• organizadores •
Andréa Castro de Morais e Alexandre Rosa dos Santos

GEOMÁTICA & ANÁLISE AMBIENTAL

APLICAÇÕES PRÁTICAS

EDUFES

Geomática & Análise Ambiental

Alexandre Rosa dos Santos • organizador •
Ana Paula Freire
André Luís Nunes
André Quintão de Almeida
Andréa Castro de Morais • organizadora •
Bruno Berger Coelho
Fabíola Candido Silva Vieira
Gilberto Fonseca Barroso
Jeanne Cristine Schmidt Saldanha
Lívia Maria Albertassi Tulli
Márcio Corrêa da Silva
Marcus Vinícius Sossai Berger
Teresa Susana Aquije Chacaltana
Tiago Cardoso Fernandes

EDUFES

Vitória • 2007

Reitor | Rubens Sergio Rasseli

Vice-Reitor | Reinaldo Centoducatte

Secretária de Cultura | Rosana Paste

Coordenadora da Edufes | Elia Marli Lucas

Conselho Editorial |
Fernando Mendes Pessoa • Cleonara M. Schwatz
João Luiz Calmon Nogueira da Gama • José Armínio Ferreira
Juçara Gorski Brittes • Maria Cristina C. Leandro Pereira
Maria José Vieira Matos • Selma Blom Margotto
Francisco Mauri • Waldir Cintra de Jesus Junior
Marcio Paulo Czepak

Revisão | Tânia Canabarro e Regina Gama

Design | Anaise Perrone

Editora da Universidade Federal do Espírito Santo
Av. Fernando Ferrari, 514 - CEP 29075-910 - Goiabeiras - Vitória - ES
Tel: (27) 3335-7852 edufes@yahoo.com.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

G345 Geomática & análise ambiental / Andréa Castro de Morais, Alexandre Rosa dos Santos [organizadores]. – Vitória, ES : EDUFES, 2007.
182 p. : il. ; 21 cm

Inclui bibliografia.
ISBN: 978-85-7772-016-3

1. Geociências. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Satélites artificiais em sensoriamento remoto - Espírito Santo (Estado). I. Morais, Andréa Castro de. II. Santos, Alexandre Rosa dos.

CDU: 504

Autores

Alexandre Rosa dos Santos • organizador •
Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: alexsantos@npd.ufes.br

Ana Paula Freire
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: freireap@gmail.com

André Luís Nunes
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: andrelnbr@hotmail.com

André Quintão de Almeida
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: andreqa@gmail.com

Andréa Castro de Morais (organizadora)
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: andrea010@ig.com.br

Bruno Berger Coelho
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: brunoberger@uol.com.br

Fabíola Candido Silva Vieira
Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Geografia
Cep: 29.060-970 E-mail: fabiola.candido@hotmail.com

Gilberto Fonseca Barroso
Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Ecologia e Recursos Naturais
Cep: 29.060-970 E-mail: gfbarroso@gmail.com

Jeanne Cristine Schmidt Saldanha
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: jeannesaldanha@hotmail.com

Lívia Maria Albertassi Tulli
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: liviatulli@gmail.com

Márcio Corrêa da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: mcsilva200@hotmail.com

Marcus Vinícius Sossai Berger
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: mvsberger@gmail.com

Teresa Susana Aquije Chacaltana
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: teresasusana@gmail.com

Tiago Cardoso Fernandes
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Cep: 29.060-970 E-mail: cftiago@click21.com.br

Sumário

ÍNDICE DE FIGURAS 9

PREFÁCIO 15

INTRODUÇÃO 17

Capítulo 1
Comparação entre áreas de preservação permanente demarcadas a partir de diferentes escalas topográficas
1.1 Introdução 19
1.2 Metodologia 21
1.2.1 Localização e caracterização da área 21
1.2.2 Material utilizado 23
1.2.3 Modelo digital de elevação (MDE) 23
1.2.4 Delimitação das áreas de preservação permanente 24
1.3 Resultados e discussão 25
1.3.1 Análise dos MDE 25
1.3.2 Áreas de preservação permanente 31
1.4 Conclusões 37
1.5 Referências 37

Capítulo 2
Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó
2.1 Introdução 40
2.2 Metodologia 44
2.2.1 Área de estudo 44
2.2.2 Descrição dos fatores impactantes 45
2.2.3 Procedimentos computacionais 46
2.3 Resultados e discussão 47
2.3.1 Mapa de distância linear 47
2.3.2 Padronização dos fatores 49

2.3.3 Matriz de comparação pareada 51
2.3.3.1 Justificativa dos pesos 53
2.3.3.2 Cálculo dos pesos 53
2.3.4 Combinação linear ponderada 54
2.3.5 Mapa de vulnerabilidade 56
2.4 Conclusões 57
2.5 Referências 59

Capítulo 3
Vulnerabilidade à ação antrópica e uso e ocupação do solo para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão, Vitória, ES
3.1 Introdução 62
3.1.1 Apresentação da área de estudo 65
3.2 Metodologia 66
3.2.1 Etapa 01: mosaicagem das aerofotos 66
3.2.2 Etapa 02: evolução temporal das mudanças ocorridas na área de estudo 67
3.2.3 Etapa 03: mapa de vulnerabilidade à ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão 69
3.3 Resultados e discussão 79
3.3.1 Etapa 01: mosaicagem das aerofotos 79
3.3.2 Etapa 02: evolução temporal das mudanças ocorridas na área de estudo 81
3.3.3 Etapa 03: mapa de vulnerabilidade à ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão 91
3.4 Conclusões 92
3.5 Referências 93

Capítulo 4
Análise comparativa da batimetria do canal principal da baía de Vitória, ES, entre os anos de 1928 e 2002.
4.1 Introdução 97
4.2 Metodologia 100
4.3 Resultados e discussão 103

4.4 Conclusões 106
4.5 Referências 106

Capítulo 5
Uso de sistema de informações geográficas na avaliação da influência antrópica na qualidade da água da bacia do rio Formate, ES
5.1 Introdução 108
5.1.1 Bacias hidrográficas 109
5.1.2 Qualidade da água 112
5.2 Metodologia 114
5.2.1 Área de estudo 114
5.2.2 Condições limite para o enquadramento dos corpos d'água 118
5.2.3 Base de dados digital e análise morfométrica 119
5.2.4 Modelagem hidrológica 120
5.3 Resultados e discussão 122
5.3.1 Análise morfométrica 122
5.3.2 Modelagem hidrológica 122
5.4 Conclusões 128
5.5 Referências 129
Anexo 5A 130
Anexo 5B 131

Capítulo 6
Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental e análise de conflito do uso do solo da bacia da lagoa Jacuném
6.1 Introdução 132
6.2 Metodologia 139
6.2.1 Caracterização da área de estudo 139
6.2.2 Caracterização hidrológica da bacia hidrográfica 140
6.2.2.1 Geração da base de dados digital 141
6.2.2.2 Análise morfométrica 141
6.2.2.3 Modelagem hidrológica 141
6.2.3 Análise das áreas de conflito de uso e ocupação do solo 144

6.3 Resultados e discussão 148
6.3.1 Resultados obtidos na análise morfométrica 148
6.3.2 Diagnóstico ambiental do uso do solo na bacia da lagoa Jacuném 148
6.3.3 Resultados da análise das áreas de conflitos de uso do solo 151
6.4 Conclusões 152
6.5 Referências 153

Capítulo 7
Análise do comportamento espectral de sedimentos em suspensão na região estuarina do rio Santa Maria da Vitória, ES
7.1 Introdução 155
7.2 Metodologia 157
7.2.1 Descrição da área de estudo 157
7.2.2 Materiais e métodos 157
7.3 Resultados e discussão 157
7.4 Conclusões 163
7.5 Referências 163

Capítulo 8
Evolução temporal do uso e ocupação do solo para os anos de 1994 e 2002 no município de Vitória, ES, utilizando imagens orbitais do satélite landsat TM
8.1 Introdução 165
8.2 Metodologia 169
8.3 Resultados e discussão 173
8.4 Conclusões 179
8.5 Referências 180

Índice de Figuras

Figura 1.1. Localização geográfica da área de estudo.....22

Figura 1.2. Modelos digitais de elevação classificados de 20 em 20 metros na escala de (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000. 26

Figura 1.3. Imagem diferença dos MDE extraídos dos dados nas diferentes escalas, com destaque na localização do perfil topográfico ..28

Figura 1.4. Comparação entre perfis topográficos extraídos dos MDE: (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000. A localização do perfil aparece na Figura 3.....29

Figura 1.5. Mapa comparativo das declividades, com base nos dados nas escalas de (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000. 30

Figura 1.6. Localização dos morros e suas respectivas áreas de preservação para a escala de (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000. 32

Figura 1.7. Áreas de preservação com declividade acima de 45° nas duas escalas, (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.....33

Figura 1.8. Áreas de preservação com distância de 30 metros dos corpos d'água (APP 4) nas duas escalas consideradas, (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000. 34

Figura 1.9. Categorias de APP mapeadas para as diferentes escalas, (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.....36

Figura 2.1. Mapa de distância das estradas.....47

Figura 2.2. Mapa de distância do mineroduto.....48

Figura 2.3. Mapa de distância das pastagens. 48

Figura 2.4. Mapa de distância da cultura permanente.....48

Figura 2.5. Re-escalonamento do mapa da distância das estradas. 49

Figura 2.6. Re-escalonamento do mapa da distância do mineroduto...50

Figura 2.7. Re-escalonamento do mapa da distância das pastagens. 50

Figura 2.8. Re-escalonamento do mapa da distância da cultura permanente.....50

Figura 2.9. Função de re-escalonamento linear decrescente.....51

Figura 2.10. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto – mineroduto. 55

Figura 2.11. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto – estradas. 55

Figura 2.12. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto – pastagem.....55

Figura 2.13. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto – cultura permanente.....56

Figura 2.14. Mapa representando a soma dos fatores de impacto. 56

Figura 2.15. Mapa de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. 58

Figura 2.16. Mapa de vulnerabilidade da RPPN Cafundó e seus principais fatores impactantes.....58

Figura 3.1. Apresentação da área de estudo.....65

Figura 3.2. Fluxograma da etapa 01.....67

Figura 3.3. Fluxograma da etapa 02.....68

Figura 3.4. Hierarquia do mapa de vulnerabilidade à ação antrópica...69

Figura 3.5. Subfatores de ação antrópica. 70

Figura 3.6. Bacias de esgotamento do município de Vitória. 72

Figura 3.7. Função de escalonamento linear decrescente. 74

Figura 3.8. Fluxograma da etapa 3. 79

Figura 3.9. Área do estudo no ano de 1978. 80

Figura 3.10. Área do estudo no ano de 2003.....80

Figura 3.11. Uso do solo no ano de 1978. 82

Figura 3.12. Uso do solo no ano de 2003. 83

Figura 3.13. Uso do solo no ano de 2005. 84

Figura 3.14. Comparação das porcentagens de uso do solo para os anos 1978 e 2003. 85

Figura 3.15. Comparação das porcentagens de uso do solo para os anos

2003 e 2005. 89

Figura 3.16. Mapa de vulnerabilidade a ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão. 92

Figura 4.1. Localização da baía de Vitória. Fonte LANDSAT/ EMBRAPA, 2002. 98

Figura 4.2. Fluxograma de elaboração do mapa das alterações batimétricas no canal principal da baía de Vitória, ES. 1928 / 2002. ..102

Figura 4.3. Simulação esquemática da operação de subtração dos arquivos rasterizados da batimetria da baía de Vitória. 102

Figura 4.4. Produto final: mapa das variações batimétricas ocorridas no canal principal da baía de Vitória entre os anos de 1928 e 2002. 103

Figura 4.5. Produto final paralelo: mapa das variações batimétricas ocorridas na baía de Vitória entre os anos de 1928 e 2002. 104

Figura 5.1. Localização da bacia do rio Formate, Espírito Santo, Brasil.115

Figura 5.2. Localização dos córregos afluentes do rio Formate. 117

Figura 5.3. Fluxograma de atividades na geração da base de dados primários. 120

Figura 5.4. Fluxograma de operações de modelagem hidrológica do terreno. 121

Figura 5.5. Fluxograma de operações na geração do mapa de qualidade de água da bacia do rio Formate. 121

Figura 5.6. Sobreposição da hidrografia nos intervalos de curva de nível da bacia hidrográfica do rio Formate. 122

Figura 5.7. Classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Formate. 123

Figura 5.8. Orientação do terreno da bacia hidrográfica do rio Formate. 124

Figura 5.9. Modelo sombreado do relevo para a bacia hidrográfica do rio Formate....125

Figura 5.10. Hidrografia hierarquizada segundo Horton (1945) da bacia hidrográfica do rio Formate. 126

Figura 5.11. Mapa da variação de qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Formate. 127

Figura 6.1. Representação de bacia hidrográfica.....135

Figura 6.2. Mapa de localização da área de estudo.....139

Figura 6.3. Mapa de declividade.....142

Figura 6.4. Mapa de hipsometria.....142

Figura 6.5. Mapa de exposição do terreno. 143

Figura 6.6. Mapa de modelo sombreado do terreno.....143

Figura 6.7. Mapa de hierarquização da rede hidrográfica.....144

Figura 6.8. Mapa de uso do solo da bacia da lagoa Jacuném.....144

Figura 6.9. Mapa de zona buffer para definição das áreas de APP´s. 145

Figura 6.10. Mapa de conflito do uso do solo.....145

Figura 6.11. Mapa de conflito do uso do solo. 146

Figura 6.12. Fluxograma representando a geração da base de dados primários.....146

Figura 6.13. Fluxograma representando todas as operações que envolveram a modelagem hidrológica do terreno.....147

Figura 6.14. Fluxograma representando todas as operações que envolveram a função de análise de proximidade.....147

Figura 6.15. Fluxograma representando todas as operações que envolveram a geração do mapa de conflito de uso e ocupação do solo. 147

Figura 6.16. Vista parcial da lagoa Jacuném, ao fundo expansão industrial. 149

Figura 6.17. Vista parcial da lagoa Jacuném, ao fundo expansão industrial e movimentação de terra. 149

Figura 6.18. Trecho da lagoa com aspecto turvo e poluído. 150

Figura 6.19. Áreas desmatadas com presença de solo exposto, por quase toda bacia.....150

Figura 6.20. Ocupação residencial às margens da lagoa Jacuném. 151

Figura 7.1. Banda 1 do sensor CCD do satélite CBERS. 158

Figura 7.2. Banda 2 do sensor CCD do satélite CBERS.....159

Figura 7.3. Banda 3 do sensor CCD do satélite CBERS. 159

Figura 7.4. Banda 4 do sensor CCD do satélite CBERS. 160

Figura 7.5. Composição RGB das bandas 3, 2 e 1 do sensor CCD do satélite CBERS. 160

Figura 7.6. Componente principal da banda 2 com equalização de histograma. 161

Figura 7.7. Composição RGB da componente principal da banda 2 com a banda 1 162

Figura 7.8. Composição RGB da componente principal da banda 2 com a banda 3 162

Figura 7.9. Composição RGB da componente principal da banda 2 com a banda 4 163

Figura 8.1. Fluxograma das etapas necessárias para a geração da base de dados. 171

Figura 8.2. Fluxograma das etapas necessárias para classificação supervisionada. 173

Figura 8.3. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 1994. 174

Figura 8.4. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 1994. 174

Figura 8.5. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 1994. 175

Figura 8.6. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 1994. 175

Figura 8.7. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 2002. 176

Figura 8.8. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 2002.....176

Figura 8.9. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 2002.....177

Figura 8.10. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 2002.....177

Figura 8.11. Comparação por porcentagem das classes de uso e ocupação do solo para os anos de 1994 e 2002, do método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada. 178

Figura 8.12. Comparação por porcentagem das classes de uso e ocupação do solo para os anos de 1994 e 2002, do método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança.....179

Prefácio

Satisfação é a palavra que nos vem à cabeça quando nos referimos à obra "GEOMÁTICA & ANÁLISE AMBIENTAL: aplicações práticas", onde observamos um somatório de esforços na compilação de trabalhos científicos desenvolvidos pelos alunos do Mestrado durante a realização das disciplinas SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) e GEOMÁTICA APLICADA À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, oferecidas pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGEA – UFES).

