos nas escalas 1:25.000 e 1:50.000. Isso pode ser resultado de uma generalização exagerada da resolução espacial do modelo em relação à abrangência do mesmo. Possuindo apenas 50 metros de raio, a utilização de pixels de 5 e 10 metros pode ser responsável por degradar em demasia a informação contida nos modelos, como pode ser observado na figura 37.

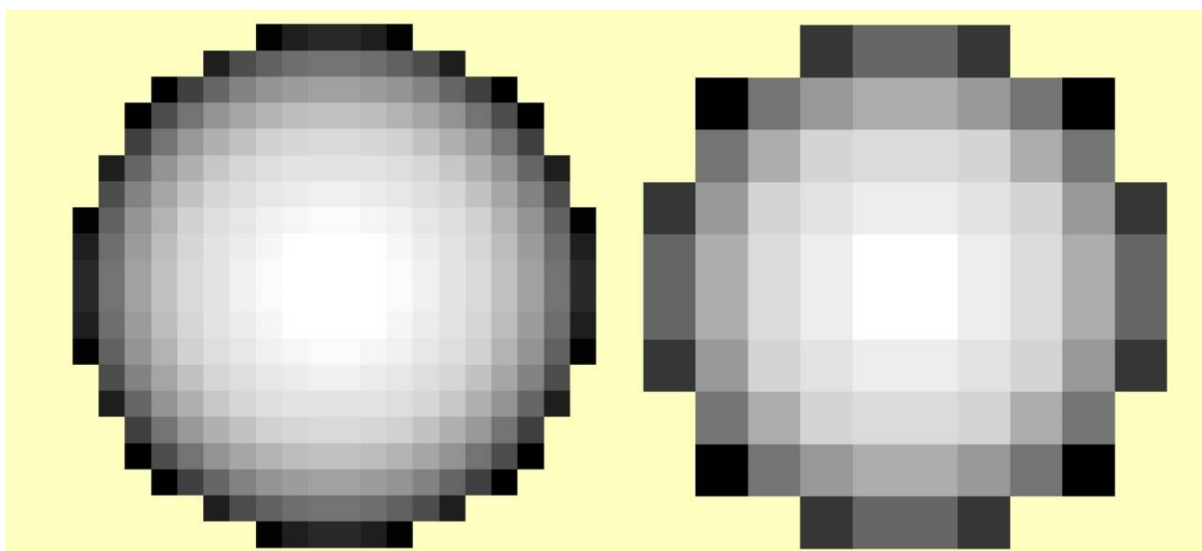


Figura 37 - Exemplo de generalização da semiesfera com 50 metros de raio nas escalas 1:25.000 (a esquerda) e 1:50.000 (a direita).

A ideia de uma generalização em excesso da resolução espacial ser o motivador de resultados tão díspares nos sólidos geométricos é corroborada pelos resultados muito próximos apresentados pelas três ferramentas quando os testes utilizando as mesmas resoluções espaciais são realizados com as figuras geométricas construídas com 3000 metros de altura e raio. Por simularem grandes áreas geográficas, a redução da resolução espacial apresenta menores implicações na generalização da informação, fornecendo assim um produto mais adequado para o cálculo de área em Superfície Modelada.

Um fato que merece destaque é relativo ao tempo de processamento das metodologias testadas. Para realização do cálculo de área da semiesfera com 3000 metros de raio e resolução espacial de 5 metros, a ferramenta *Add Surface Information* necessitou de 47 minutos para conclusão do processo. Um processamento considerado custoso em termos de tempo se comparado às outras três metodologias aqui avaliadas, que concluíram o cálculo em um intervalo de tempo inferior a 2 minutos para o mesmo modelo.

Outra observação relativa ao funcionamento da ferramenta *Add Surface Information* é relativo à estabilidade de seus resultados. Foi observado nos testes utilizando sólidos geométricos com 50 metros de raio que os resultados obtidos pela ferramenta eram diferentes se o processo fosse repetido. Este erro ocorreu tanto para o modelo do Cone quanto da Semiesfera, especialmente nos modelos com menor resolução espacial. Tal erro resultou na necessidade de repetir o processo realizado pela ferramenta algumas vezes até que os resultados se mostrassem estabilizados e pudessem ser computados. Este tipo de comportamento não foi observado nos sólidos geométricos com 3000 metros de raio.

## 6.2 Validação através do MDE no formato TIN em área teste

Possuindo aproximadamente 1800 metros de extensão em seu eixo maior e 390 metros de altitude, a validação através dos morros do Pão de Açúcar e da Urca foi realizada utilizando como valor de referência a mensuração obtida em um modelo digital de elevação no formato TIN. Os resultados desta avaliação para três diferentes escalas podem ser observados na figura 38.

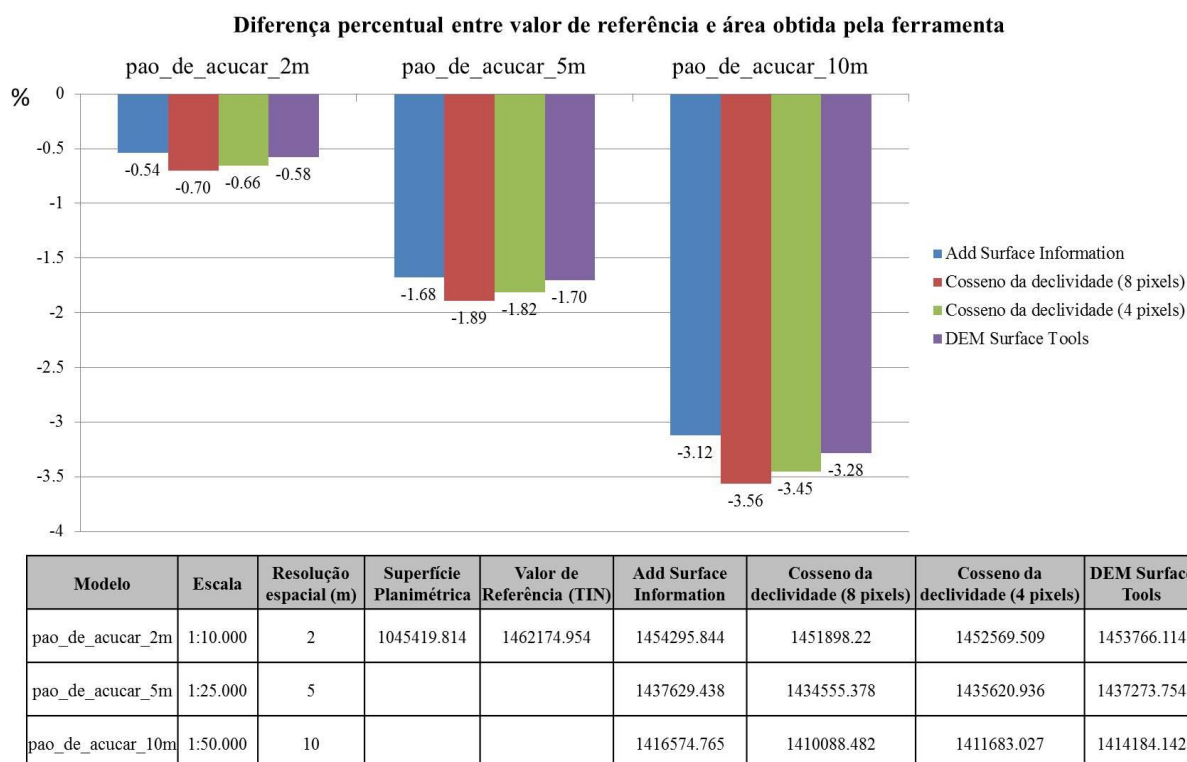


Figura 38 - Valores de área em Superfície Modelada obtidos pelas ferramentas para os morros do Pão de Açúcar e da Urca.

Os resultados obtidos indicaram novamente uma superioridade da ferramenta *Add Surface Information*, apresentando os valores mais próximos ao valor de referência, e classificaram o cálculo de área pelo cosseno da declividade com 8 pixels como a metodologia menos efetiva. No entanto, devemos destacar a grande proximidade entre os resultados apresentados pelos quatro métodos, não sendo em nenhuma avaliação a diferença superior a 0,5% entre elas. Apesar da diferença percentual entre as ferramentas aumentar com a redução da escala, estes resultados não se assemelham a grande discrepância apresentada quando os testes foram realizados com os sólidos geométricos com 50 metros de raio, corroborando com a ideia de que no caso destes sólidos a generalização utilizada foi excessiva.

Foi possível concluir a partir da avaliação realizada com a área teste dos morros do Pão de Açúcar e da Urca os resultados satisfatórios obtidos pelas quatro metodologias, não apresentando em nenhum momento uma diferença percentual acima de 4% se comparado ao valor de referência.

### **6.3 Conclusão sobre a avaliação das metodologias para cálculo de área em SM**

Os testes realizados com as quatro metodologias apresentadas nos permitem tirar algumas conclusões iniciais sobre seus cálculos e a exatidão dos mesmos. Inicialmente é possível destacar que a metodologia utilizada pela ferramenta *Add Surface Information* não se vale da mesma lógica matemática que os outros três métodos avaliados, uma vez que seus resultados diferem dos apresentados pelas outras ferramentas nos testes realizados. Isto faz com que os cálculos realizados pela mesma permaneçam desconhecidos até o presente momento.

Outra importante ponderação relativa à ferramenta *Add Surface Information* é sua inviabilidade de utilização para análises além de uma escala local devido ao tempo excessivo de processamento, e até mesmo, falha e encerramento do programa. Podemos destacar como exemplo o tempo necessário para realização do cálculo de área em Superfície Modelada da Semiesfera com 3000 metros de raio, demorando 47 minutos de processamento na ferramenta *Add Surface Information*, e pouco mais de 2 minutos nas outras ferramentas. Algumas tentativas de utilização da ferramenta *Add Surface Information* para o cálculo de área em Superfície Modelada utilizando como áreas teste municípios do Rio de Janeiro resultaram em uma falha do programa, encerrando o processo. Problema semelhante foi encontrado ao realizar a tentativa de calcular a área em Superfície Modelada para uma série de polígonos



independentes, como foi no caso das favelas pertencentes ao Maciço da Tijuca. Esta tentativa também culminou em falha da ferramenta.

Apesar de estar presente em diversas versões que foram lançadas pelo pacote *ArcGIS*, a ferramenta *Add Surface Information* tem apresentado uma série de erros ao longo destas versões. Tais erros estão documentados nas listas de *bugs* disponibilizada pelo fabricante (ESRI, 2016), assim como, em reclamações realizadas por usuários nos fóruns de discussão do programa. Isto nos leva à conclusão que esta ferramenta ainda carece de uma implementação mais robusta e estável para que sua utilização seja recomendada sem restrições.

Com relação aos resultados apresentados pela ferramenta de cálculo de área através do cosseno da declividade, sendo a metodologia que mais subestimou os valores de área em Superfície Modelada, independente da metodologia utilizada para construção do modelo de declividade, este fato pode possuir como uma das justificativas a descoberta realizada por Hodgson (1995) relativa à qual a real área que os pixels presentes em modelos de declividade representam.

Para criação dos modelos de declividade, os algoritmos existentes trabalham com o desnivelamento de altitude de um pixel central para os pixels vizinhos em uma janela 3x3, e então é calculada a declividade para o pixel central. No entanto, este tipo de cálculo tende a superestimar a extensão de terreno que possui a declividade assinalada para o pixel central, uma vez que a declividade que é calculada abrange também parte dos pixels vizinhos e é acrescida a área pertencente ao pixel central. Hodgson (1995) concluiu que o valor obtido para declividade de um pixel corresponde a uma área 1,6 maior que o tamanho de célula do MDE original quando para construção do modelo de declividade é utilizado algoritmos que contabilizem 4 pixels vizinhos, e 2 vezes o tamanho da célula original do MDE quando o algoritmo utiliza todos os 8 pixels vizinhos.

Este tipo de generalização decorrente dos algoritmos para o cálculo da declividade é responsável por reduzir a irregularidade do relevo, uma vez que ao assinalar para determinado pixel uma declividade que abrange uma área maior do que ele realmente representa, informações de irregularidade do relevo podem ser perdidas. Isto explicaria uma maior subestimação de área em Superfície Modelada pelo cálculo através do cosseno da declividade, uma vez que este é dependente da exatidão do ângulo de declividade.

Os resultados obtidos por Hodgson (1995) também explicam o porquê quando utilizando o modelo de declividade construído com apenas 4 pixels vizinhos os valores de

área em Superfície Modelada se aproxima mais dos valores de referência do que quando o modelo de declividade é construído utilizando os 8 pixels vizinhos, uma vez que desta forma a rugosidade do relevo será mais generalizada com o pixel representando uma área 2 vezes maior que sua área original no MDE.

Apesar dos resultados obtidos pela ferramenta *Add Surface Information*, a observação recorrente de falhas e o elevado tempo de processamento, assim como, a instabilidade dos resultados existentes na ferramenta tornam possível concluir que sua utilização não é a mais recomendada até o momento, especialmente em análises para além de uma escala local. Por outro lado, podemos constatar que a ferramenta mais indicada para o cálculo de área em Superfície Modelada é a *DEM Surface Tools*, desenvolvida por Jenness (2004). Esta ferramenta destaca-se por apresentar resultados muito próximos da ferramenta *Add Surface Information*, com uma média de diferença de apenas 1,6% ao considerarmos todos os testes realizados, no entanto, com grande estabilidade e agilidade nos resultados e não necessitando da utilização de modelos de declividade para realização de seus cálculos, evitando assim o problema apontado por Hodgson (1995).

É importante destacar também que a média da diferença percentual entre todas as ferramentas ao considerarmos todos os testes realizados é de apenas 1,8%, o que confere a elas resultados muito similares e uma diferença considerada desprezível dependendo da necessidade do projeto. Deve-se fazer uma ressalva apenas à inviabilidade de utilização da ferramenta *Add Surface Information* para grandes áreas (escalas regionais, nacionais ou globais) ou complexos arranjos de limites da área de interesse. Sendo assim, os resultados oficiais que serão apresentados no capítulo a seguir para a dinâmica do estado do Rio de Janeiro serão os da ferramenta *DEM Surface Tools*. Entretanto, para fins de comparação, também serão apresentados no próximo capítulo alguns resultados com a área em Superfície Modelada calculada a partir do cosseno da declividade utilizando 4 pixels, assim como, será feita uma breve comparação entre estes dois métodos.

## **7 RESULTADOS DA ANÁLISE GEOECOLÓGICA EM SUPERFÍCIE MODELADA PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Neste capítulo serão apresentados os resultados da análise geoecológica em Superfície Modelada do estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007. Esta análise foi realizada inicialmente fazendo uma comparação dos valores de áreas em Superfície Planimétrica e em Superfície Modelada para cada uma das classes mapeadas nos anos em questão. Posteriormente será realizada uma análise da dinâmica da paisagem em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada no intervalo de tempo proposto para o trabalho.

Todos os resultados apresentados nesta sessão foram obtidos a partir de dados sem um sistema de projeção associado devido à lógica computacional utilizada pela ferramenta *DEM Surface Tools* e o formato em que o Modelo Digital de Elevação SRTM Plus é disponibilizado pela NASA. Por tal motivo, os valores de área foram calculados utilizando mensurações geodésicas de forma a possibilitar uma maior aproximação com os valores de área reais. As implicações desta decisão serão discutidas mais a frente no subcapítulo 7.4.

### **7.1 Cobertura da Terra no Estado do Rio de Janeiro em 1994**

O mapeamento final de cobertura da terra para o estado do Rio de Janeiro em 1994, após todas as edições realizadas, pode ser observado na figura 39.

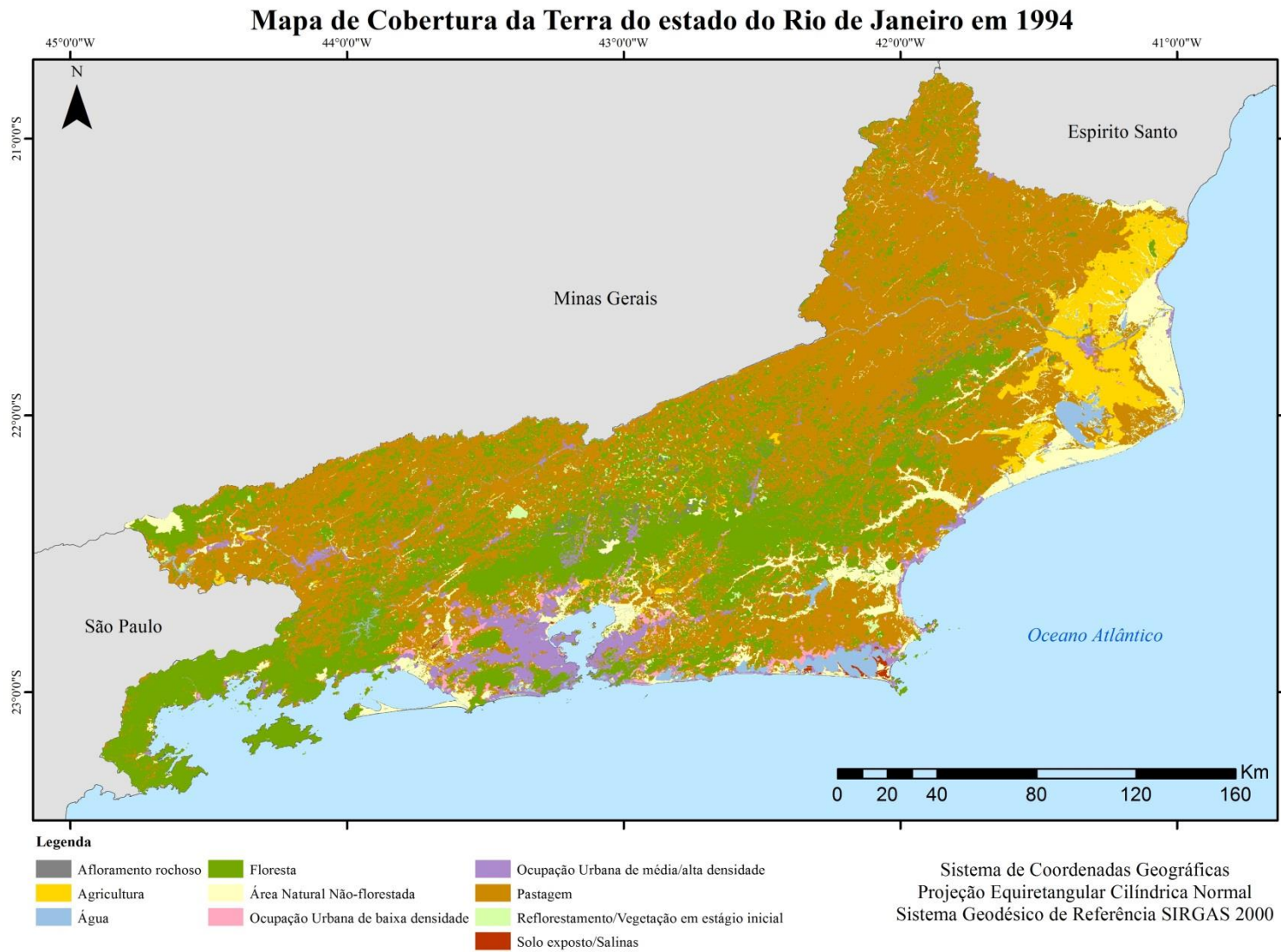


Figura 39 - Mapeamento final do estado do Rio de Janeiro de 1994 após as edições.