Particular dedicação foi dada à exposição dos elementos que permitem aos leitores a análise dos seus dados, além da simples identificação do objeto, bem como extrair informações que os ajudem a descobrir a natureza intrínseca do mesmo.

O compêndio apresenta em seus capítulos os fundamentos para que os dados de Sensoriamento Remoto, SIG e Geomática possam ser explorados em sua total potencialidade.

Assim sendo, a produção deste material de cunho científico-didático é destinado a profissionais, a alunos graduandos e pós-graduandos, e de cursos técnicos da área de Geomática e afins.

Introdução

Os sistemas de informações geográficas surgiram há mais de três décadas e constituem um ambiente tecnológico e organizacional que tem, cada vez mais, ganhado adeptos no mundo todo. É interessante observar que o emprego do conceito de computação para o processamento de dados geográficos reporta-se ao século passado. Entre o final da década passada e o início da atual houve um crescimento acentuado das aplicações de SIG's, o que se deve, em parte, ao advento e à disseminação do microcomputador pessoal, além da introdução de tecnologia de relativo baixo custo e alta capacidade de desempenho, tais como as estações de trabalho.

A origem do sensoriamento remoto está associada ao surgimento dos sensores fotográficos. As fotografias aéreas foram a tecnologia dominante no período de 1860 a 1960. A partir de 1960 até os dias atuais, o sensoriamento remoto é caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores.

Assim sendo, a Geomática é a ciência e a tecnologia para obtenção, análise, interpretação, distribuição e uso da informação espacial. Já os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto são considerados ciências multidisciplinares, uma vez que envolveram e envolvem, em seu processo evolutivo, avanços em diversas áreas do conhecimento, como: Física, Química, Físico-Química, Biociências, Geociências, Ciência da Computação, Gerenciamento das Informações, Cartografia, Geodésia, Fotogrametria, Topografia, Processamento Digital de Imagens, Ciências Biológicas, Oceanografia, Engenharia Florestal, Engenharia Civil, entre outras.

CAPÍTULO 1

Comparação entre áreas de preservação permanente demarcadas a partir de diferentes escalas topográficas

André Quintão de Almeida
Bruno Berger

1.1 Introdução

Definidas pelo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965) e posteriormente consideradas reservas ecológicas (BRASIL, 1981) pela Lei nº. 6.938, as Áreas de Preservação Permanente (APP) representam locais de grande risco quanto a possíveis impactos ambientais (erosão, lixiviação, inundação etc). Conforme itens dos art. 2º e 3º da Resolução n° 303 do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2002), as categorias de APP estão definidas como terço superior dos morros, as encostas com declividade superior a 45 graus, as nascentes, margens dos cursos d´água e terço superior das sub-bacias.

A criação de APP objetiva manter inalterado o uso do solo, que deve estar coberto pela vegetação original. De maneira geral, os debates acerca da preservação e conservação da vegetação nativa merecem destaque, sobretudo aquela situada ao longo dos cursos d´água, nascentes e em regiões de topografia acidentada, sendo um dos pilares para técnicos e pesquisadores

que preconizam a sua importância para proteção dos recursos hídricos. Em um país de dimensões continentais como o Brasil, torna-se imprescindível a representação e caracterização das APP em mapas, já que auxilia no planejamento territorial, na fiscalização e ações de campo, sejam elas de âmbito local, regional ou nacional (HOTT et al., 2005).

Face ao exposto, a identificação e delimitação de APP têm despendido alguns esforços, permitindo o avanço de técnicas e sistemas empregados. O uso de geotecnologias, dentre as quais o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, tem-se mostrado eficaz quando utilizado para delimitação de APP. Ribeiro et al. (2005) demonstraram a viabilidade técnica, no que se refere à delimitação automática de áreas de preservação permanente, em uma bacia hidrográfica com topografia acidentada.

A base dos estudos de delimitação de APP são os modelos digitais de elevação (MDE). MDE é definido por Burrough (1986) como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço. Existem diferentes métodos de geração de MDE, os quais podem ser construídos, basicamente, através de grades regulares retangulares (GRID) ou redes irregulares triangulares (TIN), com a utilização de diferentes algoritmos de interpolação. Maiores informações consultar Fernandes et al. (2005).

A partir do processo de elaboração de modelos conceituais representativos da realidade, intrínseco à utilização do geoprocessamento, alguns questionamentos surgem e necessitam de investigações científicas para serem solucionados (FERNANDES et al., 2002). Embora inúmeros trabalhos visem testar o melhor método de geração de MDE, poucos são aqueles que pretendem testar a partir de qual escala cartográfica, que será utilizada como base no processo de geração do MDE, se consiga representar de maneira confiável a superfície real do terreno. Almeida et al. (2005)

observaram que o MDE gerado por curvas de nível advindas de cartas topográficas na escala de 1:10.000 representa com mais fidedignidade os aspectos relativos ao terreno, como vales, topos de morros e áreas declivosas. Ante ao exposto, o objetivo deste trabalho é comparar os valores encontrados de APP frente ao uso de cartas topográficas na escala de 1:10.000 e 1:50.000 em parte do município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo, Brasil.

1.2 Metodologia

1.2.1 Localização e caracterização da área

A área estudada está inserida no município de Alegre, com aproximadamente 1740000 m², compreendida entre as latitudes 20º 45'e 20º 50' Sul e longitudes 41º 30' e 41º 31' Oeste (Figura 1.1). O clima da região enquadra-se no tipo Cwa (clima de inverno seco e verão chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen (THORNTHWAITE, 1955). A região é caracterizada por uma topografia acidentada, intercalada por reduzidas áreas planas. Predominam as áreas de pastagens com escassos remanescentes florestais nativos localizados principalmente nos topos dos morros (NASCIMENTO et al., 2005).

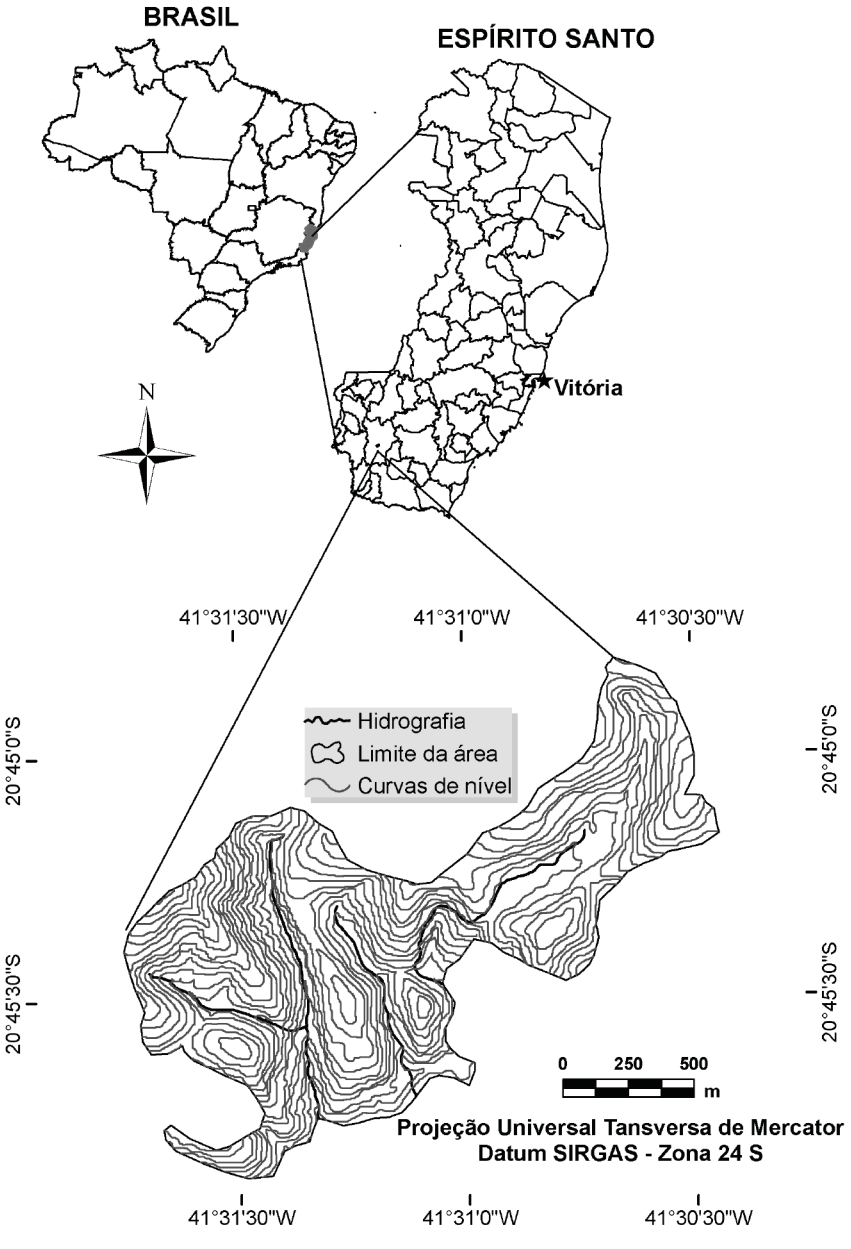


Figura 1.1. Localização geográfica da área de estudo.

1.2.2 Material utilizado

As informações de referência utilizadas na análise (curvas de nível e hidrografia) foram extraídas de duas cartas topográficas da região. Uma na escala de 1:50.000 e outra na escala de 1:10.000, produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF), respectivamente. Na primeira, as curvas de nível apresentam eqüidistância de 20 metros, e na segunda, de 10 metros. Ambas as cartas estão na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Córrego Alegre, zona 24 Sul.

A base de dados e as análises foram implementadas no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas – SPRING (CÂMARA, 1996) –, sendo que a entrada de dados foi executada manualmente através de uma mesa digitalizadora, com base nos atributos dos mapas de origem.

1.2.3 Modelo digital de elevação (MDE)

O espaçamento da grade contínua do MDE, resultante do processo de interpolação dos dados de altimetria para ambas as escalas, teve uma resolução espacial de 10 metros. Ao manter uma mesma resolução, possibilitou-se posterior comparação entre os valores de APP.

A escolha do melhor interpolador depende diretamente da intenção de uso, do tipo de terreno que se queira representar e da disponibilidade dos dados de entrada. A bibliografia mostra alguns trabalhos que testam o melhor modelo para a confecção de MDE (veja, por exemplo, MARK, D. M, 1975, FERNANDES, et al., 2005), entretanto, não há nenhum consenso definitivo sobre este assunto.

O interpolador utilizado no processo foi o do Inverso do Quadrado da Distância (IDW) (Eq. 1), no qual o valor do pixel a ser estimado é calculado através da combinação linear

do valor dos vizinhos da amostra, onde o peso de cada vizinho é uma função inversa da distância do mesmo até o ponto a ser calculado (WATSON & PHILIP, 1985).

O algoritmo matemático utilizado foi:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^p} z_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^p} z_i} \qquad (1)$$

Em que: $\hat{Z}$ = valor calculado; d = distância de um dado ponto conhecido i; z = valor de z do ponto conhecido i; p = expoente de ponderação da distância; n = número de pontos a serem incluídos na procura; i = número de pontos conhecidos a serem tomados em conta.

Com o objetivo de avaliar os dois modelos digitais de elevação gerados, confrontaram-se algumas de suas características topográficas, tais como: subtração de um MDE pelo outro, com o intuito de verificar as maiores diferenças entre os valores de altitude; extração de perfis topográficos em posição geográfica exatamente análoga entre os MDE, com fim de identificar qual modelo representa melhor o terreno e comparação entre os valores de declividade.

1.2.4 Delimitação das áreas de preservação permanente

Foram consideradas as APP dos topos de morros, encostas e córregos (BRASIL, 2002c). Para obtenção da área de proteção ao longo da hidrografia estudada, foram estabelecidas zonas tampões com 30 m em cada margem, visto que a largura de cada córrego no período chuvoso não ultrapassa 10 m.

As demais categorias de APP tomam como base o MDE gerado. As áreas com declividade superior a 45º ou 100%, foram identificadas a partir de classificação realizada no

SIG. Identificados os topos de morros, a delimitação das áreas equivalentes ao seu terço superior foi realizada através da indicação dos seus topos e a suas respectivas bases, delimitando-se assim as áreas a serem enquadradas nessa categoria de APP. Todo o processo descrito anteriormente foi realizado para ambas as escalas. A análise quantitativa das áreas de preservação nas diferentes escalas envolvidas foi realizada por meio da comparação direta do valor total encontrado por categorias de APP.

1.3 Resultados e discussão

1.3.1 Análise dos MDE

Na primeira fase desse trabalho, realizaram-se as análises sobre os MDE. Na Figura 1.2 podem-se observar os MDE classificados de 20 em 20 metros. Nota-se que, de forma geral, as principais feições do relevo são comuns a ambas as imagens, como os vales de drenagem, representado nas tonalidades mais escuras. Na Figura 1.2a (escala 1:10000), entretanto, percebe-se um maior detalhamento da superfície do terreno. O modelo 1:10.000 apresentou 190m como altitude mais baixa e 440m como a mais alta, enquanto o modelo 1:50.000 apresentou as altitudes 140m e 460m, respectivamente.

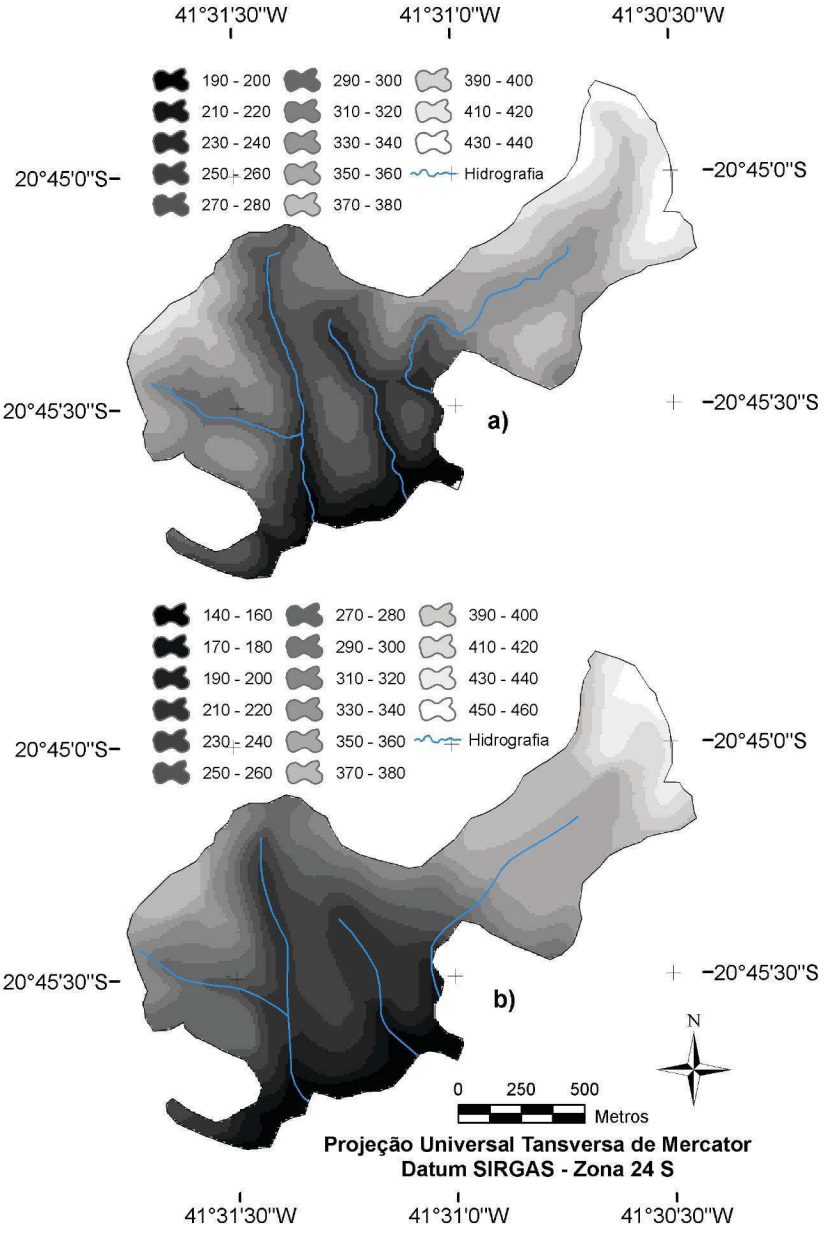


Figura 1.2. Modelos digitais de elevação classificados de 20 em 20 metros na escala de (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.

As Tabelas 1.1 e 1.2 mostram as classes de altitude de 20 em 20 metros usadas para calcular os valores médios de altitude. Mesmo apresentando um maior valor de altitude (460m), a escala de 1:50.000 apresentou um valor altimétrico médio de 284m, 27 metros menor do que a outra escala em questão.

Tabela 1.1. Classes de altitude geradas a partir da classificação do MDE gerado a partir da escala de 1:10.000.

1	2	3	4	5
Cotas (m)	**Ponto médio (m)**	**Área (m²)**	**%**	**Coluna 2 x coluna 3**
190 - 200	195	49500	2.84	9652500
200 - 220	210	62500	3.59	13125000
220 - 240	230	109300	6.27	25139000
240 - 260	250	172200	9.88	43050000
260 - 280	270	203400	11.67	54918000
280 - 300	290	180900	10.38	52461000
300 - 320	310	173300	9.94	53723000
320 - 340	330	223100	12.80	73623000
340 - 360	350	178700	10.25	62545000
360 - 380	370	133900	7.68	49543000
380 - 400	390	97800	5.61	38142000
400 - 420	410	99700	5.72	40877000
420 - 440	430	58800	3.37	25284000
Total		**1743100**	**100**	**542082500**

Altitude média = $\frac{542082500}{1743100}$ = 311 m

Tabela 1.2. Classes de altitude geradas a partir da classificação do MDE gerado a partir da escala de 1:50.000.

1	2	3	4	5
Cotas (m)	**Ponto médio (m)**	**Área (m²)**	**%**	**Coluna 2 x coluna 3**
140 - 160	150	81800	4.69	12270000
160 - 180	170	62300	3.57	10591000
180 - 200	190	79700	4.57	15143000
200 - 220	210	221500	12.70	46515000
220 - 240	230	162400	9.31	37352000
240 - 260	250	102400	5.87	25600000
260 - 280	270	175200	10.04	47304000
280 - 300	290	122000	6.99	35380000
300 - 320	310	127200	7.29	39432000
320 - 340	330	72100	4.13	23793000
340 - 360	350	200000	11.47	70000000
360 - 380	370	153600	8.81	56832000
380 - 400	390	46800	2.68	18252000
400 - 420	410	60800	3.49	24928000
420 - 460	430	56500	3.24	24295000
460 - 480	450	20000	1.15	9000000
Total		**1744300**	**100**	**496687000**

Altitude média = $\frac{496687000}{1744300}$ = 284 m

Ao subtrair um MDE pelo outro é possível verificar-se em quais locais houve maior diferença entre os dois modelos. A Figura 1.3 ilustra, em branco, locais onde o modelo 1:50.000 mostrou altitudes mais altas que o modelo 1:10.000 e, em preto, locais onde o modelo 1:10.000 apresentou esse comportamento em relação ao modelo 1:50.000. A diferença máxima negativa (em que os valores do MDE 1:10.000 foi menor que os do 1:50.000) foi de -87m e a máxima positiva (em que se deu o contrário) foi de aproximadamente 70m.

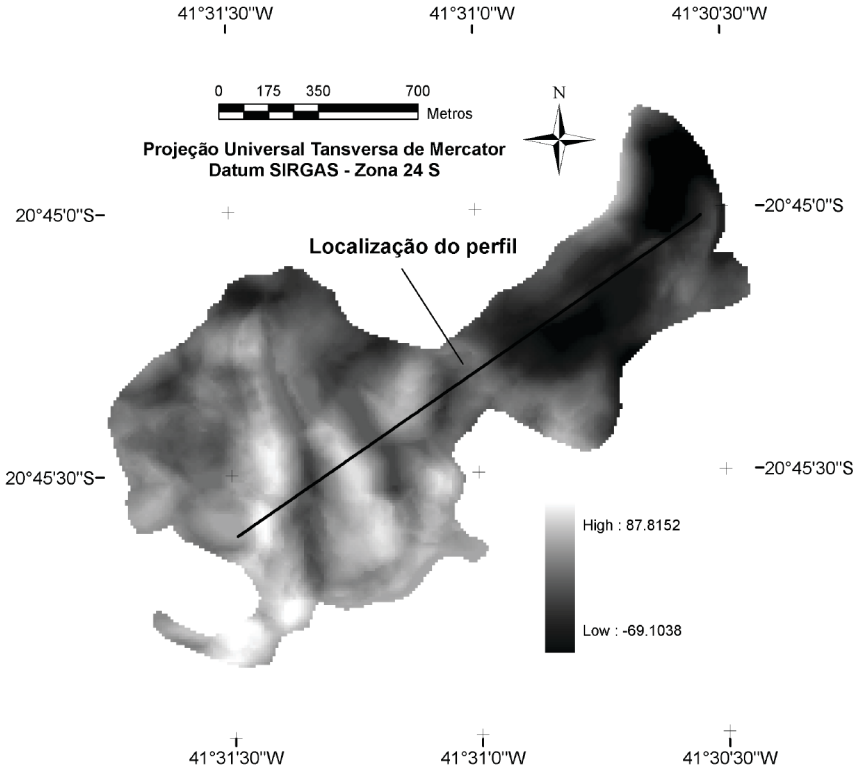


Figura 1.3. Imagem diferença dos MDE extraídos dos dados nas diferentes escalas, com destaque na localização do perfil topográfico.

A Figura 1.4 mostra a comparação de perfis topográficos extraídos de cada um dos modelos, para uma mesma região, a partir dos quais se pode perceber uma não correlação entre os mesmos. O perfil na escala de 1:10.000 apresentou a altitude mínima de 237m e máxima de 410 m, enquanto o perfil 1:50.000 apresentou os valores 218m e 420m, respectivamente. Segundo Melgaço et al. (2005), a potencialidade dos MDE é função da sua resolução horizontal e vertical.

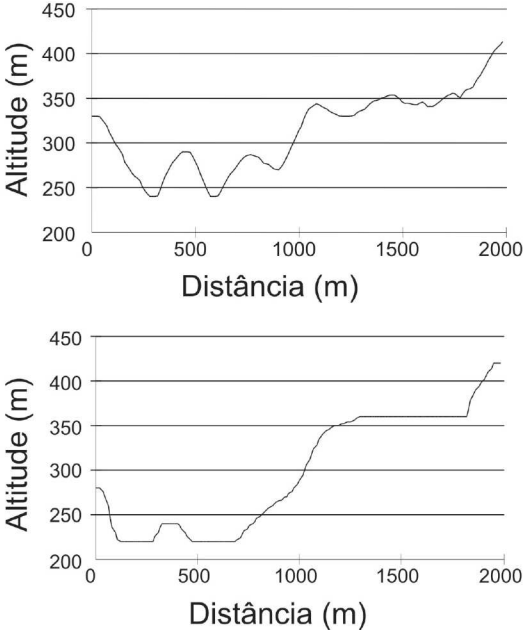


Figura 1.4. Comparação entre perfis topográficos extraídos dos MDE: (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000. A localização do perfil aparece na Figura 3.

Na Figura 1.5 é possível comparar os mapas de declividade. A declividade varia de acordo com a escala de cinza apresentada. Em preto estão as áreas menos declivosas e, em branco, as mais declivosas. Observa-se maior detalhamento da declividade no mapa na escala de 1:10.000 devido a uma maior proximidade das curvas de nível das cartas. É patente

que o mapa de declividade gerado a partir da carta de 1:50.000 tende a classificar as áreas em classes menos declivosas do que a realidade, principalmente nas áreas mais planas, onde é maior o espaçamento entre as curvas de nível. Resultado semelhante é encontrado em Gouvêa et al. (2005), onde o autor trabalhou com MDE gerados com base em dados do IBGE e da Missão Topográfica por Radar Interferométrico, ou Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

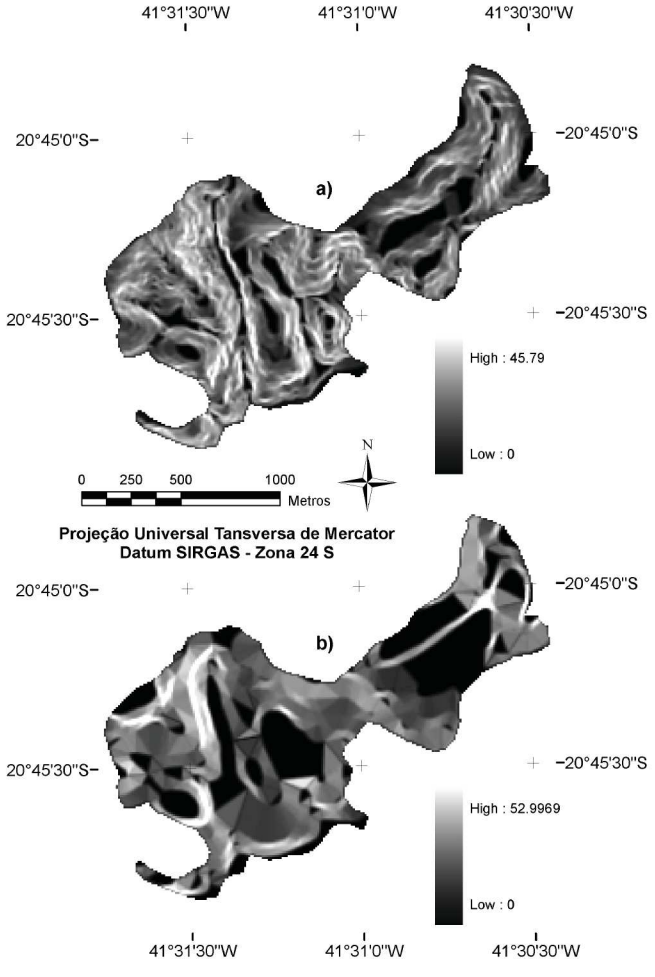


Figura 1.5. Mapa comparativo das declividades, com base nos dados nas escalas de (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.

1.3.2 Áreas de preservação permanente

Na segunda fase desse trabalho, conforme itens dos art. 2º e 3º da Resolução nº 303 do CONAMA, as categorias de APP foram delimitadas. Na ocasião do estudo, as elencadas foram aquelas situadas no terço superior dos morros − (APP1), nas encostas com declividade superior a 45 graus ou superior a 100% − (APP2) e margens dos cursos d´água – (APP3).

A primeira categoria mapeada foi aquela correspondente ao terço superior dos morros. Os cumes pertencentes à área foram identificados. Observa-se na parte (a) da Figura 1.6 (escala 1:10.000), representado por "x", a existência de dez topos de morros. Na parte (b) da mesma figura, correspondente à escala de 1:50.000, verificou-se apenas sete cumes. O terço superior dos morros, tal como se apresenta na parte (a) da Figura 1.6 e na Tabela 1.3, ocupa uma área de 436300,00 m², ou seja, aproximadamente 54,43% da área analisada quando for considerada a maior escala. Ao analisar a parte (b) da Figura 1.6 e a Tabela 1.3, temos apenas 48100,00m² da categoria de APP2 correspondente à escala de 1:50.000. Percebe-se uma diferença nos valores encontrados, o que corresponde a um acréscimo de área de aproximadamente 89% quando se aumenta a escala em 5 vezes.