Em uma observação inicial do mapa de 1994 é possível notar um predomínio das áreas de pastagem no estado, especialmente na região do reverso da Serra do Mar. Por outro lado, os fragmentos florestais, em sua maioria, acompanham o lineamento de escarpas desta mesma serra. As maiores concentrações de agricultura encontram-se localizadas no nordeste fluminense, enquanto as áreas urbanas de média/alta densidade localizam-se na região metropolitana e em alguns polos isolados ao longo do estado. Os resultados para extensão de área de cada uma das classes pode ser observado na tabela 11.

Tabela 11 - Totais de área para cada uma das classes no mapeamento de 1994 em SP e SM.

<b>Classe (1994)</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença percentual (%)</b>
Afloramento rochoso	250,9	315,6	64,7	25,8
Agricultura	2.139,1	2.149,5	10,4	0,5
Água	867,2	870,3	3,1	0,4
Floresta	12.728,6	13.955,1	1.226,5	9,6
Área Natural não-florestada	3.041,9	3.071,5	29,7	1,0
Ocupação urbana de baixa densidade	434,3	437,4	3,1	0,7
Ocupação urbana de média/alta densidade	1.663,9	1.685,3	21,3	1,3
Pastagem	22.061,6	23.083,2	1.021,6	4,6
Reflorestamento/Vegetação em estágio inicial	520,2	548,3	28,0	5,4
Solo exposto/Salinas	56,6	57,0	0,4	0,7

Os valores de área indicam o que uma análise visual do mapa acima apresentado já aponta, com as áreas de Floresta e Pastagem sendo as principais coberturas da terra no estado do Rio de Janeiro em 1994. Em valores absolutos, as regiões de pastagem se caracterizam como a maior extensão de área do estado, com grande superioridade frente a segunda maior cobertura de terra, ocupada pelas áreas de Floresta. Merecem destaque também as regiões cobertas por Áreas Naturais não-florestadas, Agricultura e Ocupações urbanas de média/alta densidade, todas elas alcançando extensões superiores a 1000 Km<sup>2</sup>.

Entretanto, tais dados já são conhecidos e disponíveis à população em geral através de órgãos públicos. O que nos interessa no presente trabalho é a relação que se constitui entre as áreas mensuradas em Superfície Planimétrica e a Superfície Modelada. A comparação entre estes dados é especialmente interessante em uma das coberturas mais extensas do estado, e ao mesmo tempo, de maior importância para sociedade, as florestas. Atingindo uma extensão de cobertura florestal de 12.728,6 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica, quando a mesma observação é realizada em Superfície Modelada este valor passa para 13.955,1 Km<sup>2</sup>, uma diferença absoluta de 1.226,5 Km<sup>2</sup>. Esta diferença absoluta merece destaque não só por ser a maior diferença absoluta de área entre todas as classes avaliadas, mas também pela grande importância que este tipo de cobertura possui para a sociedade em relação à conservação ambiental. Ao subestimarmos uma área de 1.226,5 Km<sup>2</sup> em planos de conservação de áreas florestais, a extensão aproximada de 170 mil campos de futebol, a quantidade de espécimes de fauna e flora que necessitam de cuidado devido à ameaça de extinção é muito grande. Estes números se tornam ainda mais importantes ao levar em conta que o estado do Rio de Janeiro possui a maior quantidade de espécimes em extinção por quilômetro quadrado em território nacional (0,004).

Por outro lado, avaliando as diferenças percentuais entre as áreas de Superfície Planimétrica e Superfície Modelada, a classe de afloramento rochoso é a que apresenta os maiores valores, com uma diferença percentual de 25,8%. Este resultado é esperado, uma vez que grande parte dos afloramentos rochosos no estado se localiza em paredões de rocha vertical, e conseqüentemente, com elevada declividade, o que afeta diretamente a mensuração de áreas em SP e SM. A classe que apresenta a segunda maior diferença percentual é a de Floresta, com um valor de aproximadamente 9,6%. Esta diferença elevada se explica pela localização dos remanescentes florestais do estado, em sua grande maioria localizados nas escarpas da Serra do Mar e nos Maciços Litorâneos, em regiões com declividade acentuada. Outra classe com grande diferença percentual entre as áreas em SP e SM é a de Reflorestamento ou Vegetação em Estágio Inicial, isto porque, estes fragmentos encontram-se muitas vezes associados a regiões de borda dos fragmentos florestais, estando então também localizados nas áreas de maior declividade.

As áreas de pastagem, que apresentam a maior cobertura de terra no mapeamento, também obtiveram uma diferença relativa considerável, alcançando um valor aproximado de 4,6%. Por outro lado, as regiões que apresentaram as menores diferenças relativas, todas inferiores a 1%, foram as de Agricultura, Água, Solo exposto/Salinas, e ocupações urbanas de

baixa densidade. Este fato pode ser explicado em parte devido à necessidade de algumas atividades desempenhadas nas áreas cobertas por estas classes serem associadas a regiões com declividades mais baixas, como é o caso da agricultura ou extração sal.

## **7.2 Cobertura da Terra no Estado do Rio de Janeiro em 2007**

Na figura 40 pode ser observado o mapeamento final de cobertura da terra para o estado do Rio de Janeiro em 2007 após a realização de todas as edições.

### Mapa de Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro em 2007

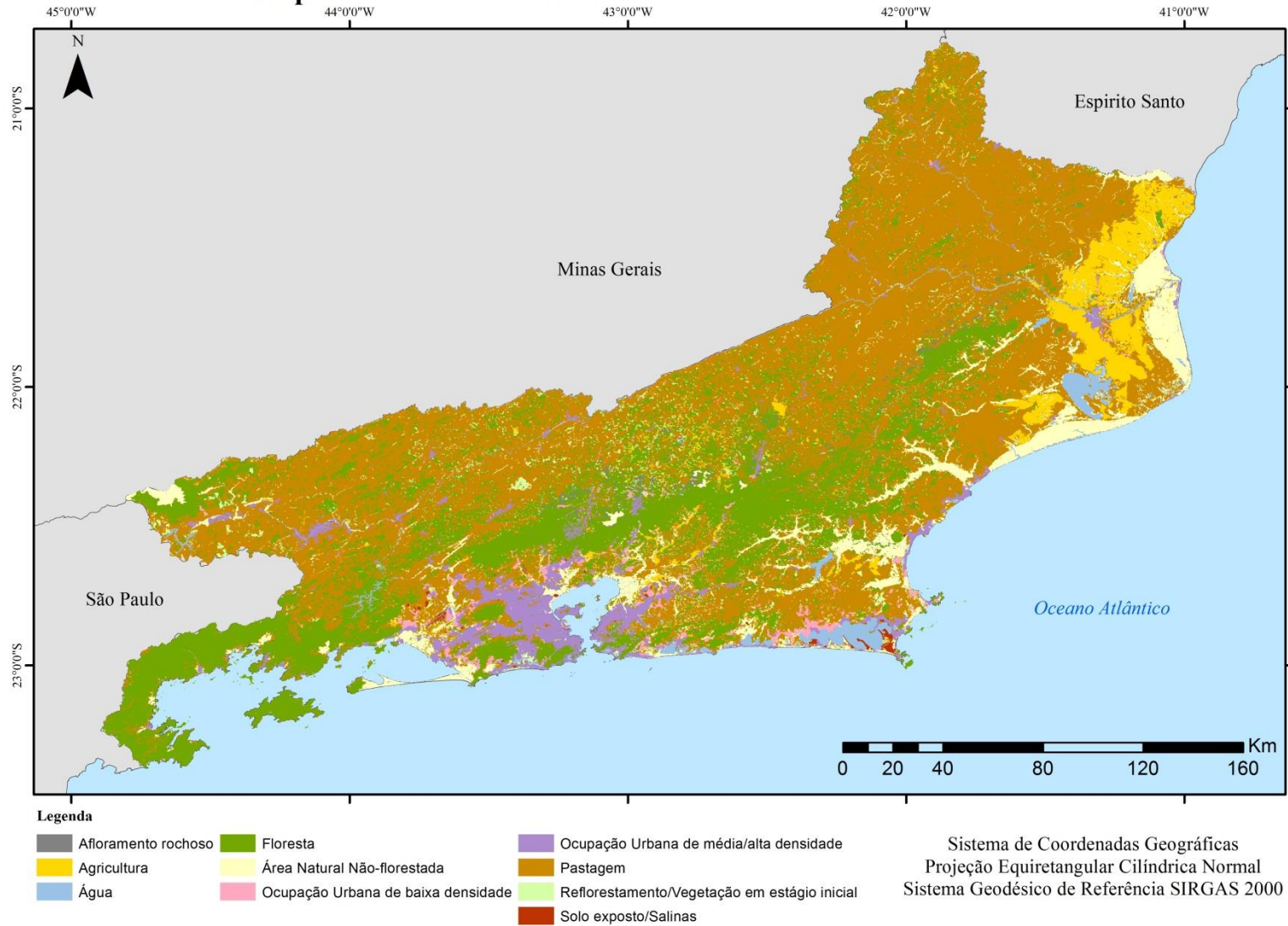


Figura 40 - Mapeamento final do estado do Rio de Janeiro de 2007 após as edições.



Em uma breve análise visual é possível perceber diferenças relativas às áreas de cobertura florestal, apresentando uma redução das áreas de floresta se comparado ao mapeamento de 1994, e uma maior dinâmica localizada na região nordeste do estado, com a redução das áreas de agricultura. Os valores das extensões de áreas para o mapeamento de 2007 podem ser observados na tabela abaixo.

Tabela 12 - Totais de área para cada uma das classes no mapeamento de 2007 em SP e SM.

<b>Classe (2007)</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença percentual (%)</b>
Afloramento Rochoso	250,9	315,6	64,7	25,8
Agricultura	2.053,6	2.068,3	14,7	0,7
Água	867,2	870,3	3,1	0,4
Floresta	11.310,8	12.428,2	1.117,4	9,9
Área Natural não-florestada	2.928,4	2.957,8	29,4	1,0
Ocupação urbana baixa de densidade	497,2	501,9	4,7	1,0
Ocupação urbana de média/alta densidade	1.809,1	1.831,5	22,5	1,2
Pastagem	23.012,5	24.104,3	1.091,8	4,7
Reflorestamento/Vegetação em estágio inicial	955,0	1.015,3	60,3	6,3
Solo exposto/Salinas	79,4	80,0	0,6	0,7

Os resultados apontam para uma continuidade das áreas de pastagem como classe com maior extensão no estado, seguido novamente das regiões de cobertura florestal. No entanto, podemos observar uma redução nas áreas de floresta, assim como, uma diminuição da diferença absoluta de áreas em SP e SM para estas áreas, possuindo agora um valor de 1.117,4 Km<sup>2</sup>. As áreas de pastagem, por outro lado, além de apresentarem uma maior extensão se comparadas ao mapeamento de 1994, apresentaram um incremento em sua diferença absoluta, possuindo agora um valor de 1.091,8 Km<sup>2</sup>.

Com relação à diferença percentual, houve um incremento na classe de Floresta, possuindo em 2007 um valor de 9,9%. Já a classe de Reflorestamento ou Vegetação em estágio inicial, apesar de apresentar uma redução de sua diferença percentual, agora de 6,3%,

apresentou um incremento na sua diferença absoluta entre as áreas de SP e SM, obtendo um valor próximo a 60,3 Km<sup>2</sup>.

### 7.3 Análise de dinâmica da paisagem entre os anos de 1994 e 2007

A análise de dinâmica da paisagem se configura como uma das mais importantes ferramentas dos estudos geocológicos, uma vez que ela é capaz de fornecer indicadores de como estão sendo estruturadas as modificações da paisagem de determinada região. Como forma de introduzir esta análise de dinâmica, os valores de área em Superfície Modelada para os anos de 1994 e 2007 podem ser comparados na tabela 13.

Tabela 13 - Diferença na extensão de área entre os anos de 1994 e 2007 em SM para cada uma das classes mapeadas.

Classe	Área 1994 (Km <sup>2</sup> )	Área 2007 (Km <sup>2</sup> )	Diferença absoluta (Km <sup>2</sup> )	Diferença percentual (%)
Afloramento rochoso	315,6	315,6	0	0
Agricultura	2.149,5	2.068,3	-81,2	-3,8
Água	870,3	870,3	0	0
Floresta	13.955,1	12.428,2	-1.526,9	-10,9
Área Natural não-florestada	3.071,5	2.957,8	-113,8	-3,7
Ocupação urbana de baixa densidade	437,4	501,9	64,5	14,7
Ocupação urbana de media/alta densidade	1.685,3	1.831,5	146,2	8,7
Pastagem	23.083,2	24.104,3	1.021,1	4,4
Reflorestamento/Vegetação em estágio inicial	548,3	1.015,3	467,1	85,2
Solo exposto/Salinas	57,0	80,0	23,0	40,4

Ao analisarmos a variação da extensão das classes de cobertura do solo no estado é possível perceber que o afloramento rochoso e água permaneceram inalterados ao longo dos anos de análise. Isto é explicado pelo pressuposto de que devido à escala adotada para o mapeamento e as regras de decisão tomadas para edição dos mapas, tais classes não deveriam apresentar modificações significativas.

Por outro lado, as classes de Agricultura, Floresta e Áreas Naturais não-florestadas foram as únicas classes a apresentarem uma redução em sua extensão. A redução de área ocupada pelas florestas e pelas áreas naturais não-florestadas indicam uma crescente pressão antrópica sobre estas regiões que apresentavam ainda uma cobertura natural, especialmente as regiões de floresta, que experimentaram uma redução de 10,9% de sua área. Já a redução do total de área agrícola no estado, mesmo que pequena (aproximadamente 80 Km<sup>2</sup>), pode ser o resultado de uma reorganização das atividades econômicas do Rio de Janeiro.

Dentre todas as classes avaliadas, a que apresentou maior dinâmica, tendo um aumento de aproximadamente 85% de sua área original, foram as regiões de Reflorestamento ou Vegetação em estágio inicial. Apesar de a princípio tal valor aparentar ser positivo em termos de manejo das áreas de interesse ambiental, é preciso certa cautela. Isto porque, tais resultados podem incluir áreas de desmatamento, tendo sido classificadas como floresta em 1994 e posteriormente como vegetação em estágio inicial em 2007. Este tipo de questão será melhor detalhada com o mapeamento da dinâmica da paisagem mais a frente.

Na figura 41 é apresentado o mapa de dinâmica da paisagem para o estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007.

### Dinâmica de cobertura da terra do estado do Rio de Janeiro 1994/2007

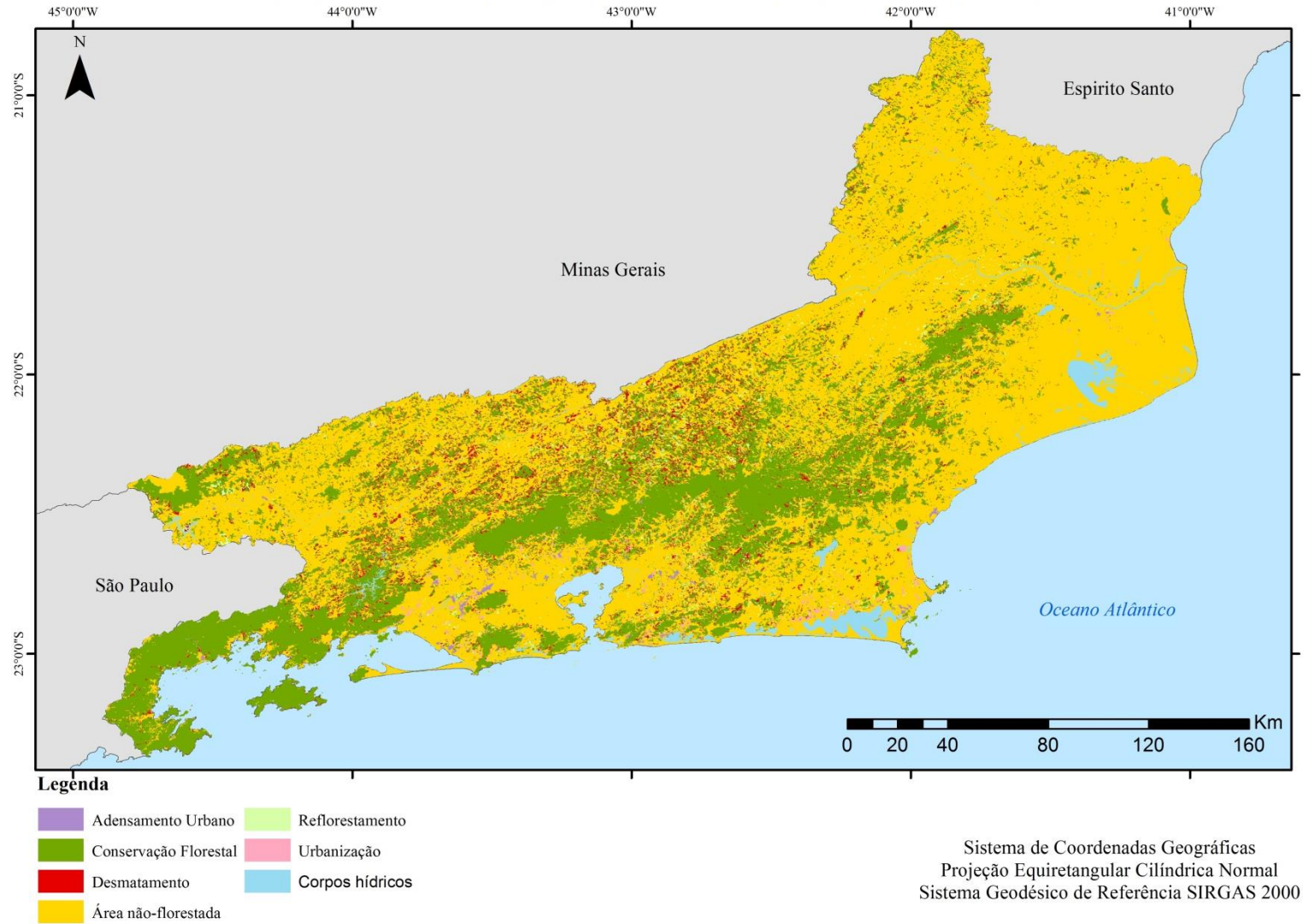


Figura 41 - Mapeamento de dinâmica da paisagem do estado do Rio de Janeiro.