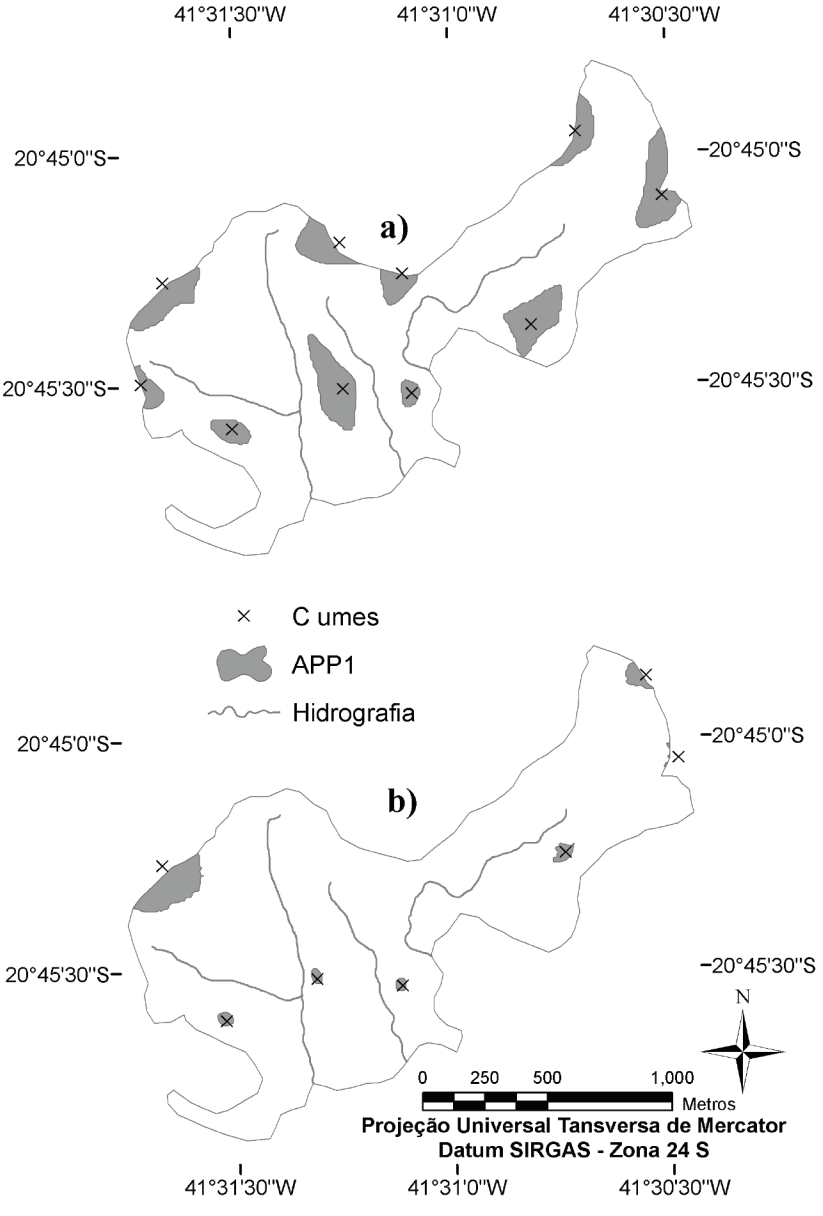


Figura 1.6. Localização dos morros e suas respectivas áreas de preservação para a escala de (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.

As áreas com declividade acima de 100% são representadas na Figura 1.7, sendo que na parte (a) para a escala de 1:10.000 e na (b) para 1:50.000. Observa-se uma diferença (Tabela 1.3) de 37800,00 m² de área mapeada entre as escalas.

Figura 1.7. Áreas de preservação com declividade acima de 45° nas duas escalas, (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.

Na Figura 1.8 mostram-se as APP3 com uma largura uniforme de 30m. Na escala de 1:50.000, essa categoria corresponde a 204900 m² (59,36%) do total, contribuindo assim com a maior porcentagem (Tabela 1.3). Pode-se notar que a contribuição dessa mesma categoria aos dados compatíveis à escala de 1:10.000 é de 235300,00 m² .

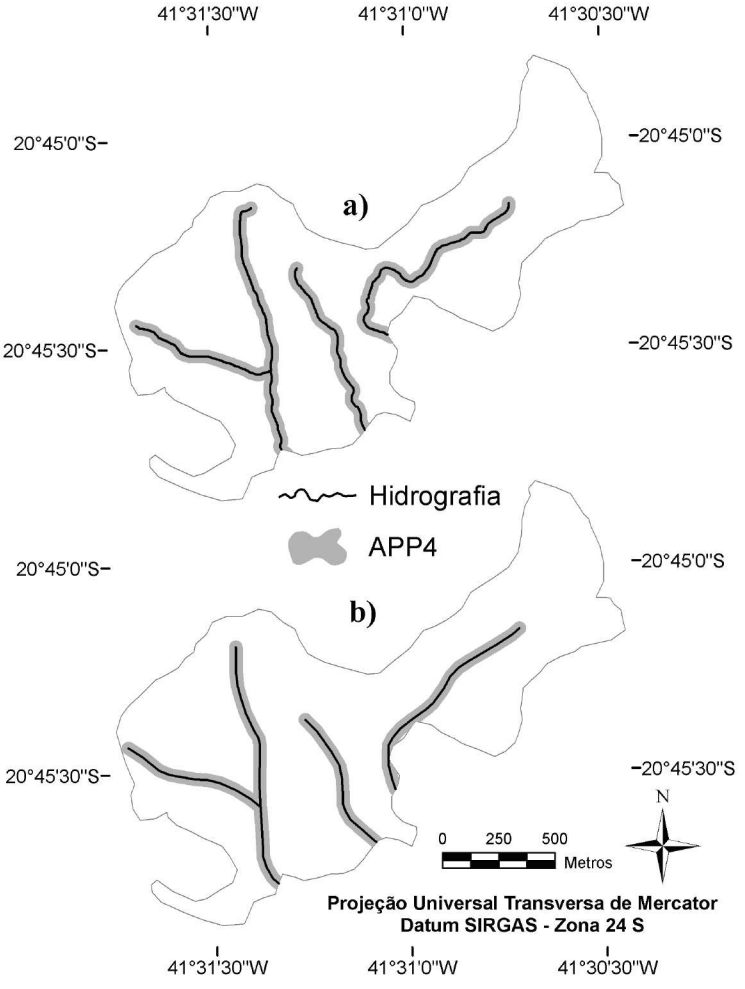


Figura 1.8. Áreas de preservação com distância de 30 metros dos corpos d'água (APP 4) nas duas escalas consideradas, (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.

A Figura 1.9 ilustra a distribuição espacial de todas as áreas de preservação permanente na região estudada. Estabelece-se uma comparação visual entre os resultados obtidos mediante o uso da (a) maior escala e os conseguidos pelo uso da (b) menor escala. Considerando as três categorias mencionadas, o código florestal promove a proteção efetiva de 530571,00 m², o que corresponde a 30,0% da área total da região de estudo, fazendo-se uso da maior escala. A parte (b) da Figura 1.9 representa o total de áreas de preservação encontrado na escala de 1:50.000, perfazendo uma área de 310349,00 m² representando aproximadamente 17,8% do total analisado. Hott et al. (2005), em estudo de delimitação de áreas de preservação para o estado de São Paulo, observaram uma redução de 76% nessas áreas com a diminuição da escala, quando comparados dados compatíveis à escala de 1:50.000 e 1:250.000.

Tabela 1.3 - Áreas de preservação em hectares, segundo as diferentes categorias mapeadas em ambas as escalas.

Categoria de APP	Área em m²		Diferença
	Escala 1:10.000	Escala 1:50.000	
APP 1	436300,00	48100,00	388200,00
APP 2	98600,00	60800,00	37800,00
APP 3	235300,00	204900,00	30400,00

É importante ressaltar que para uma mesma unidade de área do terreno podemos enquadrá-la em diferentes classes de áreas de preservação permanente, ou seja, ocorre a sobreposição de áreas. Tal alusão fica em evidência ao se analisar a Tabela 1.3 e os valores totais de APP. Se considerarmos os valores individuais de cada classe de APP encontrada, e, após somá-los, compararmos ao valor total, notaremos valores distintos quanto ao total individualizado de áreas de preservação.

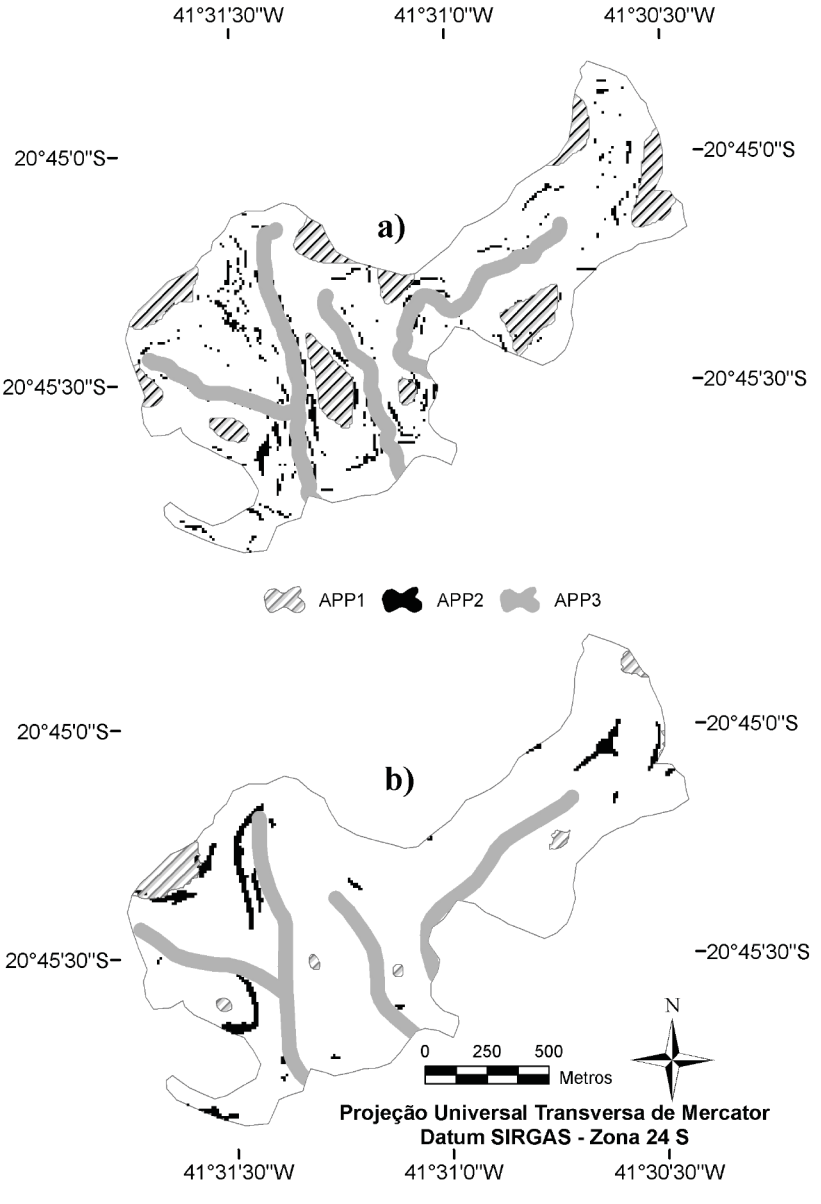


Figura 1.9. Categorias de APP mapeadas para as diferentes escalas, (a) 1:10.000 e (b) 1:50.000.

1.4 Conclusões

Na avaliação dos MDE gerados foi constatado, mediante a utilização de duas escalas topográficas, que os dados altimétricos relativos à escala de 1:10.000 foi o que mostrou melhor desempenho. Na área analisada, o comportamento dos dois modelos analisados mostrou diferenças significativas, com uma resposta melhor para o MDE gerado a partir da escala de 1:10.000. Tais diferenças entre os dois modelos também foram confirmadas no cálculo das áreas de preservação, visto que as categorias consideradas dependem do MDE.

Para a área testada, verificou-se que a delimitação de áreas de APP em topos de morros é aproximadamente 89% maior, ao se utilizar dados na escala de 1:10.000, quando comparados com dados na escala de 1:50.000. Nota-se também na área em questão, que a porcentagem de APP reduz cerca de 40% com a diminuição da escala considerada.

1.5 Referências

ALMEIDA, A. Q. SANTOS, A. R. PEZZOPANE, J. E. M. TULLI, L. M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por cartas topográficas em diferentes escalas. in: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé, RJ 2005. **Anais**, p. 88 - 98, 2005.

BRASIL. Lei federal no 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal brasileiro).

BRASIL . Lei federal n° 6.938, de 31 de agosto de 1981 (política nacional do meio ambiente).

BRASIL. Congresso. Senado. Resolução n. º 303, de 20 de mar de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/>. Acesso em: 25 ago. 2006.

BURROUGH, P.A. Principles of Geographical Information

Systems For Land Resources Assessment. **Monographs on Soil and Resources Survey.** nº 12, New York: Oxford University Press, 1986, 193 p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. "Spring: Integrating Remote Sensing And Gis By Object-Oriented Data Modelling". **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

FELGUEIRAS, C.A. **Desenvolvimento De Um Sistema De Modelagem Digital De Terreno Para Microcomputadores**. São José Dos Campos: Inpe, 1987. 243p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) − Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987.

FERNANDES, M. C.; MENEZES, P.M.L. Comparação entre Métodos para Geração de MDE para a Obtenção de Observações em Superfície Real no Maciço da Tijuca − Rj. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, Ano 5, v. (5): 2005, 53 – 68.

FERNANDES, M. C.; MENEZES, P.M.L. & Paes, M. Avaliação de Ferramentas e Métodos de Análise Frente às Necessidades Geoecológicas. In: **Revista de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ**, Ano 5, v. (5): 2002, 53 – 68.

GOUVÊA, J. R. F.; VALLADARES, G. S.; OSHIRO, O. T.; MANGABEIRA, J. A. de C. Comparação dos Modelos Digitais de Elevação Gerados com Dados SRTM e Cartas IBGE na Escala 1:250.000 na Região da Bacia do Camanducaia no Estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais**... São José Dos Campos: Inpe, 2005. p. 2191-2193.

HOTT, M. C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E. de. Um Método para a Determinação Automática de Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morros para o Estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos:

Inpe, 2005. p. 3061-3068.

MARK, D.M. Computer analysis of topography: a comparison of terrain storage methods. In: **Geografiska Annaler**, 1975, 57/A, 3 - 4: 179 - 188.

MELGAÇO, L.DE M.; FILHO, C. R. DE S.; STEINMAYER, M. Comparação entre Modelos Digitais de Elevação Gerados por Sensores Ópticos e Por Radar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos: Inpe, 2005. p. 1215-1220.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. In: **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 207-220, 2005.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. O Desafio da Delimitação de Áreas de Preservação Permanente. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n° 2, 2005.

TARBOTON D. G., R. L. BRAS, I. RODRIGUEZ-ITURBE. 'On The Extraction Of Channel Networks From Digital Elevation Data', **Hydrological Processes**. v. 5, 81-100, 1991.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 125p.

WATSON, D.F., AND G.M. PHILIP. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. **Geoprocessing**, 2:315-327, 1985.

CAPÍTULO 2

Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó

Marcus Vinícius Sossai Berger
Márcio Corrêa da Silva
Jeanne Cristine Schmidt Saldanha

2.1 Introdução

O Brasil é um dos principais países entre aqueles detentores de megadiversidade biológica, possuindo entre 15 e 20 % do número total de espécies do planeta (MYERS et al., 2000).

Os ecossistemas brasileiros encontram-se extremamente fragmentados e a agricultura tem sido apontada como uma das principais responsáveis por esta fragmentação. Isto se deve, principalmente, à grande extensão de área envolvida e à velocidade e à maneira desordenada com que tem sido desenvolvida (RODRIGUES, 1986).

Além de causar prejuízos diretos à biodiversidade das espécies nativas, a agricultura pode proporcionar prejuízos indiretos através da introdução de espécies exóticas, poluição por pesticidas, compactação e erosão do solo etc. (RIBEIRO & SILVA, 1996). Segundo Turner (1996), a manipulação de ambientes tropicais tem conseqüências para a biodiversidade nos níveis de paisagem e de fragmento florestal. As principais conseqüências da fragmentação da paisagem são: a redução do

habitat disponível em fragmentos e o grau de isolamento dos mesmos (LOVEJOY et al., 1986). A influência e intensidade dos distúrbios causados pelo homem e a natureza da vegetação circundante são fatores preponderantes sobre o número de espécies de um fragmento (TURNER & CARLETT, 1996).

Os mecanismos de extinção da biota nativa estão relacionados com os processos de fragmentação e incluem os efeitos deletérios da interferência humana durante e após o desmatamento (VERMEIJ, 1986). Os fragmentos florestais, segundo VIANA et al. (1992), devem ser vistos como resultado de diferentes histórias de perturbação da vegetação, nos quais inúmeros fatores interagiram ao longo do tempo. Para se entender a estrutura e a dinâmica atual de um determinado fragmento, é importante reconstruir ao máximo a história da vegetação local. A criação de fragmentos implica na criação de uma borda, ou seja, uma região de contato entre a área ocupada com agricultura e o fragmento de floresta (RODRIGUES, 1993).

Forman & Godron (1986) definiram o efeito de borda como uma modificação na abundância relativa e na composição de espécies na parte marginal de um fragmento. Segundo Rodrigues (1993), os efeitos de borda são divididos em dois tipos: abióticos ou físicos e os biológicos diretos e indiretos. Os efeitos abióticos envolvem mudanças nos fatores climáticos ambientais, como a umidade, a radiação solar e o vento. Os efeitos biológicos diretos envolvem mudanças na abundância e na distribuição de espécies, provocados pelos fatores abióticos nas proximidades das bordas, como, por exemplo, o aumento da densidade de plantas devido ao aumento da radiação solar. Os indiretos envolvem mudanças na interação entre as espécies, como predação, parasitismo, herbívora, competição, dispersão de sementes e polinização.

Estudos biológicos da Mata Atlântica são da mais absoluta urgência. Esta necessidade nasce da escassez de áreas bem

preservadas e da extrema vulnerabilidade deste ecossistema como um todo. Além disso, o conhecimento da biodiversidade é condição básica para medidas de conservação, uso, manejo e recuperação do ecossistema (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 1992, 1998, 2003).

Considerando as vastas extensões de terras que estão em mãos de proprietários particulares, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) previu as RPPN's. Estas devem ter como objetivo principal a conservação da diversidade biológica, papel fundamental na conservação dos ecossistemas nativos e dos recursos naturais (MESQUITA & VIEIRA, 2004).

Gerir essa riqueza demanda ações urgentes, fundamentadas em uma metodologia de conservação e espelhada em políticas públicas que representem as aspirações da sociedade, dada a intensa e rápida destruição dos habitat no globo (WILSON, 1988).

Existem vários métodos para monitoramento e avaliação de impactos ambientais. No entanto, os que se tornam mais viáveis, do ponto de vista econômico, são os que utilizam SIG. Os SIG são definidos como as funções que realizam análises espaciais utilizando as informações geográficas armazenadas na base de dados espaciais e realizando simulações sobre os fenômenos do mundo real. Diversas são as possibilidades de análises espaciais disponíveis em um SIG. Nesse sentido, busca-se discutir o processo de Inferência Geográfica (RUHOFF et al., 2005).

Para Cox (1994), um benefício significante dos modelamentos baseados em lógica fuzzy é a habilidade de codificação de conhecimentos inexatos, numa forma que se aproxima muito aos processos de decisão. Os sistemas de inferências baseados em lógica fuzzy possibilitam, assim, a captura do conhecimento próximo ao "modelo cognitivo" utilizado na análise de problemas. Isto significa que o processo de aquisição

de conhecimento é mais fácil, mais confiável e menos sujeito a erros não identificados. O conjunto fuzzy, segundo Burrough & McDonnell (1998), é uma metodologia de caracterização de classes que não possuem, por várias razões, limites rígidos ou estáticos.

Tais conjuntos lidam com conceitos inexatos, sendo indicado para estudos que apresentam ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos. Burrough (1992) demonstra como as incertezas nos valores dos atributos dos mapas causam erros nos resultados das inferências espaciais efetuadas segundo modelamentos booleanos e fuzzy. Os resultados obtidos por esse autor sugerem que a utilização da técnica fuzzy pode reduzir drasticamente a propagação de erros através de modelos lógicos, fornecendo informações mais confiáveis.

Atualmente, existem vários operadores de inferência espacial para a integração de dados, dentre as quais destaco os modelos Bayesiano, Redes Neurais, Média Ponderada e o Processo Analítico Hierárquico. Neste trabalho será usada a Inferência fuzzy Ponderada (AHP), pela maior facilidade e simplicidade de modelagem, bem como uma melhor adaptação aos objetivos propostos por este trabalho. A técnica AHP classifica e transforma os dados para um espaço de referencia entre [0 e 1], ou seja, entre [0 e 100%]. Nesse sentido, obtém-se, ao invés de um mapa temático com limites rígidos, uma superfície de decisão numérica que representa uma variação contínua (e. g.: da fragilidade ambiental). No exemplo, a superfície numérica de decisão permite construir um cenário que pode espelhar diferentes compromissos na tomada de decisões ambientais, privilegiando-se maior proteção ambiental ou otimizando a exploração econômica e agrícola (e. g.).

Segundo Câmara et al. (2001), o Processo AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência

dos julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências e probabilidade entre dois critérios.

Estudos que otimizem o manejo e a recuperação, principalmente dos fragmentos florestais, são imprescindíveis, sendo o SIG, de forma geral, uma ferramenta da qual se pode obter informações importantes atendendo a esta expectativa.

Desta forma este estudo de caso objetivou demonstrar como as ferramentas do SIG podem ser empregadas em avaliações de impacto antrópico em fragmentos florestais naturais, auxiliando na tomada de decisão com relação ao manejo e preservação dos mesmos.

2.2 Metodologia

A metodologia para construção do Mapa de Vulnerabilidade à Ação Antrópica baseou-se nos trabalhos de Rosot et al. (2000). Sendo assim, este estudo procurou adaptar a metodologia dos autores supracitados para fragmentos florestais como a RPPN Cafundó, por meio do levantamento e da delimitação dos possíveis agressores ao meio ambiente, seguidos do cruzamento de uma série de informações, podendo-se avaliar a distribuição espacial e definir locais de maior ou menor grau da vulnerabilidade.

2.2.1 Área de estudo

A RPPN Cafundó, criada em 1998 com cerca de 517 hectares, localiza-se em Cachoeiro de Itapemirim, município do estado do Espírito Santo. Foram catalogadas cerca de 240 espécies de aves e 37 mamíferos. Os grupos de invertebrados (moluscos e insetos) também já foram inicialmente investigados, tendo sido detectada a presença de espécies endêmicas da Mata

Atlântica e ameaçadas de extinção (MESQUITA & VIEIRA, 2004).

2.2.2 Descrição dos fatores impactantes

Segundo levantamento realizado por este estudo, os fatores que afetam a RPPN Cafundó são provenientes da proximidade do mineroduto, das estradas, das pastagens e da cultura permanente.

As características apontadas para justificar a escolha destes fatores estão descritas abaixo:

• A preocupação maior em relação ao mineroduto baseia-se em vazamentos que possam ocorrer. Tendo em vista as características físico-químicas da polpa de minério, esta comprometerá o ecossistema existente ao entorno de um vazamento, prejudicando o crescimento de plantas e a qualidade dos corpos hídricos.

• A proximidade de uma estrada de rodagem a uma RPPN pode trazer conseqüências ambientais tais como: o grande efeito poluidor dos gases liberados pelos escapamentos dos automóveis, resíduos sólidos jogados às margens das rodovias, a facilidade de acesso, favorecendo a coleta de plantas, principalmente ornamentais, e o risco para a fauna no que diz respeito à maior probabilidade de atropelamento.

• A remoção da vegetação nativa para implementação de pastagens, sem considerar a aptidão das terras e sem a adoção de práticas de manejo e técnicas de conservação de solo, acelera o processo erosivo e o conseqüente assoreamento nas regiões em questão, mas o principal impacto é causado pelo hábito local de queimar as pastagens para limpeza e renovação da pastaria.

• A cultura permanente em áreas extensas restringe o fluxo gênico da fauna e interfere sutilmente na flora local. Problemas

com a polinização podem se originar, promovendo a supremacia de algumas espécies vegetativas, comprometendo a diversidade biológica. Juntamente com esta prática agrícola, as queimadas, novamente, são utilizadas como técnica de limpeza dos campos.

2.2.3 Procedimentos computacionais

O banco de dados foi formado por meio das bases digitais referentes ao município de Cachoeiro de Itapemirim, adquiridos através do SIHBRI – Sistema de Informações Hidrológicas da Bacia do Rio Itapemirim. Foram elaborados mapas contendo, individualmente, cada fator a ser analisado: mineroduto, cultura permanente, estradas, pastagem. Por conseguinte, foram convertidas da forma vetorial para a raster, em ambiente do ARCGIS 8.3, passando para o software IDRISI 3.2, onde as análises lineares foram realizadas.

A análise baseou-se na lógica fuzzy. Para a confecção de um mapa de vulnerabilidade é necessário empregar métodos estatísticos que possibilitem atribuir pesos aos fatores envolvidos na análise. Agregando-se os quatro fatores considerados (proximidade de estradas, de pastagem, de cultura permanente e de mineroduto), por meio do método de combinação linear ponderada disponível no software utilizado é possível definir o grau de vulnerabilidade de cada pixel na imagem da área ocupada pela RPPN. O método, por um lado, contempla o rigor matemático da análise e, de outro, permite visualizar os resultados intermediários e o mapa final de forma simples.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Mapa de distância linear

Após a delimitação e posterior conversão dos dados levantados, iniciou-se a fase de representação das informações de forma similar, objetivando criar mapas que representem a distância dos fatores levantados em relação ao ambiente que sofre impactos dos mesmos.

Para representar a distância de um determinado impacto, gerou-se um mapa de distância linear que é a representação da distância linear em metros, existente entre a área de estudo e os fatores impactantes (levando em consideração os limites da imagem gerada). Portanto, para cada impacto levantado foi gerado um mapa de distância correspondente (Figuras 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4).

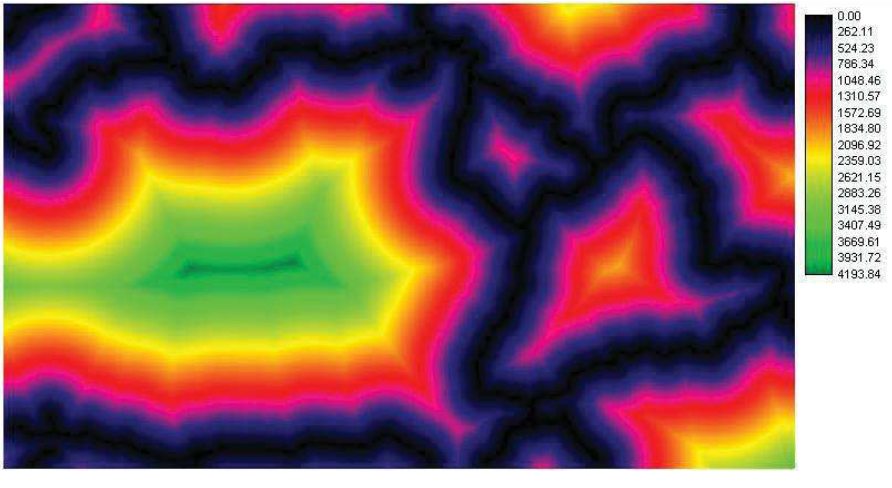


Figura 2.1. Mapa de distância das estradas.

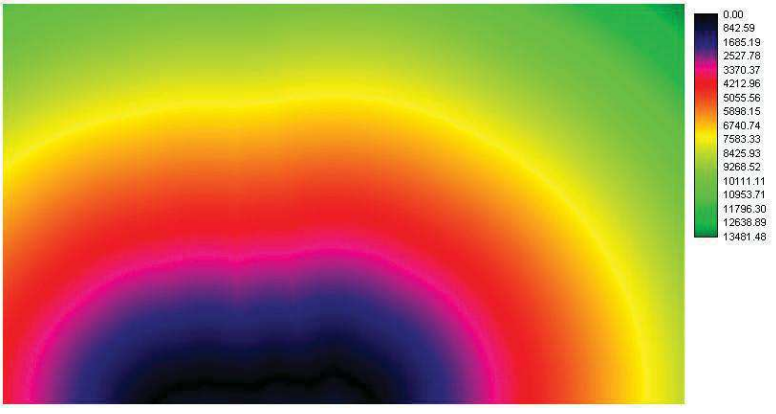


Figura 2.2. Mapa de distância do mineroduto.

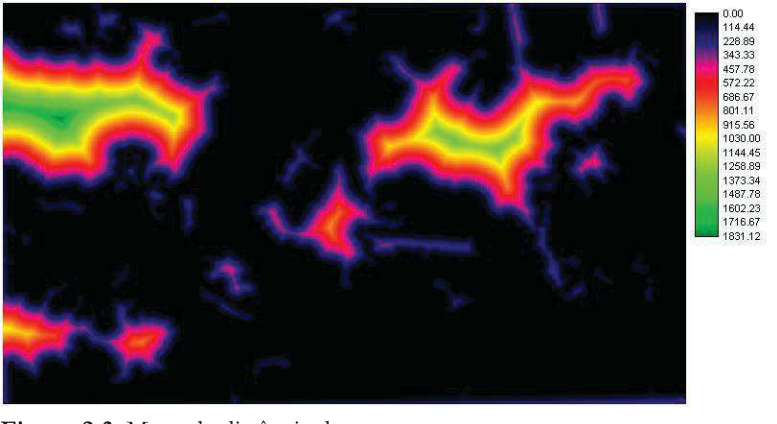


Figura 2.3. Mapa de distância das pastagens.

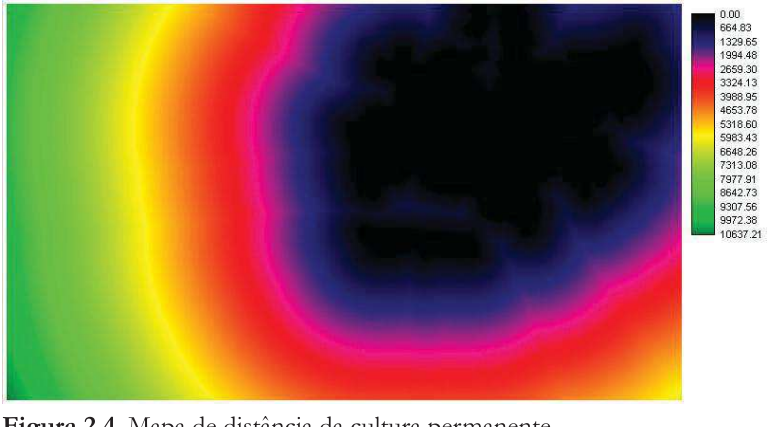


Figura 2.4. Mapa de distância da cultura permanente.