É possível perceber a partir do mapeamento de dinâmica da paisagem um predomínio dos fragmentos florestais conservados ao longo do lineamento da Serra do Mar, na pequena porção da Serra da Mantiqueira que adentra o estado do Rio de Janeiro e nos maciços costeiros do estado. Por serem áreas marcadas pela grande irregularidade do relevo e elevadas declividades, estas regiões são candidatas a sofrerem um impacto considerável na mensuração de área em Superfície Modelada.

Outro aspecto importante é relativo às porções de desmatamento localizadas em sua maioria na região central do estado, o que faz com que estas áreas também sofram grande influência do relevo durante a realização de análises em Superfície Modelada.

Na tabela 14 podem ser observados os valores de área em Superfície Planimétrica e em Superfície Modelada para o mapeamento de dinâmica da paisagem.

Tabela 14 - Diferença de área em SP e SM para o mapeamento de dinâmica do Rio de Janeiro.

<b>Dinâmica</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença percentual (%)</b>
Adensamento urbano	145,1	146,2	1,1	0,8
Conservação	11.528,1	12.655,4	1.127,3	9,8
Desmatamento	1.647,4	1.768,5	121,0	7,3
Área não-florestada	28.881,1	30.005,1	1.124,0	3,8
Reflorestamento	514,5	545,8	31,2	6,1
Urbanização	182,0	182,0	0	0,0

As áreas não-florestadas ocupam a maior extensão de área no mapeamento de dinâmica da paisagem no Rio de Janeiro, atingindo uma extensão de 28.881,1 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica e 30.005,1 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada. Apesar da grande extensão de área desta classe, a sua diferença absoluta pode ser considerada baixa em relação a sua abrangência, atingindo 1.124 Km<sup>2</sup>, o que resulta em uma diferença relativa de 3,8%.

As áreas de conservação florestal, por outro lado, apresentam uma grande diferença percentual entre as mensurações em SP e SM, alcançando um valor próximo a 10% de diferença. Em termos absolutos, a diferença entre as mensurações em SP e SM corresponde a 1.127,3 Km<sup>2</sup>, um valor superior ao apresentado pela diferença das mensurações das Áreas não-florestadas, que representam a maior cobertura de terra do estado. Todavia, no caso das

áreas de conservação florestal, esta diferença absoluta torna-se expressiva, uma vez que a área total de abrangência desta classe é de 11.528,1 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica e 12.655,4 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, menos da metade da cobertura de área das Áreas não-florestadas.

Outra classe que merece especial atenção é a de desmatamento. Por esta classe estar associada às áreas de cobertura florestal do estado, localizadas em sua maioria nas regiões de elevada declividade, as áreas de desmatamento também apresentaram uma significativa diferença percentual, alcançando o valor de 7,3%. Em termos absolutos, esta classe apresentou uma extensão de área de 1.647,4 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica e 1.768,5 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, o que confere uma diferença de 121 Km<sup>2</sup>, a área aproximada de 17 mil campos de futebol. Ao adotar o uso da Superfície Planimétrica para verificação das áreas desmatadas no estado do Rio de Janeiro, uma grande área estará sendo subestimada, área esta que pode conter inúmeras espécies ameaçadas de extinção, configurando-se assim como uma região de elevado interesse ambiental.

Um destaque positivo desta análise pode ser dado à classe de reflorestamento, aqui sendo consideradas apenas as áreas que realmente apresentaram regeneração de mata, não considerando em nenhum caso regiões que eram floresta e tornaram-se vegetação em estágio inicial. Esta classe apresentou em Superfície Planimétrica uma área total de 514,5 Km<sup>2</sup>, e em Superfície Modelada 545,8 Km<sup>2</sup>. Esta diferença absoluta de 31,2 Km<sup>2</sup>, o equivalente a área de 4.400 campos de futebol, se deve ao fato de assim como as florestas, as regiões de regeneração estarem localizadas nas áreas de relevo mais acidentado. Essa característica foi responsável pela terceira maior diferença relativa no mapeamento da dinâmica da paisagem, alcançando um valor de 6,1%.

As classes de urbanização e adensamento urbano representaram as menores extensões de área no mapeamento de dinâmica. Indo além, estas classes também foram responsáveis pelas menores diferenças relativas entre as mensurações realizadas entre a SP e a SM, apresentando um valor de 1,1% para o adensamento urbano, e valores iguais de área em SP e SM para a classe de urbanização. Este resultado é explicado para a tendência de crescimento urbano ser orientada para as áreas planas do estado, e conseqüentemente, que possuem maior facilidade de ocupação.

Os resultados acima apresentados já fornecem bons indícios do impacto da consideração da Superfície Modelada em análises geoecológicas, assim como, sua implicação para estratégias de conservação, gestão e manejo de áreas em regiões de interesse ambiental.

No entanto, para aprofundar a análise das condições e estrutura do estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1994 e 2007, será apresentada a seguir uma avaliação da dinâmica considerando individualmente as regiões formadoras do estado.

### Região do Petróleo e Gás Natural

A região do Petróleo e Gás Natural, localizada no nordeste do estado, é marcada por uma das áreas que mais sofreu modificações nos últimos anos devido às atividades petrolíferas realizadas na Bacia de Campos. Esta atividade foi responsável por estabelecer uma nova dinâmica socioeconômica na região, atraindo muitos investimentos em infraestrutura. Na figura 42 pode ser observado em maior detalhe o mapeamento da dinâmica de cobertura da terra entre os anos de 1994 e 2007 para a Região do Petróleo e Gás.

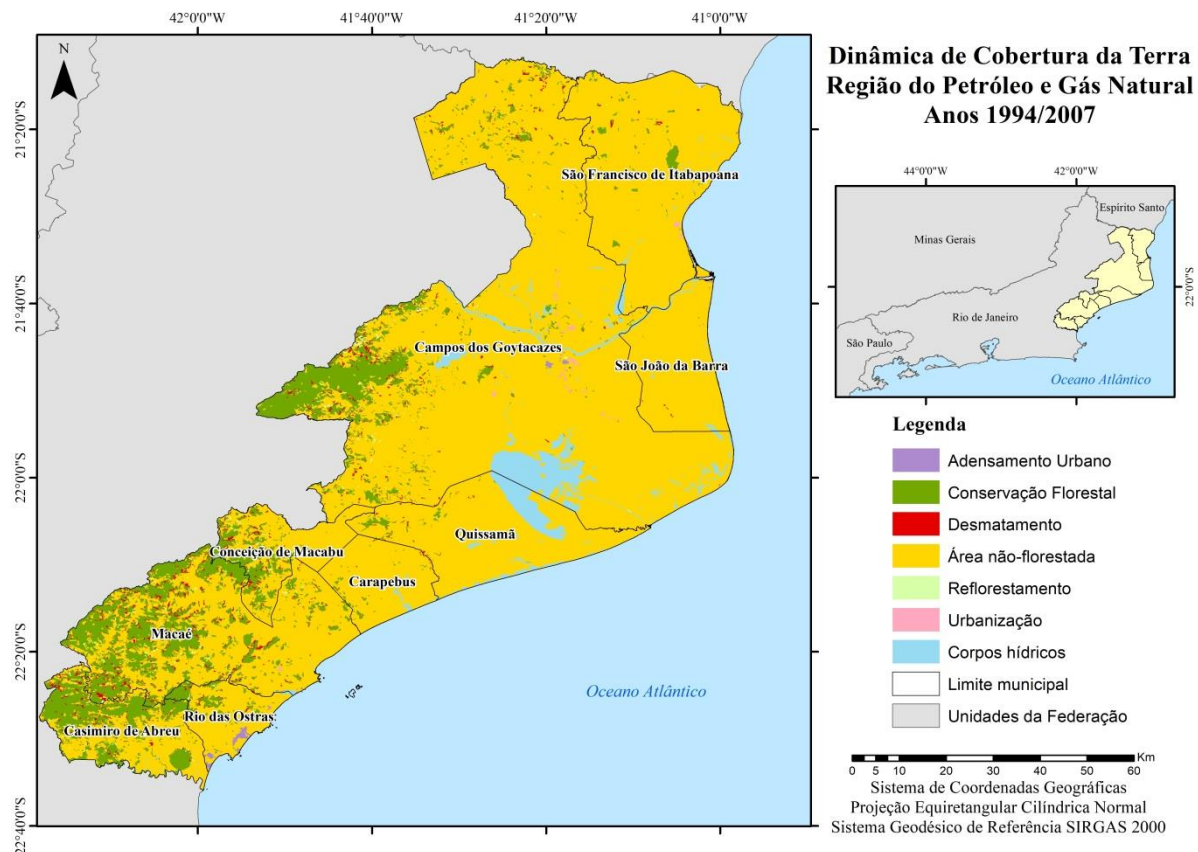


Figura 42 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para região do Petróleo e Gás Natural.

Pelo mapeamento é possível observar um predomínio de áreas não-florestadas na região, com pequenas manchas de conservação florestal a oeste e sudoeste, especialmente nos municípios de Casimiro de Abreu e Macaé. Destaca-se também o adensamento urbano presente em Rio das Ostras, um dos municípios que mais se beneficiou com os royalties do

petróleo, e a construção de infraestrutura para atender a mão-de-obra que foi atraída pela atividade petrolífera. Adensamento urbano e pequenas áreas de urbanização também podem ser observadas no município de Campos dos Goytacazes.

Na tabela 15 é possível observar os valores totais de área em SP e SM para cada uma das classes na região do Petróleo e Gás Natural.

Tabela 15 - Diferença entre as áreas em SP e SM para região do Petróleo e Gás Natural.

<b>Classe</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Adensamento Urbano	14,7	14,7	0,0	0
Conservação	1.078,6	1.199,4	120,8	11,2
Desmatamento	111,3	122,1	10,8	9,7
Área não-florestada	7.300,8	7.405,6	104,8	1,4
Reflorestamento	28,7	30,7	2,0	7,0
Urbanização	10,9	10,9	0,0	0

A partir dos valores absolutos de área, é possível verificar que as duas classes que apresentam maior extensão nesta região são a de áreas não-florestadas e as áreas de conservação florestal. Com relação à diferença absoluta entre as mensurações realizadas em Superfície Planimétrica e a Superfície Modelada, apesar de ser apenas a segunda maior classe no mapeamento, as áreas de conservação florestal apresentam os maiores valores, atingindo 120,8 Km<sup>2</sup> de diferença. Este valor é superior a diferença absoluta entre a mensuração para as áreas não-florestadas, maior classe da região, que atingiu 104,8 Km<sup>2</sup>. Os valores elevados da diferença entre as áreas calculadas em SP e SM são destacados pela grande diferença relativa de 11,2%, a maior entre todas as classes, e muito superior a diferença relativa das áreas não-florestadas, de 1,4%.

Merecem destaque também por sua diferença relativa entre as áreas em SP e SM as classes de Desmatamento e Reflorestamento, atingindo os valores de 9,7% e 7%, respectivamente. Isto significa uma subestimação de quase 11 Km<sup>2</sup> de área desmatada na região, o equivalente a 1600 campos de futebol.



Devido às atividades econômicas desenvolvidas na região e a constante necessidade de expansão da infraestrutura local, é importante que estes números de desmatamento sejam avaliados com cuidado e seus impactos corretamente mensurados. Os municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé, de grande importância para a atividade petrolífera, foram também os municípios com as maiores áreas desmatadas, atingindo valores em Superfície Modelada de 37 Km<sup>2</sup> e 50 Km<sup>2</sup>, respectivamente. Isto se torna ainda mais preocupante ao considerarmos que as áreas desmatadas tendem a estar localizadas em regiões com o relevo mais acidentado, potencializando as diferenças entre a Superfície Planimétrica e a Superfície Modelada, e gerando maiores subestimações de área de acordo com a metodologia adotada.

### **Região Urbano-Industrial**

A região Urbano-Industrial configura-se como a região de maior densidade populacional do estado, e conseqüentemente, uma das áreas com maior potencial de pressão antrópica sobre as áreas naturais. Devido a sua capacidade de atração populacional pelo desenvolvimento econômico, esta região apresenta também um dos maiores índices de crescimento populacional, o que acarreta um crescimento urbano muitas vezes desordenado através da ocupação de encostas. Na figura 43 pode ser observado o mapeamento de dinâmica da paisagem para a região Urbano-Industrial.

**Dinâmica de Cobertura da Terra  
Região Urbano-Industrial  
Anos 1994/2007**

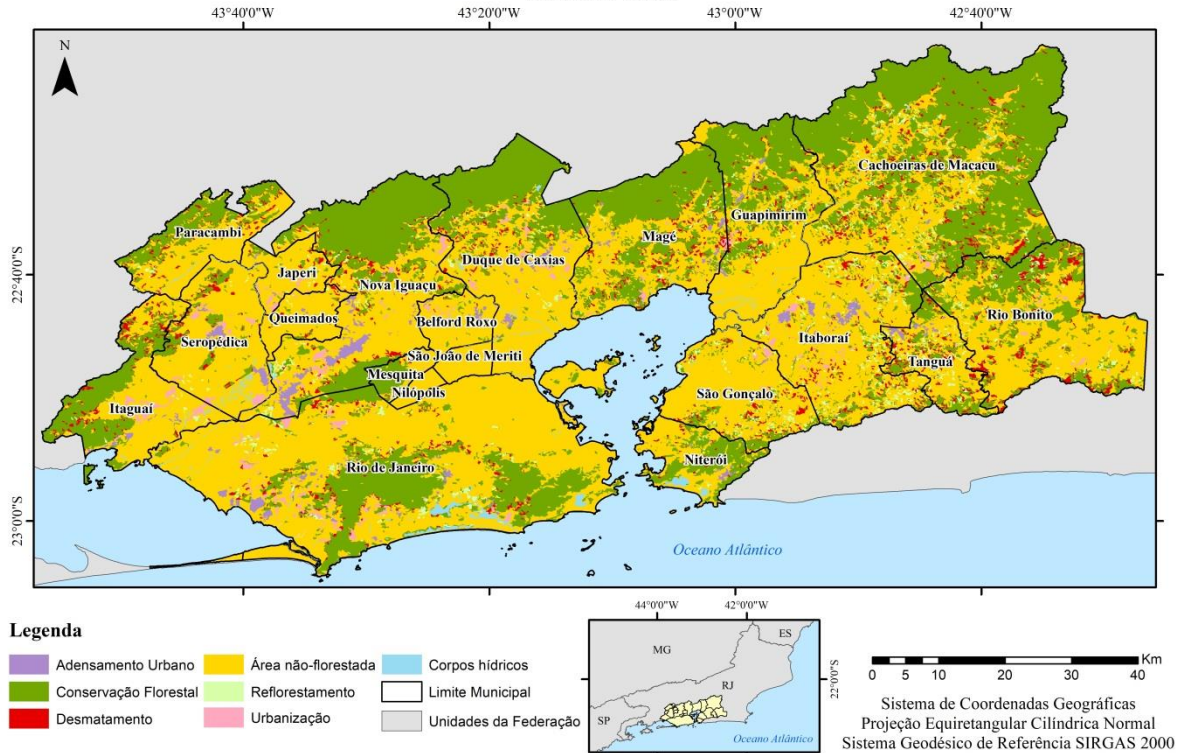


Figura 43 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a região Urbano-Industrial do estado do RJ.

É possível observar através do mapeamento uma maior concentração das áreas de conservação florestal nos municípios localizados no sopé da Serra do Mar, assim como, nos maciços costeiros da região. É notável também o acelerado adensamento urbano que ocorreu nos municípios de Nova Iguaçu, Seropédica, Duque de Caxias e Itaboraí.

Na tabela 16 podem ser observados os valores de área em SP e SM para toda a região Urbano-Industrial, assim como sua diferença absoluta e relativa.

Tabela 16 - Diferença entre as áreas em SP e SM para região Urbano-Industrial.

Classe	Área Planimétrica (Km <sup>2</sup> )	Área Modelada (Km <sup>2</sup> )	Diferença Absoluta (Km <sup>2</sup> )	Diferença Relativa (%)
Adensamento Urbano	82,3	82,7	0,4	0,5
Conservação	2.147,4	2.365,9	218,5	10,2
Desmatamento	216,2	227,2	11,0	5,1
Área não-florestada	3.679,6	3.750,3	70,7	1,9
Reflorestamento	114,1	117,1	3,0	2,7
Urbanização	83,7	84,3	0,7	0,8

As áreas não-florestas apresentam a maior extensão de cobertura da terra na região, seguidas pelas áreas de conservação florestal e desmatamento. No entanto, ao compararmos a diferença absoluta entre as classes, as áreas de conservação florestal novamente apresentam os maiores valores, chegando a atingir uma diferença de 218,5 Km<sup>2</sup> nesta região. Uma diferença muito maior do que a apresentada pela classe de maior extensão, a de áreas não-florestadas, que possui uma diferença de 70,7 Km<sup>2</sup>.

Merece destaque também o impacto da consideração da Superfície Modelada nas áreas de desmatamento. Possuindo uma diferença relativa de 5,1%, ao considerarmos a Superfície Modelada para mensuração das áreas desmatadas, ocorre um incremento de área de 11 Km<sup>2</sup>, uma área próxima de 1600 campos de futebol.

Dentre os municípios pertencentes a esta região, Cachoeira de Macacu se destaca por sua grande extensão de cobertura florestal, possuindo a maior área de conservação na região Urbano-Industrial. Ao todo, as áreas de conservação atingem 658 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada. Entretanto, é importante destacar também que o mesmo município apresentou os maiores valores de área desmatada, possuindo um total de 40,8 Km<sup>2</sup> de desmatamento em Superfície Modelada. Por ainda possuir uma grande extensão de mata Atlântica preservada, e estar localizada na margem sul da Serra do Mar, com maior susceptibilidade a influência do uso da Superfície Modelada, o município de Cachoeira de Macacu merece grande atenção em suas estratégias de conservação das áreas de interesse ambiental.

Localizado próximo ao município de Cachoeira de Macacu, o município de Itaboraí foi um dos que apresentou grande dinâmica em sua paisagem, com expressivo adensamento

urbano dentro de seus limites. Este adensamento urbano, que atingiu 11,5 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, pode ter sido impulsionado pela preparação inicial da construção do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ). Todavia, devemos destacar a presença de as grandes áreas de reflorestamento presentes no município de Itaboraí. Tais áreas alcançam uma extensão de 20,8 Km<sup>2</sup>, ultrapassando inclusive a extensão das áreas de adensamento urbano. O grande reflorestamento experimentado na região é importante uma vez que pode reduzir os danos ambientais causados pela pressão antrópica exercida pela instalação do COMPERJ.

O município de Nova Iguaçu, um dos municípios de maior importância da região por sua importância econômica e concentração populacional, apresentou a maior área de adensamento urbano, com valores absolutos de 22,3 Km<sup>2</sup>. Este mesmo município também experimentou uma urbanização de 9 Km<sup>2</sup>. O crescimento de Nova Iguaçu é de grande importância uma vez que sua área de conservação ainda é uma das maiores da região, alcançando a extensão de 249 Km<sup>2</sup>. No entanto, a pressão antrópica exercida pelo seu crescimento populacional foi responsável pelo desmatamento de 16,6 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, uma área 4,7% maior do que se tal mensuração fosse realizada em Superfície Planimétrica.

As áreas de desmatamento também merecem atenção no município do Rio de Janeiro. Devido a sua grande capacidade de atração populacional e o alto custo imobiliário, a ocupação da cidade muitas vezes ocorre de forma desordenada e orientada em direção as encostas pertencentes aos maciços costeiros da cidade. O total de área desmatada no município entre os anos de 1994 e 2007 foi de 22,4 Km<sup>2</sup>, uma área 5,4% maior do que a área mensurada em Superfície Planimétrica.

### **Região Turística dos Lagos Fluminenses**

A região turística dos lagos fluminenses, devido ao desenvolvimento demandado pela atividade turística da região, sofreu grandes alterações em sua estrutura urbana nos últimos anos. Esta característica marcante pode ser observada no mapa de dinâmica da região na figura 44.

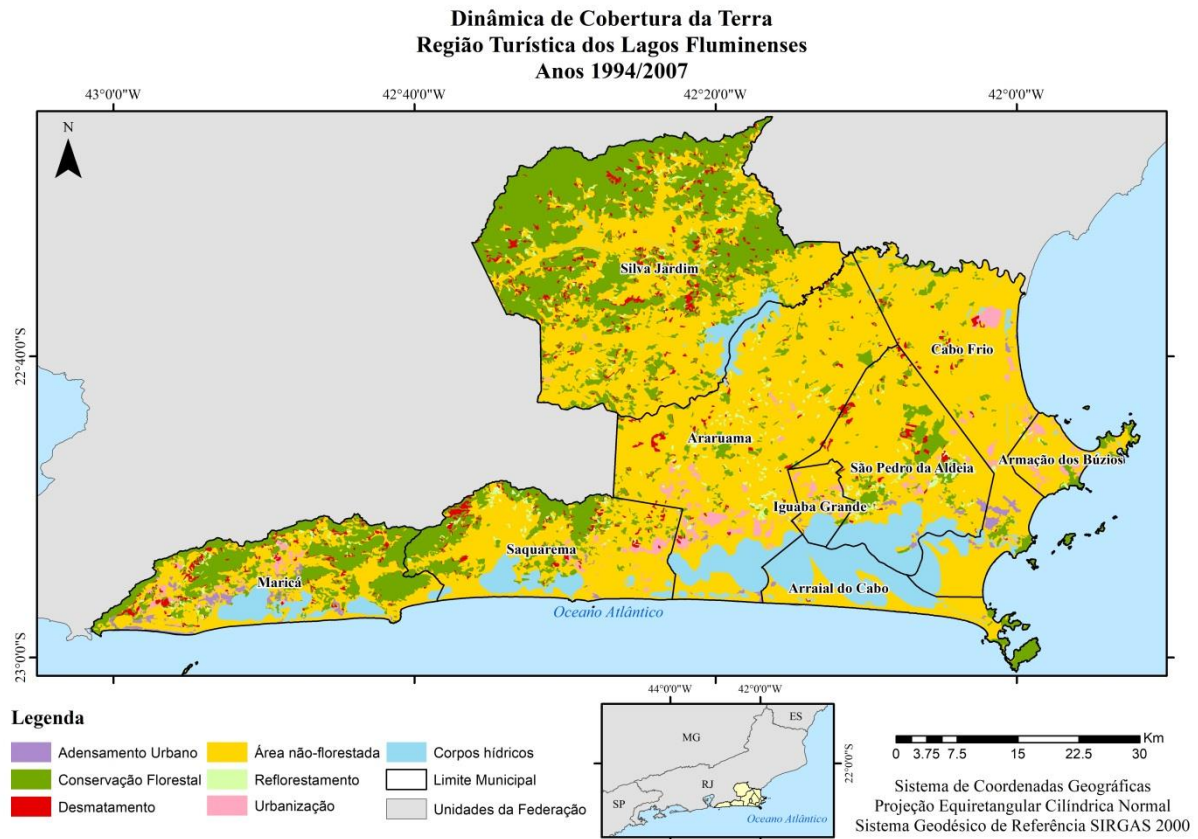


Figura 44 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Turística dos Lagos Fluminenses.

No mapa é possível observar diversos fragmentos de urbanização nos municípios de Araruama e Cabo Frio, assim como, uma área de adensamento urbano neste último e também em Maricá. Pode-se destacar também grandes áreas de desmatamento em Silva Jardim, São Pedro da Aldeia, Saquarema e Maricá. Na tabela 17 são apresentados os valores totais de área para a região turística dos lagos fluminenses em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada.

Tabela 17 - Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Turística dos Lagos Fluminense.

Classe	Área Planimétrica (Km <sup>2</sup> )	Área Modelada (Km <sup>2</sup> )	Diferença Absoluta (Km <sup>2</sup> )	Diferença Relativa (%)
Adensamento Urbano	26,5	26,6	0,1	0,4
Conservação	767,9	834,9	66,9	8,7
Desmatamento	80,6	84,6	4,0	4,9
Área não-florestada	1.988,2	2.009,5	21,3	1,1
Reflorestamento	46,8	47,8	1,1	2,3
Urbanização	65,6	65,9	0,3	0,4

Novamente a classe que apresentou a maior diferença absoluta entre os mapeamentos em SP e SM foi a de conservação florestal, atingindo o valor de 66,9 Km<sup>2</sup>, o que representa uma diferença percentual de 8,7% entre as mensurações. A segunda maior diferença percentual foi encontrada na classe de desmatamento, com o valor de 4,9%, o traduz uma diferença absoluta de 4 Km<sup>2</sup>.

Nesta região destaca-se o município de Silva Jardim, que apresentou os maiores valores de conservação florestal, com um total de 480 Km<sup>2</sup> de área em Superfície Modelada. Por ser o município que possui a maior cobertura de florestas, Silva Jardim também apresentou os maiores valores de área desmatada, atingindo um total de aproximadamente 40 Km<sup>2</sup> de área em Superfície Modelada.

### **Região Serrana de Economia Diversificada**

A região serrana de economia diversificada caracteriza-se por seus grandes remanescentes de mata atlântica, biodiversidade, e importância para preservação ambiental no estado. Mas ao mesmo tempo, por possuir municípios com grandes contingentes populacionais e uma economia diversificada, também é marcada por uma elevada pressão antrópica sobre o meio ambiente. Nesta região também é notável a expansão urbana localizada em encostas e fundos de vale, fato que resultou em inúmeros episódios associados a chuvas intensas deflagrando movimentos de massas e enchentes, muitas vezes fatais.

Na figura 45 pode ser observado o mapeamento de dinâmica da paisagem para a região serrana de economia diversificada.

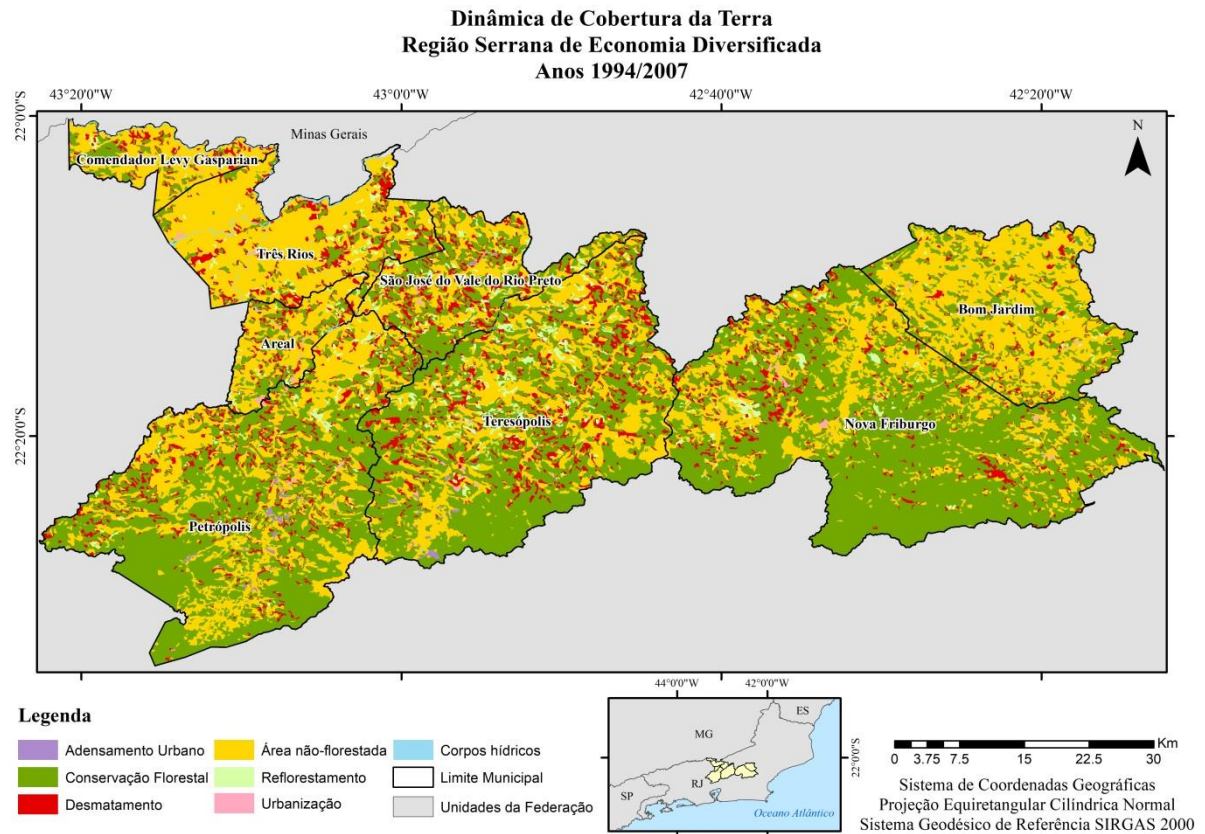


Figura 45 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Serrana de Economia Diversificada.

Ao observar o mapa de dinâmica da paisagem é marcante a existência de grandes áreas de preservação florestal nos municípios pertencentes à região, especialmente em Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo. No entanto, destacam-se também as áreas de desmatamento muito presentes em todos os municípios, assim como, pequenos focos de urbanização e adensamento urbano.

Os valores de área provenientes do mapeamento de dinâmica da paisagem para região serrana de economia diversificada podem ser encontrados na tabela 18.

Tabela 18 - Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Serrana de Economia Diversificada.

<b>Classe</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Adensamento Urbano	7,7	8,0	0,4	5,2
Conservação	1.769,1	1.951,7	182,5	10,3
Desmatamento	310,2	336,6	26,4	8,5
Área não-florestada	1.452,9	1.588,7	135,9	9,4
Reflorestamento	83,8	91,1	7,4	8,8
Urbanização	11,9	12,6	0,6	5,4

O impacto da consideração da Superfície Modelada para métrica de áreas fica claro nesta região, onde é possível observar uma elevada diferença relativa entre a área mensurada em SP e SM em todas as classes de dinâmica da paisagem. Classes como Adensamento urbano e Urbanização, que em outras regiões apresentaram uma diferença percentual de zero ou próxima à zero, nesta região obtiveram valores de 5,2% e 5,4%, respectivamente.

Estes valores destacam não só a importância de considerarmos o uso da Superfície Modelada nas análises realizadas, mas também indica a natureza do crescimento urbano nestes municípios, ocupando áreas com declividades acentuadas e com potencial risco de desastres associados a eventos extremos.

Todavia, é importante destacar também a grande extensão de áreas de conservação florestal desta região, atingindo um total de 1951,7 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, uma área 182,5 Km<sup>2</sup> maior do que se considerada a extensão em Superfície Planimétrica. Tal extensão configura a classe de conservação florestal como a de maior cobertura da terra na região, superando inclusive as áreas não-florestadas. Entretanto, também deve ser salientado o número expressivo atingido pelas áreas desmatadas na região, estimada em aproximadamente 336 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, e 310 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica. A utilização da Superfície Planimétrica significa a subestimação de uma área de aproximadamente 3700 campos de futebol, uma diferença relativa de 8,5%.

Dentre os municípios da região, Nova Friburgo se destaca como município de maior área de conservação florestal, com 691,3 Km<sup>2</sup> de área preservada em Superfície Modelada. Este município é seguido por Petrópolis e Teresópolis, apresentando 490 Km<sup>2</sup> e 441 Km<sup>2</sup> de



áreas de preservação em Superfície Modelada, respectivamente. Por outro lado, o município de Petrópolis apresentou os maiores valores de desmatamento, atingindo um total de 67 Km<sup>2</sup> de área desmatada em Superfície Modelada, seguido pelos municípios de Teresópolis e Nova Friburgo, com 93 Km<sup>2</sup> e 60 Km<sup>2</sup> de áreas de floresta desmatada, respectivamente.

Outro município que se destaca em relação às áreas de desmatamento é o de Três Rios, que apresentou um total de 37 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada de florestas desmatadas. Um número que pode ser considerado alto se comparado ao total de área preservada do município, que atinge apenas 48 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada.

Estes números confirmam não só o grande potencial da região para preservação da integridade ambiental do bioma mata atlântica, que ainda apresenta grandes extensões de área nesta região, mas também aponta as diversas pressões antrópicas sobre o meio ambiente na região. Fato que deve ser levado em conta na elaboração de estratégias para preservação do meio ambiente local pelos órgãos governamentais responsáveis.

### **Região Turística da Costa Verde**

A região turística da Costa Verde, mesmo possuindo apenas três municípios, consiste em uma das maiores áreas contínuas de preservação de mata atlântica do estado. No entanto, apesar de possuir grandes áreas de mata atlântica praticamente intacta, especialmente no município de Paraty, esta região passou por uma crescente de desenvolvimentos inicialmente impulsionados pela atividade portuária, a abertura de uma rodovia de ligação para São Paulo, e posteriormente as atividades ligadas ao turismo, que fizeram aumentar a pressão antrópica sobre o ecossistema local. Na figura 46 pode ser observado o mapa de dinâmica da paisagem para a Região Turística da Costa verde.