2.3.2 Padronização dos fatores

A padronização dos fatores de distância considera que, apesar dos impactos estarem em localizações diferentes, dentro da área em estudo há uma necessidade de se classificar essa distância numa mesma escala de valores para fins de comparação.

Em outras palavras, a idéia é que se tenha mapas de distância da área que, apesar de estarem em localizações diferentes, terão, além disso, valores comuns de distância, mas que não perderão seu caráter espacial único, ou seja, sua localização absoluta.

Dessa forma optou-se por usar o comando fuzzy, que permite o re-escalonamento das distâncias para uma escala linear decrescente que varia de 0 a 255, sendo que há uma entrada com o menor e o maior valor do mapa de distância (Figuras 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8).

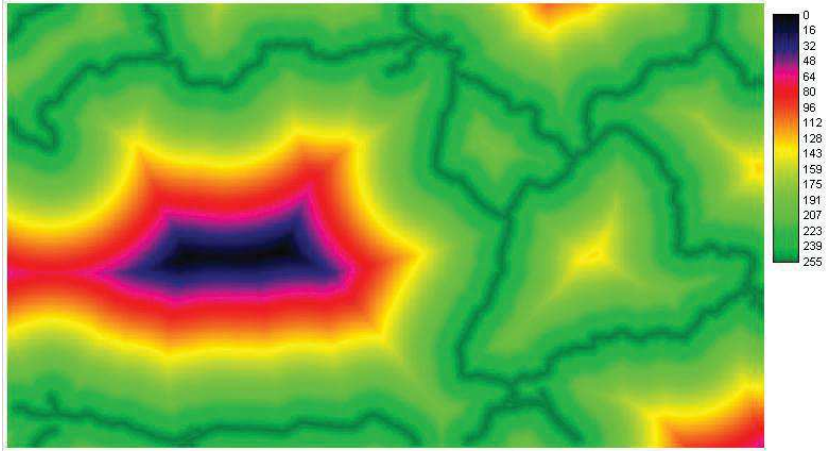


Figura 2.5. Re-escalonamento do mapa da distância das estradas.

Figura 2.6. Re-escalonamento do mapa da distância do mineroduto.

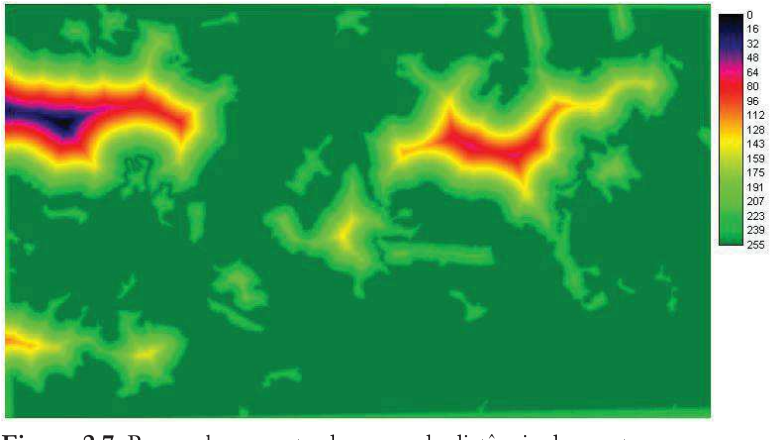


Figura 2.7. Re-escalonamento do mapa da distância das pastagens.

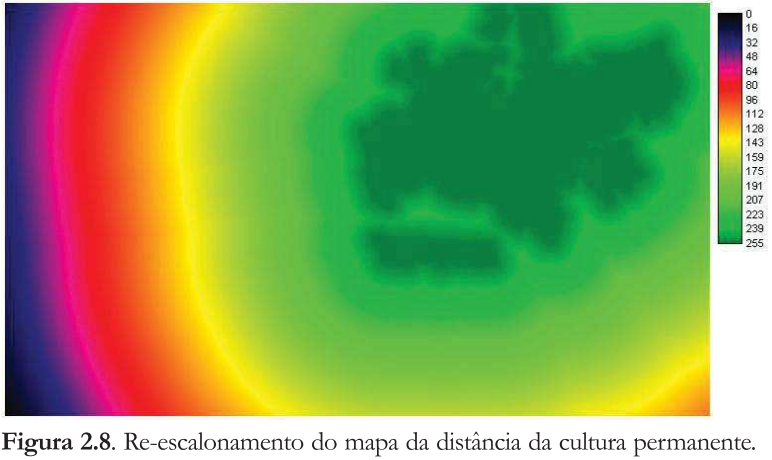


Figura 2.8. Re-escalonamento do mapa da distância da cultura permanente.

A Figura 2.9 demonstra a relação existente entre esta etapa e a vulnerabilidade da RPPN em relação aos impactos, onde o ponto C equivale ao menor valor de distância encontrado entre todos os mapas de distância gerados, e o ponto D, o maior valor respectivamente.

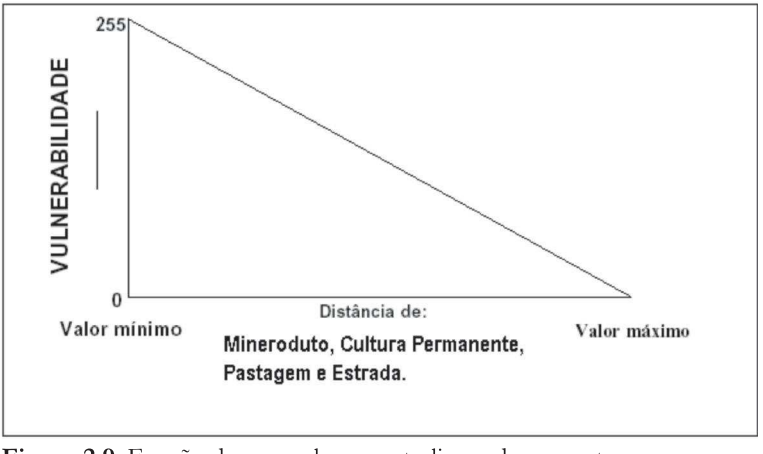


Figura 2.9. Função de re-escalonamento linear decrescente.
Fonte: ROSOT e colaboradores (2000), adaptado.

2.3.3 Matriz de comparação pareada

O programa IDRISI32 faz uso do conceito de Saaty (1977), por meio do Processo Analítico Hierárquico, em que cada fator de impacto pode ser medido quantitativamente numa escala de importância, sendo posteriormente estes valores colocados numa matriz de relacionamento, ou matriz de comparação pareada, com os outros impactos, podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre os impactos ambientais determinados.

O método de elaboração da matriz faz uso de uma escala de comparação em que se pode definir linearmente a hierarquia de importância entre os fatores pré-definidos (Estradas, Mineroduto, Pastagem e Cultura Permanente), mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Escala de comparadores.

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1977), apud ROSOT (2000), adaptado.

A fase de escolha dos valores, com base na escala de comparadores, foi considerada um dos momentos mais importantes de todo o processo de construção do mapa de vulnerabilidade, pois foi neste instante que se definiu o grau de importância de cada fator.

Com base nesta escala de comparação, foi possível então definir quais seriam os fatores de maior importância, chegando ao seguinte resultado, que pode ser observado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Valores de interesse.

Valores		**Estrada**	**Cultura Permanente**	**Pastagem**
Mineroduto	1	-	-	-
Estrada	3	1	-	-
Cultura Permanente	5	3	1	-
Pastagem	7	5	3	1

2.3.3.1 Justificativa dos pesos

Ao definir o Mineroduto como o fator de menor importância levou-se em consideração que apesar deste encontrar-se a pouca distância da área de estudo, o grau de impacto gerado por ele, quando comparado com os outros fatores, pode ser considerado baixo, uma vez que a probabilidade de possíveis vazamentos é muito pequena.

O fator Estradas ficou em segundo lugar na escolha da escala de comparadores, pois se comparado com o Mineroduto, seu impacto no ambiente pode ser considerado maior devido à sua intensidade e periodicidade, ou seja, devido à circulação diária de veículos nas proximidades da RPPN.

Para os fatores Cultura Permanente e Pastagem, a escolha pela maior importância relaciona-se com o tamanho da área ocupada pela proximidade da RPPN e pela prática de queimadas em ambos os fatores.

2.3.3.2 Cálculo dos pesos

De posse dos valores de importância relativa dos fatores, o próximo passo consistiu em fornecê-los ao aplicativo Idrisi32, para realizar o cálculo dos pesos.

É importante ressaltar que também é possível obter esses valores manualmente, apenas dividindo cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence e fazendo-se uma média entre as colunas.

Para que a matriz seja criada dentro do aplicativo Idrisi32, faz-se uso do comando EDIT, que tem a finalidade de criar tabelas dentro do Idrisi32. Após este procedimento, a etapa seguinte consistiu em salvar este arquivo no formato de tabela do aplicativo Idrisi32, criando-se assim o arquivo "matrix.pcf".

Para o cálculo dos pesos, faz-se uso da ferramenta

WHEIGTH. Esta ferramenta permite que se crie uma matriz de comparadores a partir de uma tabela existente, no caso, o arquivo "matrix.pcf".

Neste ambiente é possível visualizar a escala de comparadores, a matriz criada e o comando CALCULATE WEIGHTS, de onde sairá o resultado final do cálculo dos pesos. Finalmente, obteve-se os seguintes pesos (Tabela 2.3):

Tabela 2.3. Pesos de impacto.

Fatores	Pesos
Mineroduto	0,0553
Estradas	0,2622
Cultura Permanente	0,5650
Pastagem	0,1175

2.3.4 Combinação linear ponderada

Como destacado, a combinação linear ponderada permitirá que os dados sejam agregados de forma linear, mas com relativa hierarquia de importância, permitindo, que o resultado final esteja "calibrado" com informações qualitativas e quantitativas.

Nesta etapa foi realizada uma operação matemática (comando ESCALAR) que permite que se realize a multiplicação de cada imagem padronizada dos fatores pelo seu peso correspondente, resultando nas Figuras 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13, que possuem valores na escala, que somados não ultrapassam 255, valor máximo obtido na etapa de padronização dos fatores.

Depois de realizado este procedimento, as imagens já possuem um peso relativo de importância, que representa quanto o fator é impactante no contexto ambiental.

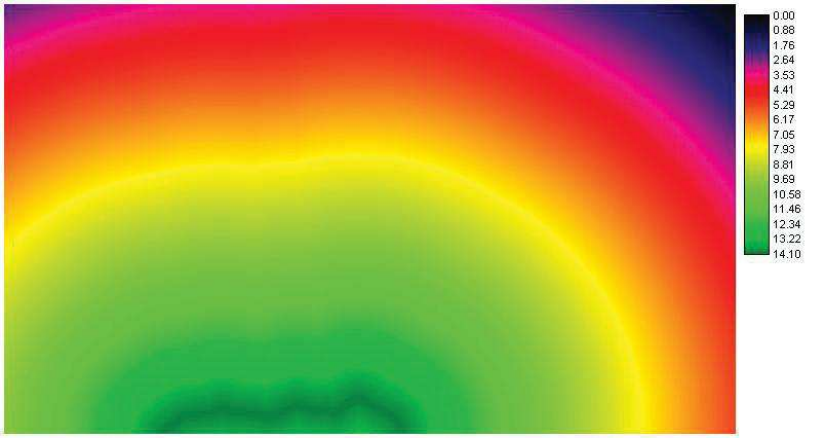


Figura 2.10. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto - mineroduto.

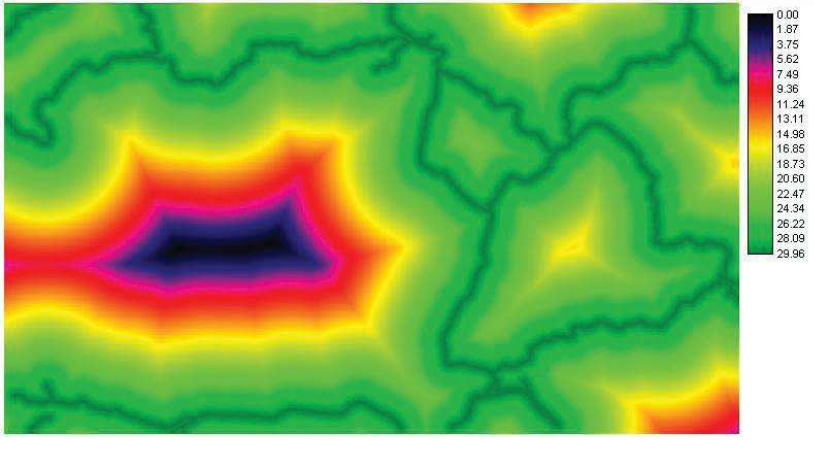


Figura 2.11. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto - estradas.

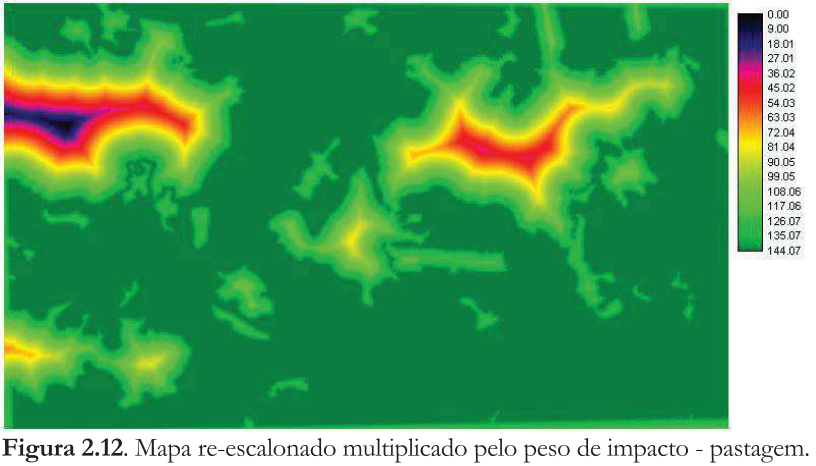


Figura 2.12. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto - pastagem.

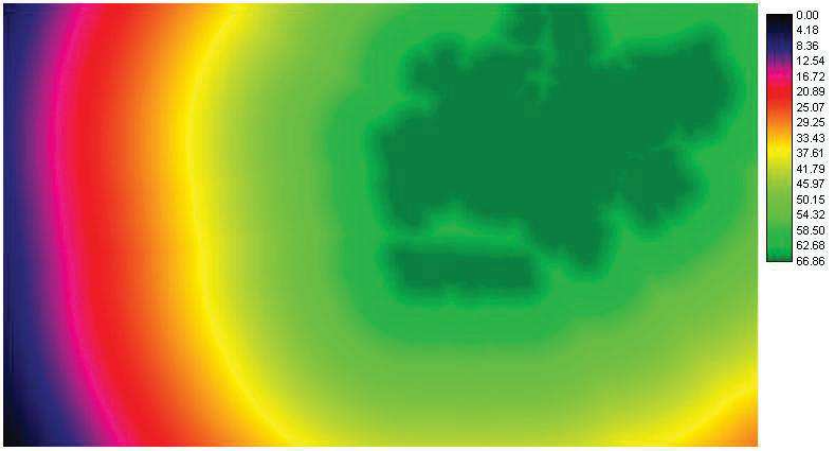


Figura 2.13. Mapa re-escalonado multiplicado pelo peso de impacto - cultura permanente.