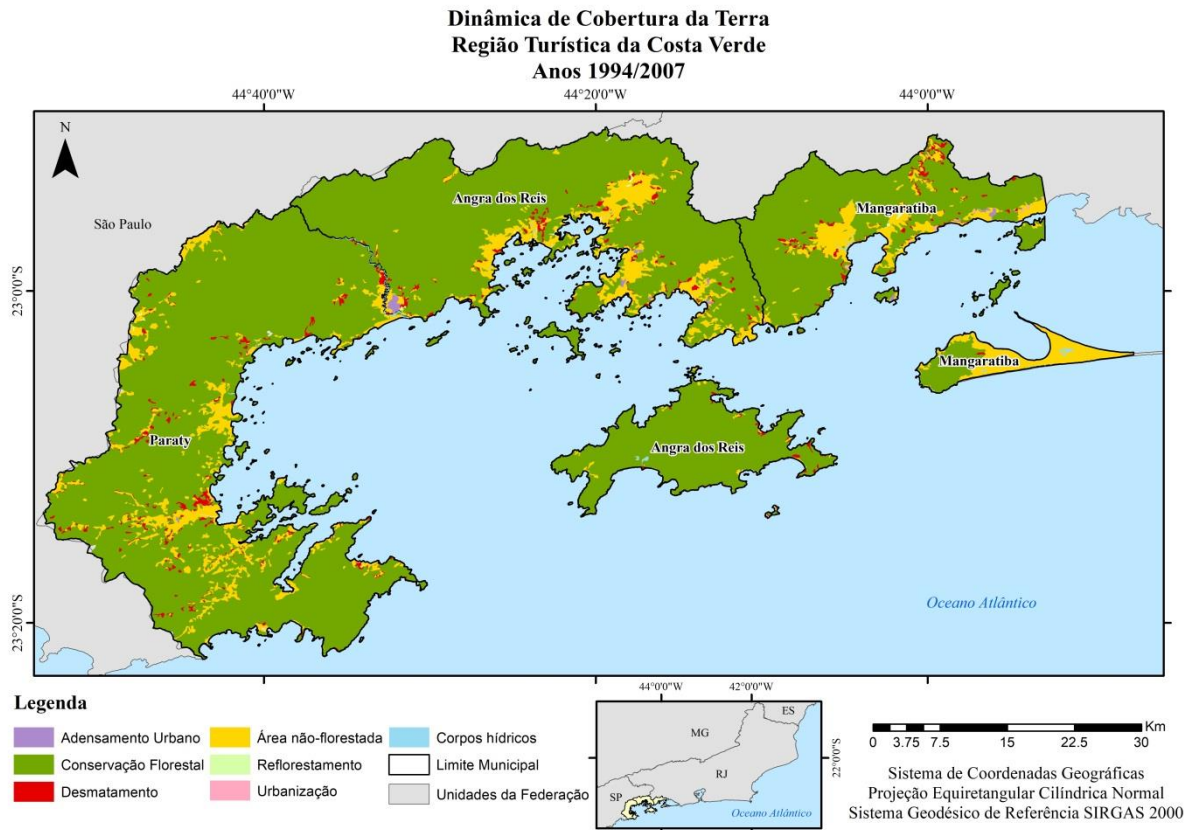


Figura 46 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Turística da Costa Verde.

É possível observar no mapeamento o amplo predomínio de áreas de conservação floresta nos três municípios pertencentes à região, com manchas de áreas não-florestadas aparecendo em grande parte junto a costa. Focos de desmatamento podem ser observados aparecendo próximo às regiões não-florestas indicando um aumento da pressão antrópica sobre as áreas remanescentes de mata Atlântica, assim como, é possível observar trechos de adensamento urbano especialmente no município de Angra dos Reis.

Na tabela a seguir são apresentados os valores totais de área em SP e SM para toda a região turística da Costa Verde.

Tabela 19 - Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Turística da Costa Verde.

<b>Classe</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Adensamento Urbano	4,6	4,7	0,1	1,8
Conservação	1.788,6	1.980,5	191,9	10,7
Desmatamento	38,9	41,2	2,3	5,9
Área não- florestada	249,2	259,3	10,2	4,1
Reflorestamento	1,6	1,7	0,1	4,8
Urbanização	1,4	1,4	0,0	0

O predomínio de áreas de conservação florestal fica evidente ao observar os totais de área das classes de dinâmica da paisagem. Apresentando uma cobertura de 1980,5 Km<sup>2</sup> de área em Superfície Modelada, 191,9 Km<sup>2</sup> a mais do que se mensurada em Superfície Planimétrica, as áreas de conservação florestal se apresentam muito mais extensas do que as áreas não-florestadas, segunda maior classe da região, que atinge apenas 259,3 Km<sup>2</sup> de extensão em Superfície Modelada, e 249,2 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica.

A diferença absoluta de área florestada nesta região, ocupando uma extensão de aproximadamente 27 mil campos de futebol, se aproxima da extensão de área da segunda maior classe na região. Estes números indicam a importância da consideração da Superfície Modelada para traçar estratégias de conservação da Mata Atlântica na região, uma vez que o uso da Superfície Planimétrica estará subestimando porções significativas de área vegetada.

O município de Paraty apresenta os maiores valores absolutos de área de conservação floresta, atingindo 888 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada de área preservada. Seguindo Paraty, Angra dos Reis apresenta a segunda maior área de conservação da região turística da Costa Verde, possuindo 785 Km<sup>2</sup> de área em Superfície Modelada. No entanto, estes dois municípios obtiveram também 17,8 Km<sup>2</sup> e 14,3 Km<sup>2</sup> de área em Superfície Modelada que foi desmatada entre os anos de 1994 e 2007. Destaca-se também o crescente desenvolvimento ocorrido na região de Angra dos Reis, que resultou em um adensamento urbano de 3 Km<sup>2</sup>, o mais expressivo em toda região.

As avaliações de dinâmica da paisagem na região indicam que apesar de as áreas de conservação florestal na região se apresentarem em grande extensão por toda região, o crescente desenvolvimento das atividades econômicas nos municípios vem aumentando a

pressão antrópica sobre as áreas de mata atlântica. Por representar um grande foco de interesse ambiental para conservação da Mata Atlântica, e sendo uma região altamente suscetível aos impactos da consideração da Superfície Modelada devido a seu relevo acidentado, esta região demanda grande atenção na elaboração de planos para preservação da biodiversidade.

### Região Industrial do Médio Paraíba

A região Industrial do Médio Paraíba, historicamente ligada ao cultivo do Café, e agora possuindo sua economia mais voltada para o setor industrial, especialmente nos setores metalomecânicos e automobilístico, representa uma das regiões mais marcantes em relação ao impacto da pressão antrópica sobre o meio ambiente. Tendo sua cobertura inicial de mata atlântica praticamente devastada pelo ciclo do café, as atividades industriais também foram responsáveis pela poluição e alterações de vazão do rio Paraíba do Sul e seus tributários na região.

Na figura 47 pode ser observado o mapa de dinâmica da paisagem para região entre os anos de 1994 e 2007.

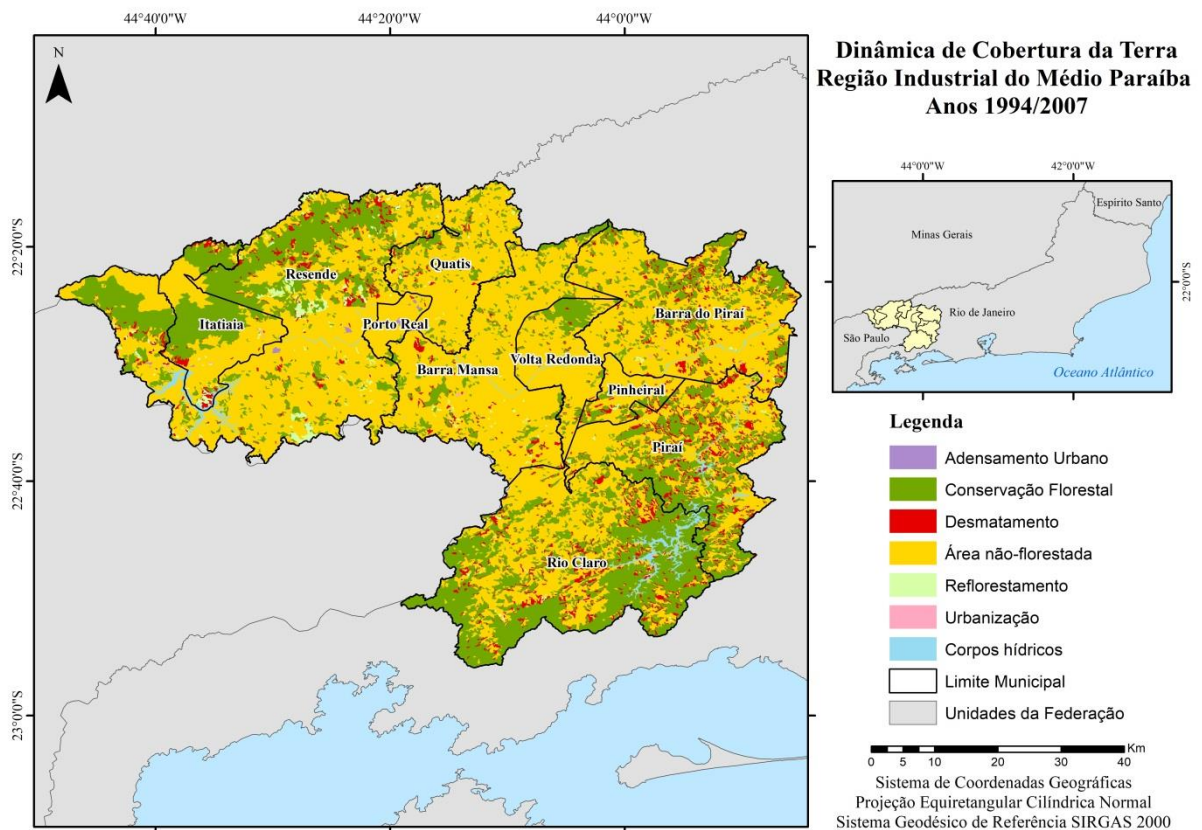


Figura 47 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Industrial do Médio Paraíba.

Apesar das pressões antrópicas atuantes na região, ainda é possível encontrar grandes manchas de fragmentos florestais nos municípios de Rio Claro, Piraí, e especialmente em Itatiaia e Resende, favorecidos pela presença do Parque Nacional de Itatiaia, localizado nos domínios da Serra da Mantiqueira.

Na tabela 20 é possível observar os totais de área em SP e SM para a Região Industrial do Médio Paraíba.

Tabela 20 - Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Industrial do Médio Paraíba.

<b>Classe</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Adensamento Urbano	4,8	4,8	0	0
Conservação	1.346,9	1.454,9	108,0	8,0
Desmatamento	228,6	243,0	14,4	6,3
Área não-florestada	2.702,5	2.841,8	139,3	5,2
Reflorestamento	48,4	50,8	2,4	4,9
Urbanização	2,9	3,0	0,1	2,2

Nesta região é possível perceber um predomínio de extensão da classe de áreas não-florestadas, alcançando um valor de 2841,8 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada e 2702,5 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica. Este valor representa uma diferença percentual de 5,2% entre as duas mensurações, o que se traduz em uma diferença absoluta de 139,3 Km<sup>2</sup>.

A segunda maior classe, de conservação florestal, apresenta uma cobertura de 1454,9 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, um valor 108 Km<sup>2</sup> maior do que se for considerada sua Superfície Planimétrica, representando uma diferença de área 8% entre as duas mensurações. Destaca-se também a grande área desmatada na região, atingindo um total de 243 Km<sup>2</sup> de florestas desmatadas em Superfície Modelada, área 14,4 Km<sup>2</sup> maior que a mensuração realizada em Superfície Planimétrica.

O município com maior extensão de área de preservação florestal é o de Rio Claro, com um total de 468,5 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada de área conservada. Este valor é seguido pelo total de área conservada em Resende, atingindo uma extensão de 360 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada. Entretanto, esta região apresenta também elevados valores de extensão de área

desmatada, destacando-se os municípios de Rio Claro (63 Km<sup>2</sup>), Piraí (56,8 Km<sup>2</sup>) e Resende (41,7 Km<sup>2</sup>).

### Região Turístico-Cultural do Médio-Paraíba

Assim como a região industrial do médio paraíba, a região turístico-cultural do médio paraíba também fazia parte das áreas utilizadas durante o ciclo do café, o que contribuiu para o desmatamento das porções de mata atlântica da região. Atualmente, apresentando práticas econômicas mais voltadas para agropecuária e turismo rural, os fragmentos de mata atlântica continuam sofrendo com a crescente pressão antrópica e o desmatamento encontra-se difundido por toda a região.

Na figura 48 pode ser observado o mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Turístico-Cultural do Médio-Paraíba.

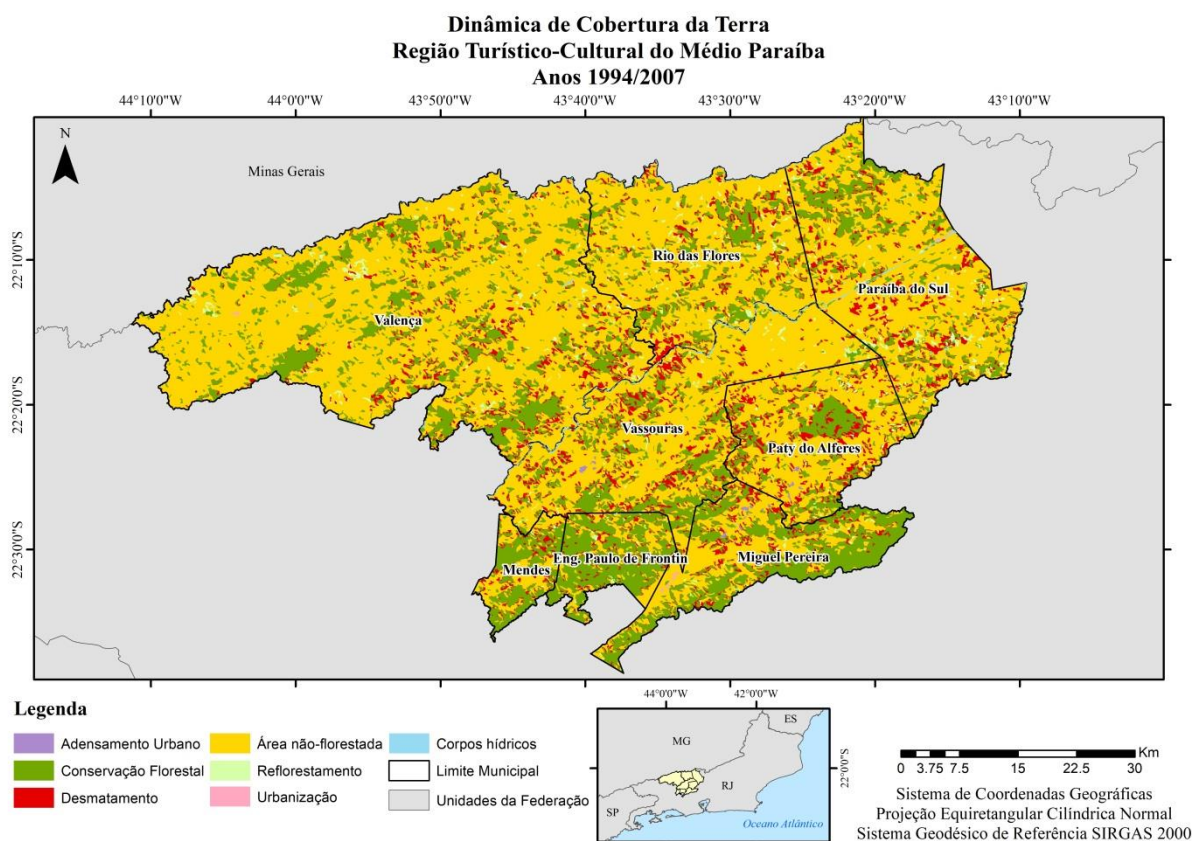


Figura 48 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Turístico-Cultura do Médio-Paraíba.

No mapeamento é possível observar os fragmentos florestais de maior extensão ao sul da região, principalmente nos municípios de Mendes, Engenheiro Paulo de Frotin e parte de Miguel Pereira. Os focos de desmatamento, por outro lado, apresentam-se mais concentrados

na porção central, destacando-se os municípios de Vassouras, Paty de Alferes, Paraíba do Sul e Rio das Flores.

Na tabela 21 podem ser observados os valores totais de área em SP e SM para dinâmica da paisagem na Região Turístico-Cultural do Médio-Paraíba.

Tabela 21 - Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Turístico-Cultural do Médio Paraíba.

<b>Classe</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Adensamento Urbano	3,1	3,2	0,1	2,6
Conservação	908,3	976,9	68,6	7,6
Desmatamento	304,5	324,1	19,7	6,5
Área não-florestada	2.435,2	2.569,4	134,2	5,5
Reflorestamento	53,7	57,2	3,4	6,4
Urbanização	1,9	2,0	0,0	0

Destaca-se nesta região a ampla cobertura de áreas não-florestadas, atingindo o valor de 2435,2 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica e 2569,4 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, uma diferença percentual de 5,5% entre estas mensurações. As áreas de conservação, por outro lado, apresentam um total de 976, 9 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, valor 68,6 Km<sup>2</sup> maior do que em Superfície Planimétrica.

Todavia, uma classe que merece especial atenção nesta região é a de desmatamento, que atingindo o valor de 324,1 Km<sup>2</sup> de área desmatada, representa aproximadamente um terço do total da área de conservação florestal da região. Este valor se torna ainda mais expressivo ao ser relacionado com a diferença para mensuração realizada em Superfície Planimétrica, aproximadamente 20 Km<sup>2</sup> a menos, representando uma diferença de 6,5%. Em uma região que está suscetível a elevada pressão antrópica e um acelerado desmatamento, a consideração da Superfície Modelada para elaboração de estratégias para conservação dos fragmentos florestais se torna fundamental.

Na região, por possuir a maior área dentre os municípios pertencentes, Valença se destaca possuindo a maior extensão de áreas de conservação florestal, com um total de 281 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada de área preservada, e 75,8 Km<sup>2</sup> de área em Superfície



Modelada de desmatamento florestal. Destaca-se também por seu acelerado desmatamento o município de Paty de Alferes, que possuindo apenas 71 Km<sup>2</sup> de área em Superfície Modelada de conservação florestal, desmatou uma região de aproximadamente 49 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada.

### Região Serrana de Economia Agropecuária

A região Serrana de Economia Agropecuária, também pertencente no passado ao ciclo do café, apresenta quase sua totalidade da mata atlântica original devastada, com exceção de alguns fragmentos protegidos por Unidades de Conservação, como por exemplo, o Parque Estadual do Desengano. Com o fim do ciclo do café, esta região tornou-se estagnada, dependendo de pequenas produções agropecuárias, mas que devido a seu baixo dinamismo, possibilitou a regeneração de mata em diversas localidades e apresenta agora fragmentos de vegetação secundária.

Na figura 49 é apresentado o mapa de dinâmica da paisagem para a região Serrana de Economia Agropecuária.

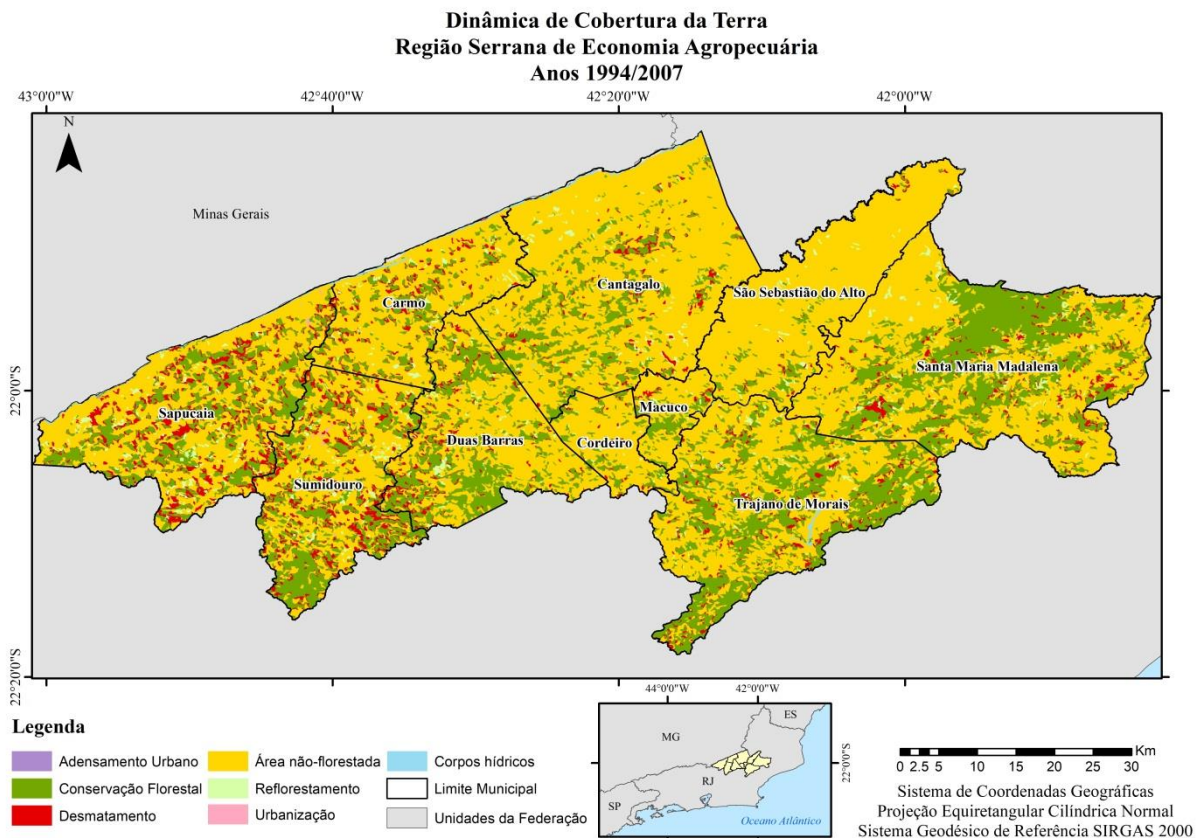


Figura 49 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Serrana de Economia Agropecuária.



A partir do mapeamento é possível perceber um predomínio das áreas não-florestadas na região, com manchas significativas de áreas florestadas nos municípios de Santa Maria Madalena e Trajano de Moraes. Destaca-se também os grandes focos de desmatamento presentes nos municípios de Sapucaia e Sumidouro.

Na tabela a seguir são apresentados os valores absolutos de área em SP e SM para a região serrana de economia agropecuária.

Tabela 22 - Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Serrana de Economia Agropecuária.

<b>Classe</b>	<b>Área Planimétrica (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Adensamento Urbano	0,1	0,1	0,0	0
Conservação	1.145,1	1.263,4	118,3	10,3
Desmatamento	246,9	269,5	22,6	9,2
Área não-florestada	2.884,2	3.086,1	201,9	7,0
Reflorestamento	81,1	88,0	6,8	8,4
Urbanização	1,6	1,6	0,1	4,7

Estando inserida quase em sua totalidade no domínio da Serra dos Órgãos, esta região apresenta um relevo fortemente ondulado, o que impacta diretamente nas diferenças de mensuração entre a Superfície Planimétrica e a Superfície Modelada. Isto fica evidente ao observar a diferença relativa entre as classes mapeadas. Excluindo-se as regiões de urbanização e adensamento urbano, geralmente localizadas em áreas mais planas devido à facilidade de ocupação, todas as outras classes apresentaram uma diferença relativa superior a 7%, chegando até um total de 10,3% de diferença para a classe de conservação florestal.

Na região há um predomínio das áreas não-florestadas, apresentando um valor total de área de 3086,1 Km<sup>2</sup> de extensão em Superfície Modelada, uma área 201,9 Km<sup>2</sup> maior do que se considerarmos a Superfície Planimétrica. Todavia, as classes que mais chamam atenção são as de Conservação florestal, que ao ser mensurada considerando a Superfície Modelada, atinge uma extensão de área 118,3 Km<sup>2</sup> maior do que em Superfície Planimétrica, apresentando um total de 1263,4 Km<sup>2</sup>; e a classe de desmatamento, que em SP foi mensurada

em 246,9 Km<sup>2</sup> e em SM apresentou uma extensão de 269,5 Km<sup>2</sup>, uma diferença aproximada de 3 mil campos de futebol.

Na região, destacam-se os municípios de Santa Maria Madalena e Trajano de Moraes com relação às maiores áreas de conservação florestal, atingindo um total de 323,7 Km<sup>2</sup> e 263,5 Km<sup>2</sup>, respectivamente. Por outro lado, os municípios que apresentaram as maiores áreas de desmatamento foram os de Sumidouro, com um total de 56,6 Km<sup>2</sup> de área desmatada em Superfície Modelada, e Sapucaia, desmatando 70,5 Km<sup>2</sup> de área florestada. Todavia, Sapucaia destacou-se também como o município com as maiores áreas de reflorestamento, atingindo uma extensão de 18,5 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada.

### **Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana**

Devido à colonização inicial da região voltada para o cultivo do café e a criação de gado, quase a totalidade da cobertura de mata atlântica da região foi removida. Atualmente, apresentando os piores índices de desenvolvimento do estado, a Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana possui sua economia baseada na pecuária extensiva e produção de cana e tomate, além da agricultura de subsistência. Destaca-se como exceção a extração mineral de rochas ornamentais localizada no município de Santo Antônio de Pádua.

Na figura abaixo pode ser observado o mapeamento de dinâmica da paisagem para região agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana.

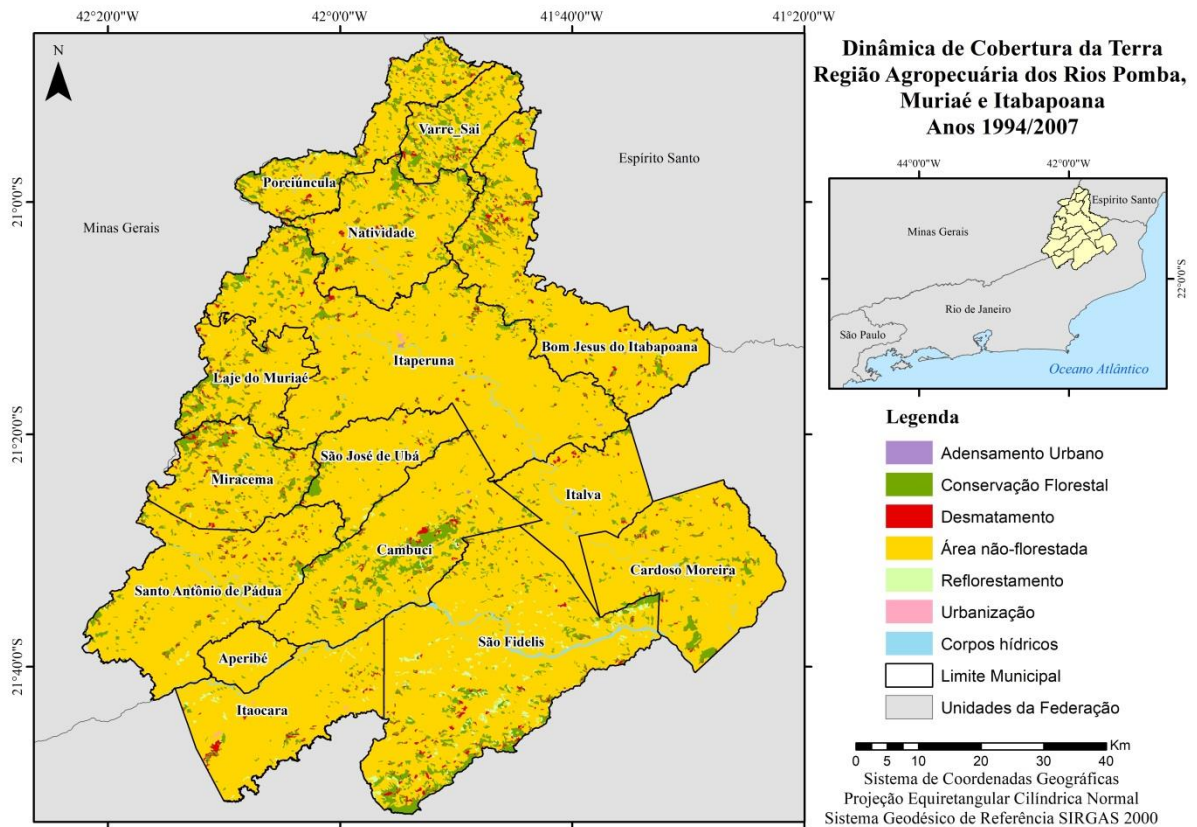


Figura 50 - Mapeamento de dinâmica da paisagem para a Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana.

Através do mapeamento é possível perceber um predomínio das áreas não-florestadas por toda a região, com a presença de pequenos remanescentes florestais, com destaque para o município de Cambuci e Varre-Sai. Na tabela 23 são apresentados os valores de área em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada para as classes de dinâmica da paisagem.

Tabela 23 - Diferença entre as áreas em SP e SM para Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana.

Totais	Área Planimétrica (Km <sup>2</sup> )	Área Modelada (Km <sup>2</sup> )	Diferença Absoluta (Km <sup>2</sup> )	Diferença Relativa (%)
Adensamento Urbano	1,4	1,4	0,0	0
Conservação	559,7	613,3	53,6	9,6
Desmatamento	108,3	118,6	10,3	9,6
Área não-florestada	6.136,8	6.438,6	301,8	4,9
Reforestamento	56,1	61,3	5,2	9,2
Urbanização	2,0	2,0	0,0	0

Através da mensuração de área é possível mensurar o amplo predomínio das áreas não-florestadas na região, atingindo um total de 6438,6 Km<sup>2</sup> de extensão em Superfície Modelada, o que representa uma área 301,8 Km<sup>2</sup> maior do que em Superfície Planimétrica, um percentual de diferença de aproximadamente 5%.

Com relação às áreas de conservação, esta classe apresentou uma extensão de 559,7 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica e um total de 613,3 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada. Com uma diferença percentual de 9,6%, a consideração da Superfície Modelada é fundamental para esta região de forma a garantir uma proteção dos poucos remanescentes florestais presentes. Outra classe que apresentou a mesma diferença percentual entre os dois mapeamentos foi a de desmatamento, com uma extensão de 118,6 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, o que significa a subestimação de área de 10,3 Km<sup>2</sup> caso esta análise seja realizada em Superfície Planimétrica.

Os municípios que apresentaram as maiores áreas de conservação florestal foram os de São Fidélis e Cambuci, com uma extensão de área de 101,4 Km<sup>2</sup> e 76,3 Km<sup>2</sup>, respectivamente. Por outro lado, os municípios que se destacaram em relação à área de desmatamento foram os de São Fidélis, com um total de área desmatada de 18 Km<sup>2</sup> e Bom Jesus do Itabapoana, que apresentou um total de desmatamento de 14,4 Km<sup>2</sup>.

#### **7.4 Comparação entre metodologias para cálculo de área em Superfície Modelada aplicada ao Rio de Janeiro**

A fim de comparar as duas melhores metodologias para o cálculo de área em Superfície Modelada utilizando como base os mapeamentos do Rio de Janeiro, nesta sessão serão apresentados os valores de área em SM obtidos através do cálculo de área utilizando o cosseno da declividade gerada com os quatro pixels, e comparados aos valores de área obtidos pela ferramenta *DEM Surface Tools* (resultado tido como oficial para este trabalho).

Uma ponderação importante e que precisa ser feita é relativa ao sistema de projeção utilizado por estas ferramentas. A estrutura da ferramenta *DEM Surface Tools* permite que se utilize dados projetados e não-projetados. No entanto, ao adquirir dados matriciais sem um sistema de projeção definido e projetá-los para qualquer sistema, esta transformação gera modificações na estrutura do dado, alterando a forma dos pixels, que fazem com que o resultado gerado pela ferramenta *DEM Surface Tools* apresente uma série de ruídos (Figura 51).

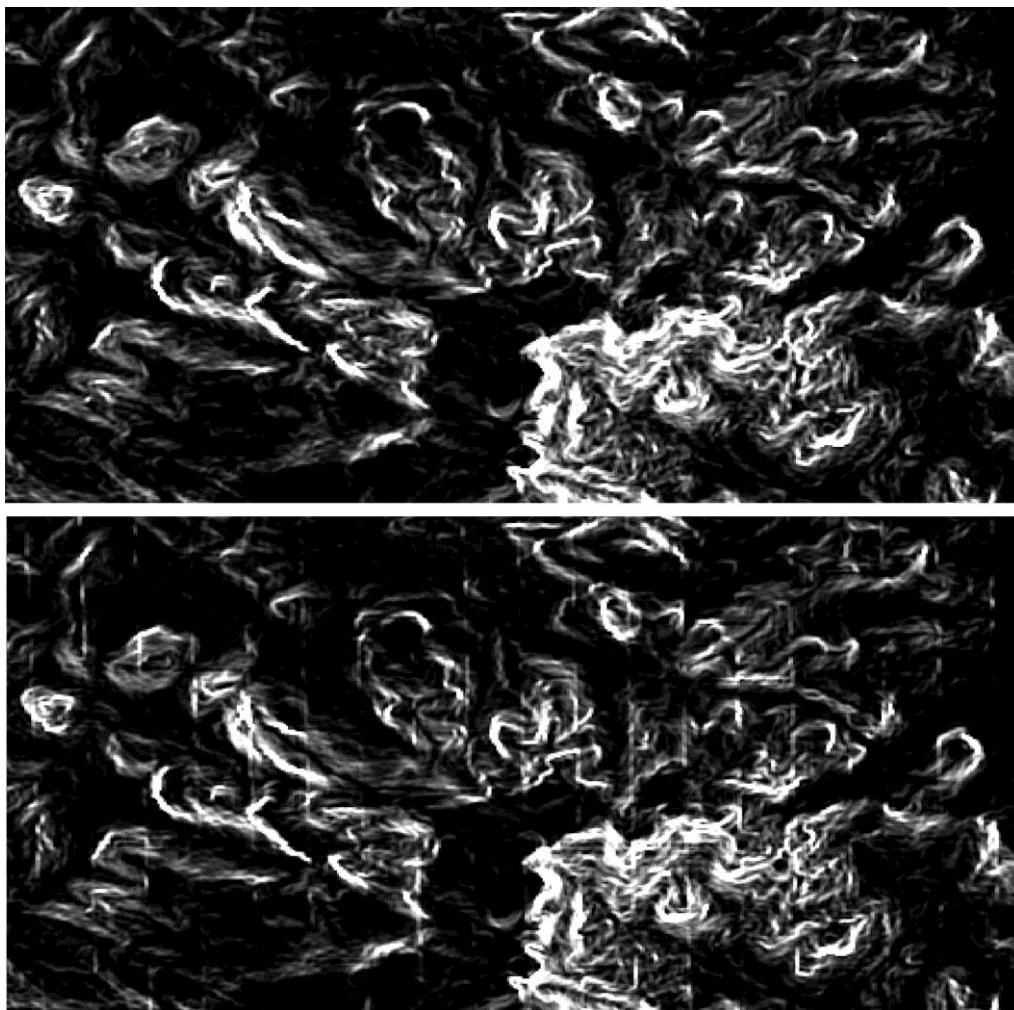


Figura 51 - Modelo com a Área de Superfície utilizando dados brutos (acima) e dados projetados (abaixo).

Devido à natureza dos cálculos envolvidos na geração de um modelo que represente a área em Superfície Modelada, partindo do princípio que os pixels possuem formas regulares e quadradas, acredita-se que ao reprojeter um dado matricial ocorra uma deformação do pixel que inviabilize o cálculo de área de maneira consistente pela ferramenta *DEM Surface Tools*.

Por outro lado, a metodologia utilizando o cálculo de área através do cosseno da declividade necessita que os dados estejam projetados em algum sistema projeção para que o processamento possa ocorrer.

Como o MDE escolhido para utilização no presente trabalho, SRTM Plus, é fornecido pela NASA sem um sistema de projeção definido, foi necessário tomar uma decisão para que esta comparação entre as duas metodologias fosse realizada. Para o cálculo a partir da ferramenta *DEM Surface Tools* foi utilizado o MDE em seu formato bruto, como é disponibilizado pela NASA, sem um sistema de projeção associado. Já para o cálculo de área

através do cosseno, que necessita que os dados utilizados estejam projetados, o MDE SRTM Plus foi projetado para o sistema de projeção equivalente de Albers.

Compreende-se que este tipo de comparação entre diferentes sistemas de projeção irá produzir resultados de área diferentes. No entanto, como esta diferença entre projeções se mostrou uma barreira até o momento intransponível, foi feito um teste comparando as áreas planimétricas calculadas para os limites do estado do Rio de Janeiro utilizando um arquivo não projetado e um arquivo projetado para o sistema de projeção equivalente de Albers. A área para o arquivo não projetado é calculada utilizando uma função do módulo *Field Calculator*, do pacote *ArcGIS 10*, que permite o cálculo de áreas geodésicas, baseando-se no elipsoide adotado pelo dado.