2.3.5 Mapa de vulnerabilidade

O último passo é realizar a soma das imagens para que se possa obter a imagem final, que será o resultado da soma das quatro imagens multiplicadas pelo seu peso individual. Para realizar esta operação utilizamos o comando "OVERLAY", que permitiu somar as Figuras 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13, resultando no mapa de vulnerabilidade da RPPN Cafundó, face aos fatores impactantes (Figura 2.14**)**.

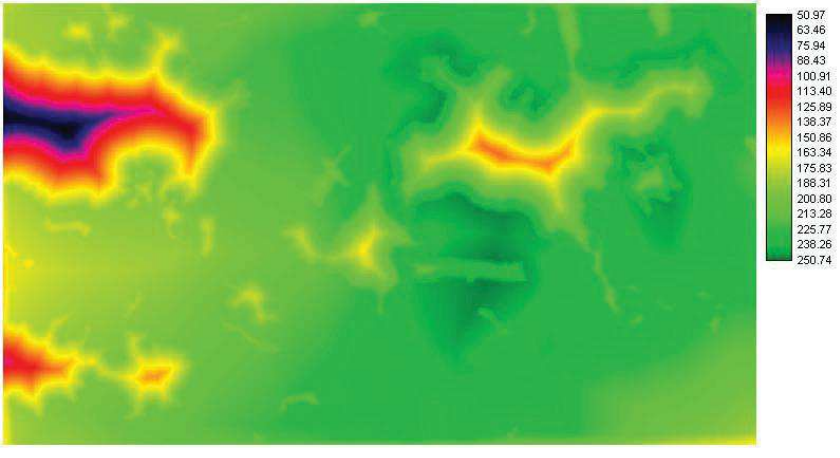


Figura 2.14. Mapa representando a soma dos fatores de impacto.

2.4 Conclusões

As Figuras 2.15 e 2.16 demonstram que a RPPN é fortemente perturbada pelos fatores impactantes considerados em nosso estudo.

A elaboração do mapa de vulnerabilidade a fatores impactantes como Mineroduto, Estradas, Pastagem e Cultura Permanente da RPPN Cafundó, alcançou um resultado satisfatório, pois torna possível distinguir os locais que estão mais vulneráveis por meio da legenda que determina o nível de impacto ou pressão exercido sobre a área de estudo. A escolha por uma graduação de cores que tende do azul para o vermelho, demonstrando os níveis de vulnerabilidade, foi considerada aceitável, pois essa representação alcança o objetivo principal que é o de exibir a situação atual do ambiente que está em um nível preocupante de vulnerabilidade.

As áreas que tendem ao vermelho são justamente aquelas que estão sofrendo com a extrema proximidade dos elementos agressores. As grandes áreas de pastagem e cultivo permanentes, localizadas muito próximas à RPPN, são as que mais contribuem com a vulnerabilidade da área em estudo.

Pequenas porções do mapa, localizadas na região central da RPPN, possuem tons azulados, demonstrando certo grau de estabilidade. Esta baixa vulnerabilidade central pode ser reflexo da dificuldade de acesso ao local.

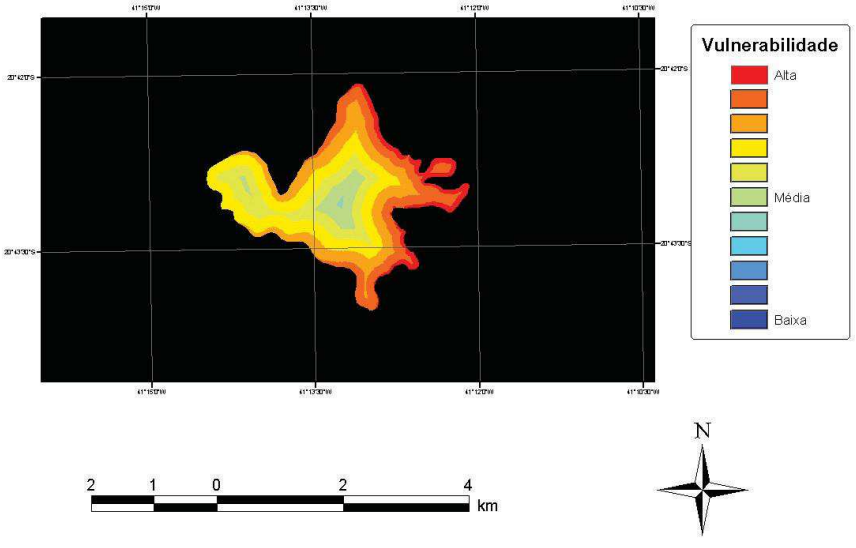


Figura 2.15. Mapa de vulnerabilidade da RPPN Cafundó.

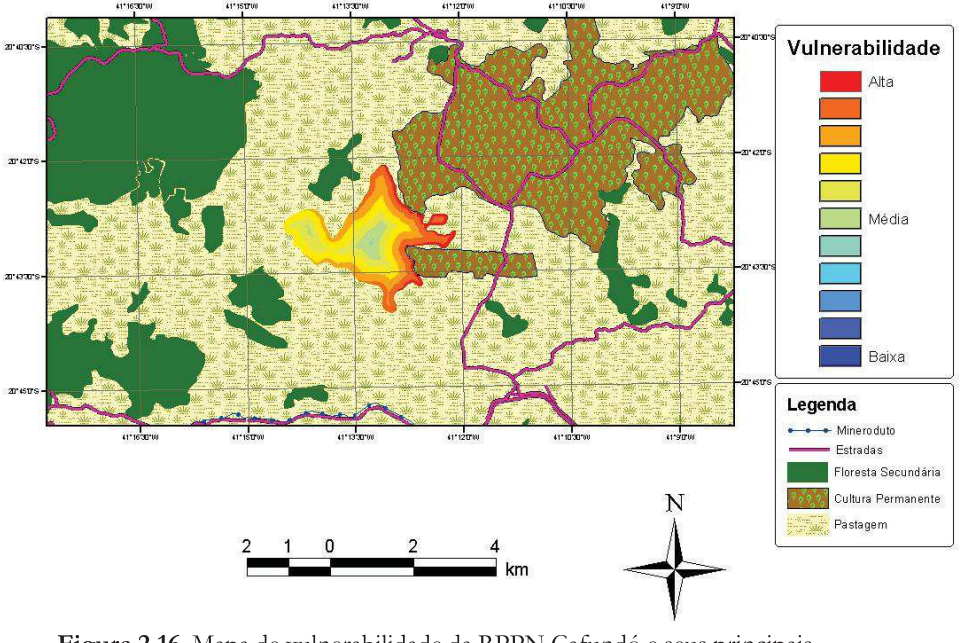


Figura 2.16. Mapa de vulnerabilidade da RPPN Cafundó e seus principais fatores impactantes.

2.5 Referências

BURROUGH, P. A. e McDONNELL, R. A. Principles of Geographic Information Systems. Oxford: Oxford University, 1998.

BURROUGH, P. A development of intelligent geographical information system. In: International Journal of Geographical Information Systems. (1): 1 – 11, 1992.

CÂMARA, G. et al. Análise Espacial de Dados Geográficos. São José dos Campos: INPE, 2001.

COX, E. The Fuzzy systems: handbook a practitioner guide to building, using and maintaining Fuzzy systems. London: London Academic Press, 1994.

FORMAN, R. T. T. & GODRON, M. 1986. Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York. 619 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Atlas da evolução dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1985-1990. São Paulo: [s.n.],1992.

_____; _____; Instituto Socioambiental (ISA). Atlas da evolução dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1990-1995. São Paulo: [s.n.], 1998.

_____; _____. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no período de 1995-2000 (Relatório parcial). São Paulo: [s.n.], 2002. Disponível em < http://www.sosmatatlantica.org.br/atlas2001/dados/RelatorioAtlas.pdf. Acesso em: 31 maio. 2003.

LOVEJOY, T. E.; BIERREGAARD JR., R.O.; RYLANDS, A., B.; MALCOLM, J. R.; QUINTELA, C. E.; HARPER, L. H.; BROWN JR., K. S.; POWELL, G. V. N.; RODRIGUES, E. 1998. Edge effects on the regeneration of forest fragments

in south Brazil. Tese de Doutorado. Harvard University, Cambridge, Massachusetts. 172 p.

LUGO, A. E. 1988. Estimative reductions in the diversity of tropical forest species. In: WILSON, E. O. (org.) Biodiversity. National Academy Press: Washington. p: 58-70.

MESQUITA, A. B. & VIEIRA, M. C. W. 2004. RPPN – Reservas particulares do patrimônio natural da Mata Atlântica. São Paulo : Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Caderno nº 28.

MYERS, N. R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hot spots for conservation priorities. Nature 403: 853-858.

PIMM, S. L.; RUSSEL, G. T.; GITTELMAN, J. A. & BOOKS, T. M. 1995. The future of biodiversity. Science 269: 347-350.

RIBEIRO, J. F. & SILVA, J. C. S. 1996. Manutenção e recuperação da biodiversidade do Bioma Cerrado: O uso de plantas nativas. Pp. 10-14. In: PEREIRA, R. C.; NASSER, L. C. B. (ed.). Simpósio sobre o Cerrado, 8., EMBRAPA-CPAC, Planaltina. 508 p.

RODRIGUES, V.; MATALLO JUNIOR, H.; LIMA, M. G. DE; FONTELES, M. M.; SCHUBART, H. O. & HAY, M. B. 1986. Edge and other effects of insolation on Amazon forest fragments. Pp. 257-285. In: SOULÉ, M. E. (ed.). Conservation Biology: The science of scarcity and diversity. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 584 p.

RODRIGUES, E. 1993. Ecologia de fragmentos florestais ao longo de um gradiente de urbanização em Londrina-PR. Tese de Mestrado. Universidade de São Carlos. 110 p.

ROSOT, M. A. D. ; BARCZAK, C. L. ; COSTA, D. M. B. . Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubi a ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento. In: 1. Encontro de Cadastro Técnico

Multifinalitário para os Países do CONESUL, 2000, Florianópolis. 1. Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países do CONESUL. Florianópolis : UFSC, 2000. v. 1. Disponível em: http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2000/215/215.htm, acesso em jun. 2005.

RUHOFF, A. L; SOUZA, B. S. P; GIOTTO, E; PEREIRA, R. S. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2355-2362.

SAATY, T.L. " How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process", European journal of Operational Research, 48, pp 9-26,1990

TURNER, I. M. 1996. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. Journal of Applied Ecology 33: 200-209.

TURNER, I., M. & CARLETT, R. T. 1996. The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. Tree 11(8): 330-333.

VERMEIJ, G. J. 1986. The biology of human-causes extinction. pg. 28-49. In: B. G. NORTON (ed.). The preservation of species. Princeton University Press, Princeton. 305 p.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A., A., J. & MARTINEZ, J. L. A. 1992. Restauração e manejo de fragmentos florestais. Pp. 400-407. In: II Congresso Nacional sobre Essências Nativas. Instituto Florestal de São Paulo, São Paulo. v.4, parte 2, 1272 p.

WILSON, E. O. 1988. The current state of biological diversity. In: WILSON, E. O. (org.) Biodiversity. National Academy Press : Washington. p: 3

CAPÍTULO 3

Vulnerabilidade à ação antrópica e uso e ocupação do solo para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão, Vitória, ES

Lívia Maria Albertasse Tulli
Alexandre Rosa dos Santos
André Quintão de Almeida
Teresa Susana Aquije Chacaltana

3.1 Introdução

Os manguezais possuem uma vegetação altamente adaptada aos constantes movimentos da maré e a suportar a alta salinidade que lhe é imposta, porém altamente sensível à ação humana. Esta ação antrópica tem o seu início na chegada dos primeiros colonizadores e nas explorações por eles iniciadas, se estendendo até os dias atuais. (CITRÓN E NOVALLI, 1992).

Segundo Derenzi (1965), a chegada dos portugueses ao estado do Espírito Santo se deu em 1535. Com o passar do tempo e o aumento populacional, logo se reivindicou melhorias, urbanização. Os manguezais rapidamente tornaram-se áreas mal vistas, já que eram julgados como áreas propícias ao desenvolvimento de epidemias. E com a população espremendo-se nos poucos espaços planos, não se tardou

em pensar na possibilidade do aterro. Em 1817, iniciou-se o aterro do mangal de campinho (atual parque Moscoso) e, também, a "era do progresso".

Em 1895, com o intuito de ampliar a cidade com a criação de novos bairros, criou-se o projeto "novo arrabalde", durante o mandato de Muniz Freire. Por meio deste projeto foram construídas as avenidas Nossa Senhora da Penha e Leitão da Silva, importantes vias até hoje. (BRITO, 1996)

Ao contrário desta aparente urbanização planejada, o que se pode observar no período que se estende de 1960 a 1980 foi um crescimento populacional abrupto e descontrolado. A população da grande Vitória em 1960 era de 194.311 habitantes e saltou para 706.138 habitantes em 1980. A justificativa para tal crescimento acompanhou uma série de fatores.

Com a crise do café na década de 60, houve uma intensa migração para Vitória. Os desempregados buscavam oportunidades no setor portuário, industrial e na construção civil. Isto acarretou, e ainda acarreta, problemas sociais seríssimos, visto o surgimento de subempregos e submoradias. Este novo contingente populacional se distribuiu em áreas baratas e pouco seguras: encostas de morros e manguezais. Estes últimos foram reprimidos por inúmeros aterros nos anos que se seguiram até que a ilha de Vitória chegasse à forma territorial que hoje possui. (FERREIRA, 1989).

Segundo Alves (2004), as invasões aos manguezais começaram de modo intensificado em 1977 e só pararam em 1989, quando a Prefeitura Municipal iniciou um projeto de contenção a invasões e proteção dos manguezais.

Ressaltamos, porém, que apesar de todos os impactos ambientais que este ecossistema vem sofrendo, os manguezais brasileiros constituem áreas de preservação permanente, segundo a Lei Federal nº. 4771, desde 15 de setembro de 1965 (EYSINK, 1998).

No município de Vitória, eles estão amparados ainda pela Lei Municipal 3377 de 12 de setembro de 1986, quando houve a criação da Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão, área a ser atingida por esta pesquisa.

As Estações Ecológicas têm como objetivo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas, estas dependem da autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas. É proibida a visitação pública, exceto quando com objetivo educacional, de acordo com o que dispuser o Plano de Manejo da unidade ou regulamento específico.