Esta comparação gerou um valor de 43754,926103 Km<sup>2</sup> de extensão em Superfície Planimétrica para o estado do Rio de Janeiro utilizando um arquivo não-projetado, e uma extensão de área de 43754,926096 Km<sup>2</sup> em Superfície Planimétrica utilizando um arquivo no sistema de projeção de Albers. A diferença percentual entre estas duas mensurações foi de 0,000000016%, sendo então considerada desprezível neste trabalho devido a sua grande proximidade entre os valores. Por tal motivo, os resultados apresentados anteriormente na análise geocológica do estado do Rio de Janeiro não são afetados pela utilização de dados sem um sistema de projeção associado.

Os resultados comparando a área em Superfície Modelada calculada pelo cosseno da declividade utilizando 4 pixels e a ferramenta DEM Surface Tools para o mapeamento de cobertura da terra no ano de 1994 são então apresentados na tabela 24.

Tabela 24 - Comparação entre a área de Superfície Modelada gerada por diferentes metodologias para o mapeamento de cobertura da terra do Rio de Janeiro em 1994.

<b>Classe (1994)</b>	<b>Cosseno da declividade (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>DEM Surface Tools (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Afloramento rochoso	313,27	315,64	2,37	0,76
Agricultura	2.147,92	2.149,49	1,57	0,07
Água	869,06	870,25	1,19	0,14
Floresta	13.901,33	13.955,08	53,75	0,39
Área Natural não-florestada	3.068,45	3.071,53	3,08	0,10
Ocupação urbana de baixa densidade	436,90	437,44	0,54	0,12
Ocupação urbana média/alta densidade	1.682,51	1.685,28	2,77	0,16
Pastagem	23.014,95	23.083,22	68,27	0,30
Reflorestamento/Vegetação em estágio inicial	546,17	548,26	2,09	0,38
Solo exposto/Salinas	56,93	57,01	0,08	0,14

A partir da tabela 24 é possível perceber que a diferença relativa entre as duas metodologias foi inferior a 1% para todas as classes, se aproximando muitas vezes de zero nas classes associadas a relevos mais planos. A classe que apresentou maior diferença relativa foi a de afloramento rochoso, com uma diferença percentual de 0,76%, o que pode ser justificado pela natureza do terreno mais acidentado característico deste tipo de cobertura do solo. As outras duas classes que apresentaram diferenças mais acentuadas entre as metodologias foram as de Floresta e Reflorestamento/Vegetação em estágio inicial, com valores de 0,39% e 0,38%, respectivamente. Esta diferença observada nas classes associadas a regiões de floresta esta de acordo com o observado para classe de afloramento rochoso, uma vez que, por se tratarem de região com relevo mais irregular, apresentaram maior diferença entre as duas metodologias.

Na tabela 25 é possível observar a mesma comparação realizada para o mapeamento de cobertura da terra para o ano de 2007.

Tabela 25 - Comparação entre a área de Superfície Modelada gerada por diferentes metodologias para o mapeamento de cobertura da terra do Rio de Janeiro em 2007.

<b>Classe (2007)</b>	<b>Cosseno da declividade (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>DEM Surface Tools (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Absoluta (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença Relativa (%)</b>
Afloramento rochoso	313,27	315,64	2,37	0,76
Agricultura	2.066,52	2.068,28	1,76	0,09
Água	869,06	870,25	1,19	0,14
Floresta	12.380,35	12.428,18	47,83	0,39
Área Natural não-florestada	2.954,78	2.957,76	2,98	0,10
Ocupação urbana de baixa densidade	501,17	501,91	0,74	0,15
Ocupação urbana média/alta densidade	1.828,62	1.831,52	2,90	0,16
Pastagem	24.032,13	24.104,30	72,17	0,30
Reflorestamento/Vegetação em estágio inicial	1.011,61	1.015,31	3,70	0,37
Solo exposto/Salinas	79,98	80,03	0,05	0,06

Apesar de ser possível observar algumas pequenas modificações nas diferenças relativas entre as duas metodologias, os resultados se mantiveram estáveis, muito próximos entre si, e todos com diferença inferior a 1%. A classe que apresentou a maior diferença percentual entre as duas metodologias continuou sendo a de afloramento rochoso, com diferença de 0,76%. Seguindo a classe de afloramento rochoso, as outras classes a apresentarem maior diferença foram as de Floresta e Reflorestamento/Vegetação em estágio inicial, com 0,39% e 0,37%, respectivamente.

Na tabela 26 é apresentada a comparação entre os valores de área em Superfície Modelada gerados pelo cálculo de área através do cosseno da declividade com 4 pixels e a ferramenta *DEM Surface Tools* para o mapeamento de dinâmica da paisagem no estado do Rio de Janeiro.



Tabela 26 - Comparação entre a área de Superfície Modelada gerada por diferentes metodologias para o mapeamento de dinâmica da paisagem no estado do Rio de Janeiro.

Classe	Cosseno da declividade (Km <sup>2</sup> )	DEM Surface Tools (Km <sup>2</sup> )	Diferença Absoluta (Km <sup>2</sup> )	Diferença Relativa (%)
Adensamento Urbano	146,11	146,24	0,13	0,09
Conservação	12.606,44	12.655,37	48,93	0,39
Desmatamento	1.761,71	1.768,48	6,77	0,38
Área não-florestada	29.928,25	30.005,16	76,91	0,26
Reflorestamento	544,17	545,76	1,60	0,29
Urbanização	183,60	182,04	-1,56	-0,85

Na comparação entre as duas metodologias para o mapeamento de dinâmica da paisagem os resultados apontaram para uma diferença percentual entre as classes novamente inferior a 1%. Dentre todas as classes mapeadas, a que apresentou maiores diferenças entre as duas metodologias foi a de Urbanização, com uma diferença percentual de -0,85%. Este resultado anômalo significa que a ferramenta *DEM Surface Tools* apresentou uma área em Superfície Modelada inferior ao valor calculado utilizando o cosseno da declividade, fato que não ocorreu em nenhum dos outros testes para o estado do Rio de Janeiro. Vale destacar também que a classe de urbanização apresentou em outros testes comparativos com a Superfície Planimétrica as menores diferenças relativas por estarem geralmente localizadas em regiões de menor declividade.

As outras classes que apresentaram maior diferença percentual entre as metodologias foram as de Conservação, Desmatamento e Reflorestamento, com valores variando entre 0,39% e 0,29%. Estes resultados confirmam o que foi observado nos testes utilizando os mapeamentos de cobertura da terra, de que as maiores diferenças percentuais entre as metodologias são observadas em áreas de relevo mais acidentado e maiores declividades.

Após a realização destes três testes comparando os valores de área em Superfície Modelada obtidos pelo cálculo de área através do cosseno da declividade com 4 pixels, com os valores obtidos pela ferramenta *DEM Surface Tools*, foi possível observar o bom desempenho das duas metodologias, gerando valores de área muito próximos e de maneira rápida, tornando seu uso viável para grandes áreas.

## **7.5 Conclusão da análise geocológica do estado do Rio de Janeiro**

Através das análises realizadas para o estado do Rio de Janeiro foi possível mensurar o impacto da consideração da Superfície Modelada para a interpretação da paisagem e indicar em quais áreas o seu uso se torna mais importante. Através da diferença relativa entre a extensão de área das classes em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada para todo o estado do Rio de Janeiro, foi possível concluir que a classe que apresentou uma maior diferença percentual entre as duas metodologias de mensuração foi a de conservação florestal, com 9,8% de diferença.

Além da classe de conservação florestal, outras duas classes diretamente relacionadas aos interesses de preservação ambiental se mostraram muito impactadas pela consideração da Superfície Modelada. As áreas de desmatamento apresentaram uma média de diferença entre as mensurações de 7,3%. Este valor, inferior ao apresentado pela classe de conservação florestal, pode ser explicado pela tendência dos desmatamentos em ocorrerem nas bordas dos fragmentos florestais, onde a declividade é menor. A outra classe a sofrer grande influência da consideração da Superfície Modelada é a de Reflorestamento, possuindo uma diferença entre as mensurações de 6,1%.

Apesar de as menores diferenças percentuais serem verificadas nas classes de urbanização e adensamento urbano, isto não significa que o uso da Superfície Modelada não seja necessário para planejamentos em áreas urbanas. Sua importância pode ser verificada para estas duas classes nos municípios pertencentes à Região Serrana de Economia Diversificada, por exemplo, onde a utilização da Superfície Modelada gerou um resultado 5,19% maior para a classe de adensamento urbano e 5,43% para as áreas de urbanização. A diferença entre as mensurações pode impactar diretamente em índices utilizados pelo planejamento urbano, como por exemplo, densidade de domicílios ou populacional.

Este resultado experimentado pelas áreas urbanas na região serrana de economia diversificada indica a importância da consideração da Superfície Modelada para qualquer análise que envolva valores de área, especialmente se o local em questão possuir uma declividade acentuada. Uma razão simples entre a área em Superfície Modelada e Superfície Planimétrica para cada pixel do MDE SRTM Plus no estado do Rio de Janeiro indica que um mesmo pixel pode alcançar valores de área até 6 vezes maiores se for considerada a influência do relevo na mensuração de área, como pode ser observado na figura 52.

### Razão entre a área em Superfície Modelada e Superfície Planimétrica no Estado do Rio de Janeiro

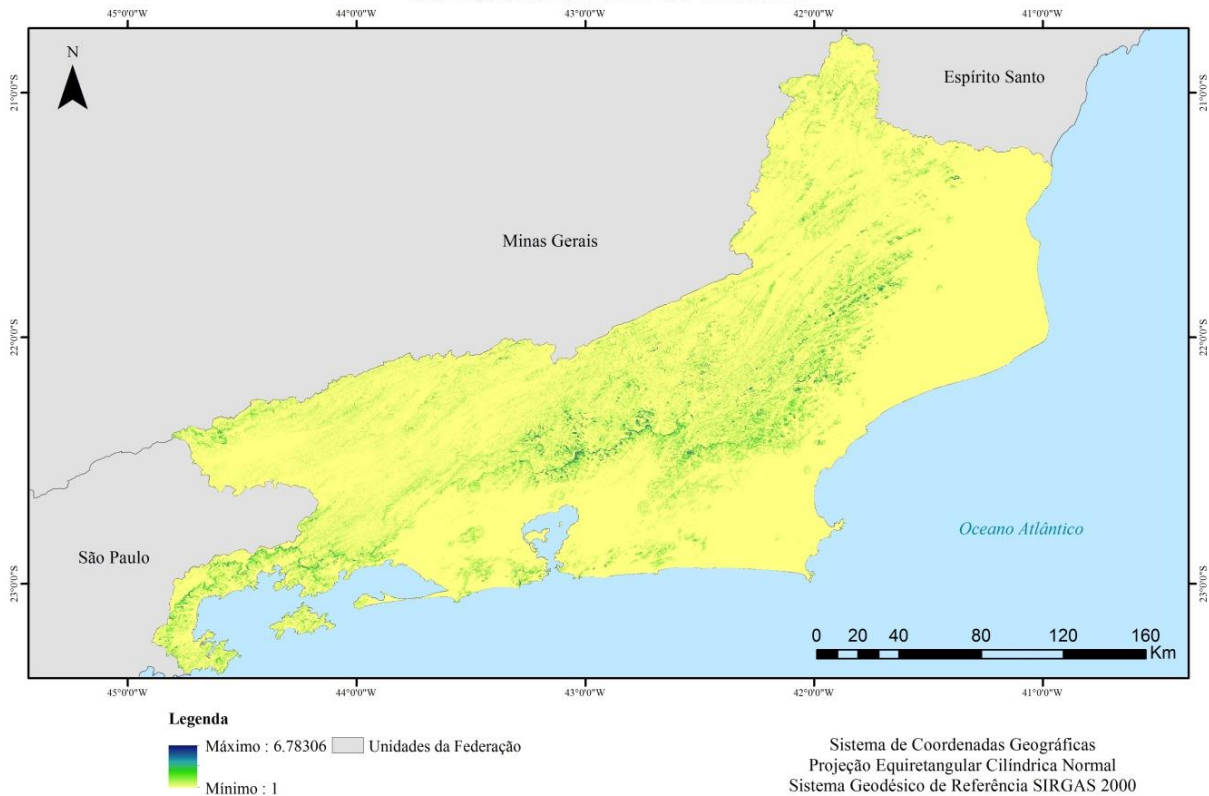


Figura 52 - Distribuição do impacto da utilização da SP e SM no estado.

A partir do mapa acima é possível observar que as regiões mais impactadas são aquelas pertencentes aos domínios da Serra do Mar, no entanto, tal impacto não se restringe a elas. Os maciços costeiros do estado, assim como, a região do mar de morros, localizada no reverso da Serra do Mar, também apresentam valores elevados na razão entre a área obtida em Superfície Modelada e Superfície Planimétrica.

Ao considerarmos a área total de cada uma das regiões avaliadas e fazendo uma comparação entre os valores de sua extensão em Superfície Planimétrica e a Superfície Modelada foi possível observar que as regiões que sofrem com os maiores impactos são a Região Turística da Costa Verde e a Região Serrana de Econômica Diversificada. Este resultado pode ser confirmado com a observação das áreas que apresentaram um maior valor na razão entre as áreas em SP e SM da Figura 52. A diferença percentual entre as áreas para todas as regiões do estado pode ser observada na tabela abaixo.

Tabela 27 - Diferença percentual entre áreas mensuradas em Superfície Planimétrica e Superfície Modelada para cada região.

<b>Região do estado</b>	<b>Diferença percentual entre áreas (%)</b>
Região Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana	5,37
Região do Petróleo e Gás Natural	2,69
Região Industrial do Médio Paraíba	6,03
Região Serrana de Economia Agropecuária	8,00
Região Serrana de Economia Diversificada	9,75
Região Turística da Costa Verde	9,75
Região Turística dos Lagos Fluminenses	2,84
Região Turístico-Cultural do Médio Paraíba	6,08
Região Urbano-Industrial	4,78

Apesar de os menores valores de diferença percentual terem sido apresentados pela Região do Petróleo e Gás Natural, o uso da Superfície Modelada não deixa de ser importante nesta região. Isto fica claro ao observarmos que esta região sofreu o maior impacto na mensuração entre as duas metodologias para as áreas de conservação florestal, apresentando uma diferença percentual de 11,20%.

Com relação à análise voltada à dinâmica da paisagem, devemos destacar o elevado percentual de área preservada na Região Turística da Costa Verde, possuindo o maior percentual em relação à área total da região, conservando 85,61% de sua extensão total. Por outro lado, a Região Serrana de Economia Diversificada apresentou os maiores índices percentuais de desmatamento em relação à extensão total da região, tendo desmatado um total de 8,41% de seu território entre os anos de 1994 e 2007. Estes números se tornam ainda mais expressivos aos considerarmos que estas duas regiões são também as que sofrem maior impacto no uso da Superfície Modelada. As regiões que apresentaram a maior cobertura percentual em relação a seu total de área para cada uma das classes podem ser observadas na tabela 28.

Tabela 28 - Região que apresentou o maior percentual de cobertura para cada uma das classes.

<b>Classe</b>	<b>Região</b>	<b>Percentual de cobertura</b>
Adensamento Urbano	Urbano-Industrial	1,23 %
Conservação	Turística da Costa Verde	85,61 %
Desmatamento	Serrana Economia Diversificada	8,41 %
Área não-florestada	Agropecuária dos Rios Pomba, Muriaé e Itabapoana	88,96 %
Reflorestamento	Serrana Economia Diversificada	2,27 %
Urbanização	Turística dos Lagos Fluminense	1,93 %

A partir da tabela 28 é possível observar que a consideração da Superfície Modelada é de grande importância para Região Serrana de Economia Diversificada não só pelas grandes áreas desmatadas, mas também, pelo grande percentual de reflorestamento apresentado na mesma. Uma correta quantificação de tais áreas pode ser fundamental para traçar planos de proteção efetivos para regiões que estejam apresentando uma regeneração de mata.

Realizando uma análise mais aprofundada dos impactos da consideração da Superfície Modelada na dinâmica da paisagem, uma investigação em nível municipal nos indica que, em termos absolutos de extensão de área, o município de Paraty destacou-se como o possuidor da maior extensão de conservação florestal do estado, atingindo um total de 888 Km<sup>2</sup> de áreas conservadas em Superfície Modelada. Estando localizado em uma das regiões mais afetadas pela diferença de mensuração entre a SP e SM, a mensuração da mesma área conservada em Superfície Planimétrica indica um valor de conservação florestal de 808 Km<sup>2</sup>, uma diferença absoluta de 80 Km<sup>2</sup> (equivalente a aproximadamente 11 mil campos de futebol).

Com relação ao desmatamento, o município que apresentou os maiores valores absolutos de área desmatada foi o de Teresópolis, na Região Serrana de Economia Diversificada. Desmatando uma área florestada de 93 Km<sup>2</sup> em Superfície Modelada, a diferença para mensuração realizada em Superfície Planimétrica implica em uma subestimação de 8 Km<sup>2</sup> de florestas desmatadas.

Por estes resultados apresentados pela dinâmica da paisagem, é possível observar que as Regiões Serrana de Economia Diversificada e a Região Turística da Costa Verde não só são as regiões mais impactadas pela consideração da Superfície Modelada, mas também são as regiões que necessitam de maior atenção relativa às questões ambientais por serem os locais com maiores concentrações não só de remanescentes florestais, mas também, os grandes focos de desmatamento do estado.

Na tabela 29 são apresentados os municípios com as maiores extensões de área para cada uma das classes de dinâmica da paisagem.

Tabela 29 - Municípios com a maior área absoluta para cada uma das classes de dinâmica da paisagem.

<b>Classe</b>	<b>Município maior área absoluta</b>	<b>Área em Superfície Modelada (Km<sup>2</sup>)</b>
Adensamento Urbano	Nova Iguaçu	22,4
Conservação	Paraty	888,6
Desmatamento	Teresópolis	93,2
Área não-florestada	Campos	3.489,1
Reflorestamento	Resende	33,5
Urbanização	Rio de Janeiro	21,5

A partir destes valores é importante destacar também o papel da cidade de Resende nas áreas de reflorestamento, sendo o município que possui as maiores extensões de áreas reflorestadas, e por estar localizado em uma região pertencente aos domínios da Serra do Mar, esta região também apresenta grandes impactos da consideração da Superfície Modelada, tendo a área de reflorestamento uma extensão 4,7% maior do que quando é considerada a Superfície Planimétrica.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu alcançar uma série de conclusões sobre todos os temas abordados ao longo da pesquisa. Devemos destacar como principal a importância da consideração da Superfície Modelada na realização de mensurações de área não só para análises geoecológicas, mas qualquer tipo de atividade que possa ser impactada pela extensão de áreas.

Ao utilizarmos a Superfície Modelada para interpretar a dinâmica da paisagem no estado do Rio de Janeiro, esta se mostrou fundamental especialmente para avaliação da condição ambiental do estado, uma vez que as maiores diferenças na mensuração de áreas foram percebidas nas áreas de conservação florestal, desmatamento e reflorestamento. Conduzir uma avaliação ambiental em qualquer região sem a consideração da rugosidade do relevo nas mensurações de área significa subestimar parte da biodiversidade local e traçar panoramas inconsistentes com a realidade.

A consideração da Superfície Modelada pode trazer benefícios não só para um melhor entendimento da paisagem e refletir em melhores estratégias de manejo de áreas, mas influencia também em aspectos econômicos e políticos. Podemos citar como exemplo o ICMS – Ecológico, uma modalidade de pagamento por serviços ambientais, direcionado a municípios que primem pela conservação do meio ambiente através da área protegida por unidades de conservação. No ano fiscal de 2014, a Secretaria Estadual do Ambiente estima que foram repassados aos municípios do Rio de Janeiro um total de R\$ 195 milhões relativo ao ICMS – Ecológico (SEA, 2014). Dentre os municípios que receberam os maiores montantes graças a suas ações de preservação do meio ambiente merecem destaque: Angra dos Reis (R\$5.354.129), Cachoeira de Macacu (R\$ 8.380.197), Miguel Pereira (R\$ 6.113.987) e Silva Jardim (R\$8.892.669). Todos estes municípios se destacam não só por suas áreas de preservação, mas também por seu relevo acidentado, fato que impacta diretamente na mensuração de áreas preservadas, e possivelmente no valor repassado para tais municípios, uma vez que a extensão de áreas preservadas é um dos fatores que contribuem para o cálculo de repasse do ICMS – Ecológico.

A análise geoecológica do estado também demonstrou que as regiões que apresentaram mudanças mais significativas em sua estrutura da paisagem entre os anos de 1994 e 2007, também são as regiões que apresentaram grande influência da consideração da Superfície Modelada para realização de mensurações de área. As regiões serranas, de economia diversificada e de economia agropecuária, onde se localizam grandes focos de

desmatamento no estado, também apresentam grandes percentuais de diferença entre a Superfície Planimétrica e a Superfície Modelada devido a sua localização em uma das áreas de relevo mais acidentado do estado. É importante destacar que além das áreas desmatadas, as regiões serranas também apresentam vastas áreas de vegetação nativa, representando importantes remanescentes de Mata Atlântica para o estado.

Os focos de desmatamento também se estendem pelas regiões pertencentes ao Médio Paraíba, que por estarem localizadas no domínio de mar de morros, sofrem impactos diretos ao considerarmos a Superfície Modelada.

Outro dado que merece destaque é o grande percentual de conservação das florestas na região turística da Costa Verde, preservando 85% do seu território com cobertura vegetal, mas que também apresenta forte influência da consideração da Superfície Modelada e tem sofrido um aumento da pressão antrópica próximo a sua costa devido à expansão das atividades econômicas da região.

Sendo assim, conclui-se que é fundamental a consideração da Superfície Modelada para elaboração de estratégias de gestão do território no estado do Rio de Janeiro. O seu uso se torna ainda mais recomendável uma vez que as ferramentas para realização dos cálculos de área em SM se encontram disponíveis com fácil acesso e a custos baixos, quando não gratuitos.

A avaliação realizada para as ferramentas que possibilitam o cálculo de área em Superfície Modelada provou que sua utilização é viável para qualquer escala geográfica devido a sua agilidade de processamento e simplicidade de operação, seja através de ferramentas disponíveis (*DEM Surface Tools*), ou através de rotinas implementadas em *softwares* de SIG (cálculo através do cosseno da declividade).

A etapa que demanda mais atenção neste processo, e talvez a mais custosa em termos de tempo, é a definição do Modelo Digital de Elevação que será utilizado no cálculo de área. Necessitando de uma investigação acerca de sua capacidade para atender as demandas da escala de análise escolhida, a avaliação da qualidade do MDE para a área de estudo se mostrou fundamental. Questões como a adequação da resolução espacial para a área em questão, ajuste do modelo ao relevo local e a análise de tendência do MDE são considerações importantes e que devem ser realizadas antes da escolha do material que será utilizado para fornecer as informações altimétricas da área avaliada.

Por isso, é importante destacar como uma limitação dos métodos aqui discutidos a dificuldade dos MDE em atingirem bons resultados na representação altimétrica em regiões



com relevo mais acidentado, como por exemplo, em áreas de afloramento rochoso. Isto se torna especialmente importante uma vez que estas mesmas regiões também apresentam uma tendência a sofrer os maiores impactos ao considerarmos a Superfície Modelada. O surgimento de novos Modelos Digitais de Elevação com uma resolução espacial mais fina e novos métodos de aquisição de informações altimétrica pode representar uma possível superação deste entrave até o momento. Dentre estes modelos destacamos o TanDEM-X, proveniente de uma missão realizada pela agência espacial alemã e que começa agora a ser disponibilizado de forma gratuita para utilização em pesquisas científicas.

Todavia, a presente pesquisa também demonstrou a grande qualidade de MDE disponíveis gratuitamente para todo território nacional, como é o caso dos produtos SRTM Plus e ALOS World 3D, onde, dependendo das particularidades da área de estudo e as necessidades de detalhamento, tais modelos conseguem atender de maneira satisfatória a projetos utilizando pequenas e médias escalas. A partir disso foi possível também concluir que atualmente, duas das metodologias mais comuns para aquisição de informações altimétricas a partir de sensores remotos, a interferometria e a estereoscopia, encontram-se em condições muito similares em relação a sua qualidade de levantamento.

Podemos apontar como potenciais de aplicação desta pesquisa a utilização da Superfície Modelada para a gestão de áreas de maneira simples e ágil, uma vez que as etapas necessárias para realização do cálculo de área em Superfície Modelada podem ser realizadas sem grandes custos operacionais. Alguns exemplos de sua utilização na gestão de áreas seria a utilização da Superfície Modelada para avaliação dos remanescentes florestais de Mata Atlântica, ou mesmo, sua utilização para quantificação de áreas preservadas pelos municípios para o cálculo da distribuição do ICMS – Ecológico.

Como proposta para pesquisas futuras, apontamos a possibilidade de aprofundar a análise Geoecológica no estado do Rio de Janeiro utilizando indicadores populacionais e sociais, e investigar a possível influência da Superfície Modelada nestes indicadores, uma vez que boa parte deles utiliza em seu cálculo a extensão de áreas.

Sendo assim, espera-se que a partir das discussões aqui levantadas, o cálculo de área em Superfície Modelada possa ser mais difundido de maneira a trazer uma maior aproximação da realidade para as análises que dependam da variável área, e que isto se traduza em um planejamento e gestão mais efetivos do território.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. B. **Análise Espaço-temporal da Cobertura e Uso da Terra no Estado do Rio de Janeiro de 1994 até 2007**. Rio de Janeiro, 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: Ed. WDL Publications, 1991.

BARROS, R. S. **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Sensores Orbitais**. Rio de Janeiro, 2006. 215 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BERGALLO, H. G. *et al.* Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro: Uma Nova Abordagem. In: BERGALLO, H.G. FIDALGO, E.C.C. ROCHA, C.F.D. (Org.). **Estratégias e Ações para a Conservação da Biodiversidade no Estado do Rio De Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto Biomas, 1ª ed., p. 23 -29, 2009.

BERNHARDESEN, T. **Geographic Information Systems: An Introduction**. United States of America: John Wiley and Sons, 2ª ed., p. 372, 1999.

BERTALLANFY, L. An Outline of General System Theory. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Vol. 1, n. 2, p. 134 -165, 1950.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 13, p. 1 – 27, 1972.

BRASIL. Decreto nº 89.817, Julho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 20 de jun. de 1984.

CÂMARA, G., DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, p. 1 - 4, 2001.

CARVALHO, M. S., PINA, M. de F. de. & SANTOS, S. M. **Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde**. Brasília: Organização Panamericana da Saúde/ Ministério da Saúde, p. 124, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1ª ed., 1999.

DIKOU, A., PAPAPANAGIOTOU, E., TROUMBIS, A. Integrating Landscape Ecology and Geoinformatics to Decipher Landscape Dynamics for Regional Planning. **Environmental Management**, Vol. 48, p. 523 – 538, 2011.

ESRI. Add Surface Information. **Tool Reference Guide**. Redlands: ESRI, 2016. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/add-surface-information.htm>>.

ESRI. **ArcGIS 10.4 Issues Addressed List**. Redlands: ESRI, 2016. Disponível em:<  
[http://downloads.esri.com/support/downloads/other\\_/104-IssuesAddressedList.pdf](http://downloads.esri.com/support/downloads/other_/104-IssuesAddressedList.pdf)>

ET-ADGV. **Norma Da Especificação Técnica Para Aquisição De Dados Geoespaciais Vetoriais De Defesa Da Força Terrestre**. Exército Brasileiro, Divisão de Serviço Geográfico, 2015.

FELGUEIRAS, C. A. Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informação Geográfica. In: **Anais do VIII Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial**. Mérida, Venezuela, 1997.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

FERNANDES, M. C. **Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: Uma Aplicação em Análises Geoecológicas**. Rio de Janeiro, 2004. 267 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

FERNANDES, M. C., SANTOS, T. L., COURA, P. H. F., MENEZES, P. M. L., GRAÇA, A. J. S. Modeled Surface Observations for Spatial Analysis of Landscape Dynamics. **Journal of Geographic Information System**, Vol. 5, p. 409 - 417, 2013.

FERNANDES, M. C. Discussões Conceituais e Metodológicas do Uso de Geoprocessamento em Análises Geoecológicas. In: BICALHO, A. M. S. M., GOMES, P.C. (Org.). **Questões Metodológicas e Novas Temáticas na Pesquisa Geográfica**. Rio de Janeiro: Publit, 2009.

FLEMING, M. D. AND HOFFER, R. M. Machine processing of landsat MSS data and DMA topographic data for forest cover type mapping. In: **Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium**. West Lafayette, Indiana, 1979.

FORMAN, R. T. T. & GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: Wiley, 1986.

GOMES, P. C. C. **O Lugar do Olhar: Elementos para uma geografia da visibilidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

HOBSON, R. D. Surface Roughness in Topography: Quantitative Approach. In: CHORLEY, R. J. (Org.). **Spatial analysis in geomorphology**. New York, USA: Harper & Row, 1972.

HODGSON, M. E. What cell size does the computed slope/aspect angle represent? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Vol. 61, n. 5, p. 513 - 517, 1995.

HORN, B. K. P. Hill Shading and the Reflectance Map. In: **Anais do IEEE**, Vol. 69, p. 14 - 47, 1981.

HUGGET, R. J. **Geocology: An evolutionary approach**. London: Routledge, 320 p, 1995.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Modelo TOPODATA**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <  
<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>.

IPP - INSTITUTO PEREIRA PASSOS/PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Armazém de Dados**. Disponível em: <[www.armazemdedados.rio.rj.gov.br](http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br)>.

JSS - JAPAN SPACE SYSTEM. **ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM)**. 2012. Disponível em: <<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/>>.

JENNESS, J.S. Calculating Landscape Surface Area from Digital Elevation Models. **Wildlife Society Bulletin**, v. 32, n. 3, p. 829 - 839, 2004.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 1ª ed., 2009.

JONES, K. H. A Comparison of Algorithms Used to Compute Hill Slope as a Property of the DEM. **Computers & Geosciences**, Vol. 24, N. 4, p. 315 - 323, 1998.

JPL - JET PROPULSION LABORATORY. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. 2005. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>.

LI, Z. *et al.* **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology**. Florida: CRC Press, 323p, 2004.

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND D. W. **Geographic Information Systems and Science**. West Sussex: Wiley, 3ª ed., 2009.

MENEZES, P.M.L. **A interface Cartografia-Geoecologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um modelo de avaliação de procedimentos analíticointegrativos**. Rio de Janeiro, 2000. 208 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

MENEZES, P.M.L & FERNANDES, M.C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 1ª ed., 288p, 2013.

NAMIKAWA, L. M., FELGUEIRAS, C. A., MURA, J. C., ROSIM, S., LOPES, E.S.S. **Modelagem Numérica de Terreno e Aplicações**. São José dos Campos: INPE, v. 1. 158p, 2003.

RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A., BAMLER, R. **The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar**. German Aerospace Center (DLR), 2002.

RODRIGUEZ, J. M. M., SILVA, E. V., CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das Paisagens – Uma visão sistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: UFC, 2007.

RODRIGUEZ, E., MORRIS, C. S., BELZ, J. E., CHAPIN, E. C., MARTIN, J. M., DAFFER, W., AND HENSLEY, S. **An Assessment of the SRTM Topographic Products**. Pasadena, USA. 2005.

SANTOS, P. R. A. **Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM em Diferentes Escalas: Um Estudo de Caso na Amazônia**. Rio de Janeiro, 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) – Curso de Mestrado em Engenharia Cartográfica, Instituto Militar de Engenharia, 2005.

SANTOS, M. A. *et al.* Pressão Antrópica e as Novas Dinâmicas na Economia Fluminense. In: BERGALLO, H.G. FIDALGO, E.C.C. ROCHA, C.F.D. (Org.). **Estratégias e Ações para a**

**Conservação da Biodiversidade no Estado do Rio De Janeiro.** Rio de Janeiro: Instituto Biomass, 1<sup>a</sup> ed., p. 41 - 56, 2009.

SARAÇA, C. E. S. *et al.* A Propósito de uma Nova Regionalização para o Estado do Rio de Janeiro. In: BERGALLO, H.G. FIDALGO, E.C.C. ROCHA, C.F.D. (Org.). **Estratégias e Ações para a Conservação da Biodiversidade no Estado do Rio De Janeiro.** Rio de Janeiro: Instituto Biomass, 1<sup>a</sup> ed., p. 33 - 40, 2009.

SAUER, C.O. **The Morphology of Landscape.** California: University of California Press, 1<sup>a</sup> ed., p. 53, 1925.

SEA – SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE. **O Estado do Ambiente: Indicadores Ambientais do Rio de Janeiro 2010.** Rio de Janeiro: SEA; INEA, p. 160, 2011.

SEA – SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE. **Estimativa de distribuição de ICMS Verde em 2014.** Rio de Janeiro: Secretaria de Estado do Ambiente, 2014.

SOTCHAVA, V. B. Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**, n 16. São Paulo: IG., USP, 1977.

STOW, D.A. The Role of Geographic Information Systems for Landscape Ecological Studies. In: HAINES-YONG, R.; GREEN, D.R. & COUSINS, S.H. (Org.). **Landscape Ecology and GIS.** Estados Unidos: CRC Press, p. 11 – 21, 1993.

TACHIKAWA, T., KAKU, M., IWASAKI, A., GESCH, D., OIMOEN, M., ZHANG, Z., DANIELSON, J. **ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results.** Japão: METI, 2011.

TADONO, T.; ISHIDA, H.; ODA, F.; NAITO, S.; MINAKAWA, K.; IWAMOTO, H.; Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM. In: **Anais do ISPRS Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Vol. 2, 2014.

TAKAKU, J.; TADONO, T.; TSUTSUI, K. Generation of High Resolution Global DSM From ALOS PRISM. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Vol. XL, n. 4, 2014.

TANSLEY, A. G. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. **Ecology**, Vol. 16, n. 3, p. 284 – 307, 1935.

TROLL, C. Landscape Ecology (Geoecology) and Biogeocenology - A Terminological Study. **Revue de Geologie, Géophysique et Géographie**, Vol. 14, n. 1, p. 9 – 18, 1970.

TROLL, C. The Geographic Landscape and Its Investigation. In: WIENS, J., MOSS, M., TURNER, M. G., MLADENOFF, D. J. (Org.). **Foundation Papers in Landscape Ecology.** New York: Columbia University Press, 2007.

VICENS, R. S. Geografia da Paisagem e Ordenamento Territorial. In: BARBOSA, J. L. & LIMONAD, E. (Orgs.). **Ordenamento Territorial e Ambiental.** Niterói: Editora da UFF, 2012.

VICENTE, L. E., PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **GEOGRAFIA, Rio Claro**, Vol. 28, n. 3, p. 323 – 344, 2003.

VIERA, H.B.G., GENRO, R.S. Estimativa da Acurácia Posicional de Documentos Cartográficos na Petrobras a Partir do Erro Máximo Provável Inferido do Erro Médio Quadrático e da Respectiva Variância Propagada. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 2038 - 2045, 2013.

VITTE, A. C. O Desenvolvimento do Conceito de Paisagem e a sua Inserção na Geografia Física. **Mercator. Revista de Geografia da UFC**, Vol. 6, n. 11, 2007.

XAVIER DA SILVA, J. Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Vol. 1, p. 48 – 58, 2000.

YING, L. X., SHEN, Z. H., PIAO, S. L., LIU, Y., MALANSON, G. P. Terrestrial Surface-area Increment: The Effects of Topography, DEM Resolution, and Algorithm. **Physical Geography**, V. 35, n. 4, 2014.

ZEE-RJ. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: SEA, 2009. Disponível em: < <http://www.zee-rj.com.br/>>.

ZONNEVELD, I. S. **Land Ecology: An Introduction to Landscape Ecology as a Base for Land Evaluation, Land Management and Land Conservation**. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1995.