Os aglomerados urbanos próximos a áreas de preservação têm sido alvo de muitas pesquisas científicas devido à preocupação com fatores antrópicos, que segundo Suguio (2003), são todos os que se superpõem às forças dinâmicas atuantes, exacerbando as suscetibilidades naturais, introduzindo suscetibilidades induzidas e criando situações de crises cada vez mais complexas e de diferentes naturezas.

No presente trabalho, tendo em vista aplicar uma metodologia que proporcione um estudo dos fatores antrópicos atuantes na Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão e a aplicação de uma ferramenta útil e dinâmica de apoio à decisão, optamos por verificar a evolução temporal da área de estudo nos anos de 1978, 2003 e 2005 através do desenvolvimento de mapas de uso e ocupação do solo, desenvolvidos por meio de técnicas de fotointerpretação. Por meio desses mapas poderemos conhecer e mapear os fatores antrópicos e elaborar um mapa de vulnerabilidade a ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão utilizando o Método Analítico Hierárquico (AHP) desenvolvido por Saaty (1977).

Este método já adaptado para estudos ambientais, como os desenvolvidos por Hasenack et. al. (1998), Rosot et. al. (2000) e Coutinho (2004), permite a divisão do problema em níveis hierárquicos, facilitando sua compreensão e avaliação.

3.1.1 Apresentação da área de estudo

A Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão, alvo de nosso estudo, localiza-se entre as latitudes de 20° 14’ S a 20° 17’ S e longitude de 40° 16’ W a 40° 20’ W (Figura 3.1).

Esta área de manguezal, constituída unidade de proteção integral do município de Vitória-ES primeiramente como reserva biológica municipal mediante a publicação da Lei Municipal Nº. 3326 de 27 de maio de 1986, depois segundo a Lei Municipal nº. 3377 de 12 de setembro de 1986, foi transformada em Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão.

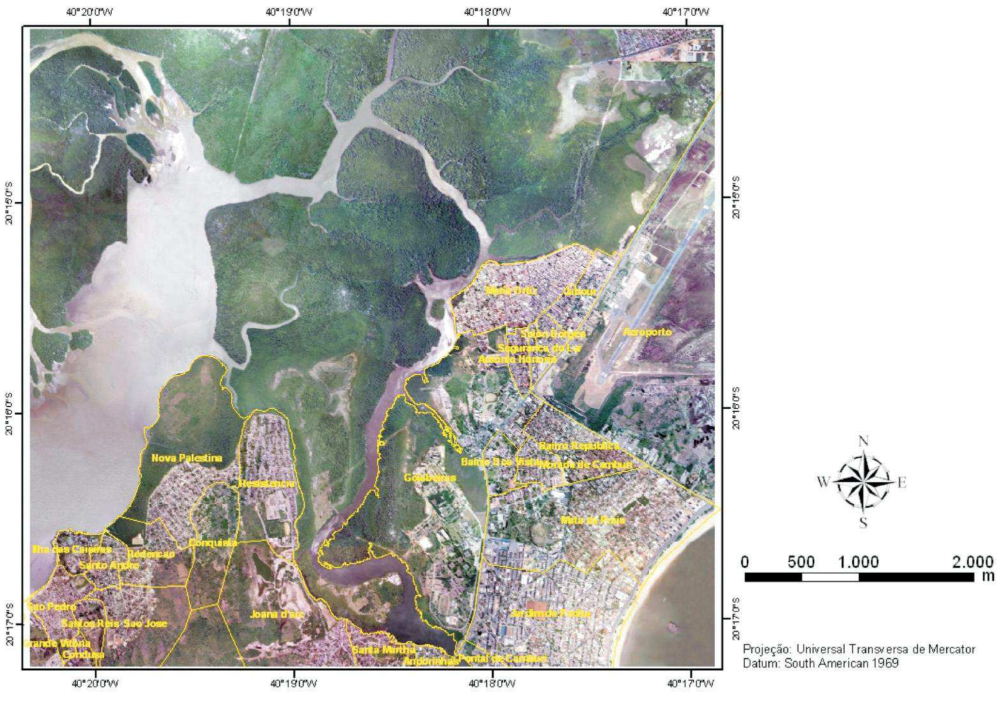


Figura 3.1. Apresentação da área de estudo.

3.2 Metodologia

Os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa são:

- Software Arcgis 8.3
- Software Erdas Imagine 8.5
- Software Idrisi32
- Câmera digital Olympus D-395
- GPS Garmin 12xl
- Aerofotos correspondentes à área de estudo no ano de 1978 (Doação IDAF – Escala: 1:20000 – Resolução espacial: 0,64m)
- Aerofotos correspondentes à área de estudo no ano de 2003 (MAPLAN – Escala: 1:8000 – Resolução espacial: 0,25m)
- Imagem Pancromática do Satélite *Quickbird* (Intersat – Resolução espacial: 0,61m)

A metodologia desta pesquisa, para sua melhor organização, foi dividida em três etapas:

- Etapa 1: Mosaicagem das aerofotos.
- Etapa 2: Evolução temporal das mudanças ocorridas na área de estudo.
- Etapa 3: Mapa de vulnerabilidade à ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão.

3.2.1 Etapa 01: mosaicagem das aerofotos

As aerofotos de 1978, doadas pelo IDAF, foram digitalizadas no próprio instituto e georeferenciadas no software ERDAS IMAGINE 8.5, utilizando o comando *Geometric correction* e o modelo geométrico polinomial.

As aerofotos adquiridas da empresa Maplan Aerolevantamentos S. A., do ano de 2003, já georeferenciadas por esta, foram então mosaicadas utilizando-se o software ERDAS IMAGINE 8.5.

Toda a metodologia utilizada no desenvolvimento desta etapa pode ser observada no fluxograma apresentado na Figura 3.2.

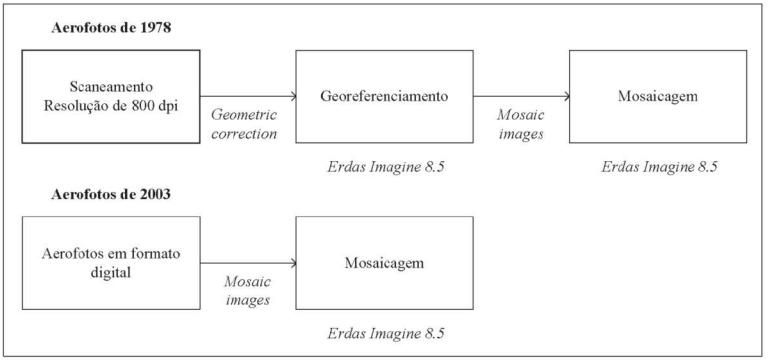


Figura 3.2. Fluxograma da etapa 01.

3.2.2 Etapa 02: evolução temporal das mudanças ocorridas na área de estudo

Esta etapa do projeto teve como objetivo comparar a evolução temporal das mudanças ocorridas na área de estudo, ou seja, na Ilha do Lameirão e seu entorno. Assim, utilizaram-se as aerofotos pertencentes à área de estudo dos anos de 1978 e 2003 e, também, a imagem pancromática do satélite Quickbird, do ano de 2005, para o desenvolvimento de mapas de uso e ocupação do solo, portanto, para cada imagem foi desenvolvido um mapa temático.

Utilizamos, para a execução deste objetivo, a digitalização via tela por meio de fotointerpretação. Esta pode ser definida como um processo que utiliza observação e interpretação, fundamentado no raciocínio lógico, dedutivo e indutivo para compreender e explicar o comportamento de cada objeto contido nas imagens (MOREIRA, 2003).

Com a determinação de verificar as texturas presentes, houve um estudo das aerofotos e da imagem pancromática e, também, foram feitas observações em campo nos dias 3, 4, 10 e 11 de

setembro de 2005. Assim, estabelecendo uma escala padrão de 1:702 para todo o processo de fotointerpretação, optou-se por mapear 10 classes: água, área urbana, areia, campo, horticultura, mangue, restinga, rocha, solo exposto e vegetação.

Foram criados, então, três *shapefiles* de polígono no ArcGis 8.3, um para cada ano a ser estudado. O *shapefile* de cada ano estudado foi adicionado no ArcMap juntamente com a sua imagem correspondente. Para a digitalização em tela, os polígonos foram editados utilizando-se o comando *editor*. Os polígonos digitalizados foram agrupados nessas classes com o uso do comando *GeoProcessing Wizard*. Depois do agrupamento das classes foi obtido um mapa temático de uso do solo para cada ano estudado.

Ainda no ArcMap buscou-se quantificar a área de cada classe através da calculadora de valores da tabela de atributos do próprio *shapefile*, tornando possível comparar o aumento ou a diminuição das classes em relação aos anos estudados e, assim, avaliar a evolução temporal e espacial do uso do solo para a área de estudo.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento dos mapas de uso do solo pode ser observada no fluxograma apresentado na Figura 3.3.

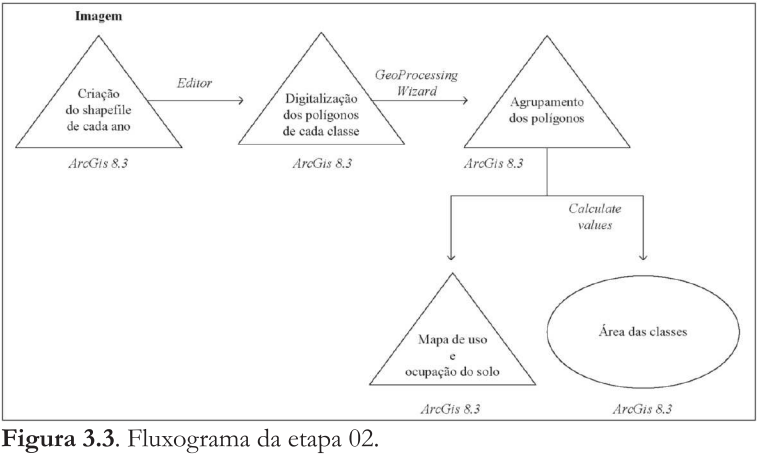


Figura 3.3. Fluxograma da etapa 02.

3.2.3 Etapa 03: mapa de vulnerabilidade à ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão

Para o desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão foi utilizado o Método de Análise Hierárquica (AHP) criado por Thomas L. Saaty.

Através da decisão do problema em níveis hierárquicos esse método determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método (GOMES et. al., 2004).

O Método de Análise Hierárquica (AHP) já se encontra disponível na rotina de suporte à decisão do software Idrisi 32, que foi utilizado para o desenvolvimento desta etapa.

• Mapeamento dos fatores antrópicos

Por meio das observações feitas em campo e dos mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 1978, 2003 e 2005, optou-se por mapear três fatores de ação antrópica que por sua vez foram divididos em outros fatores que chamaremos aqui de subfatores. Assim, temos a hierarquia do mapa de vulnerabilidade à ação antrópica (Figura 3.4).

Todos os subfatores foram mapeados com o uso de um GPS e digitalizados em tela, utilizando-se software Arcgis 8.3 e tendo como plano de fundo a imagem pancromática do satélite *Quickbird* do ano de 2005 (Figura 3.5).

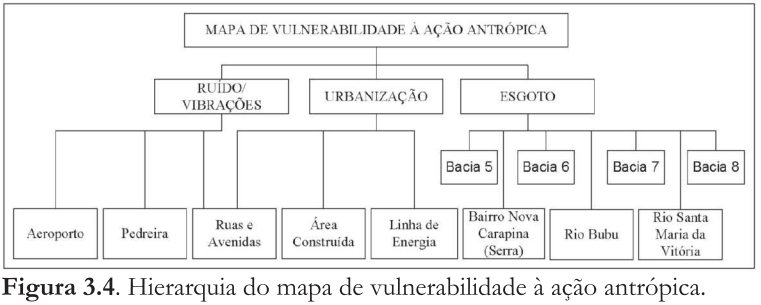


Figura 3.4. Hierarquia do mapa de vulnerabilidade à ação antrópica.

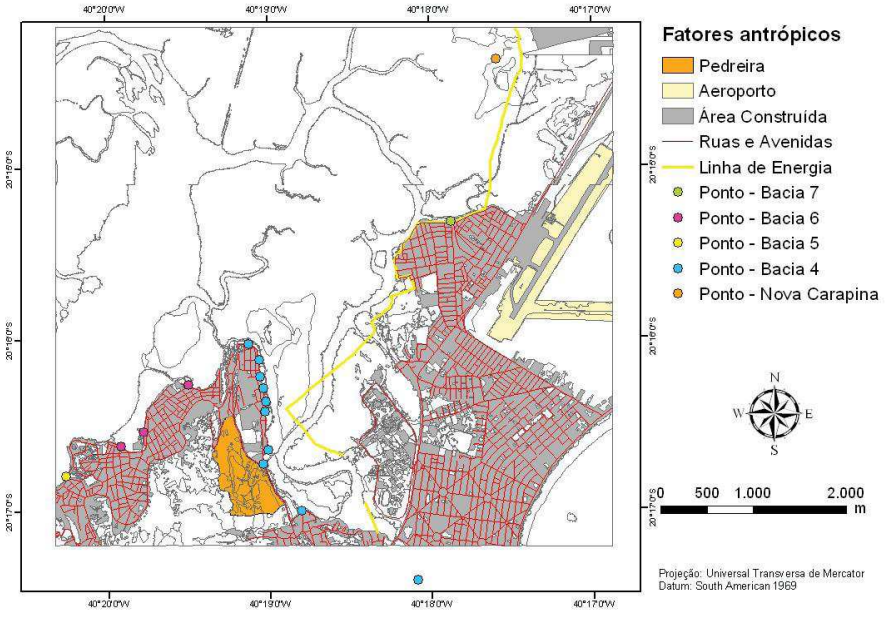


Figura 3.5. Subfatores de ação antrópica.

Fatores e justificativas

• Urbanização

De acordo com Hasenack et al. (1998), quanto mais próxima estiver uma área de uma rua ou caminho, mais vulnerável ela será a invasões. Estes mesmos autores afirmam também que quanto mais distante uma área de edificações, menor é a probabilidade de ser invadida.

Ferreira (1989) nos remete para uma questão específica de nossa área de estudo, a Linha de Energia. Para a construção da mesma foi desmatada uma considerável área de manguezal. Este não encontra ambiente favorável a sua ocupação. Além disso, um aterro feito para a construção da linha de energia proporciona um caminho de fácil penetração para dentro do manguezal.

• Ruído/Vibrações do solo

O som em excesso é uma ameaça à saúde, ao bem estar público e à qualidade de vida, assim, problemas de níveis excessivos de ruídos estão entre os sujeitos ao controle da poluição do meio ambiente. (Resoluções CONAMA nº. 1 e 2, de 08 de março de 1990).

Segundo Coutinho (2004), a proximidade entre a pedreira e os manguezais, em alguns pontos chega a menos de 15 metros. As explosões freqüentes realizadas neste local tendem a gerar vibrações no solo que por conseqüência podem provocar o deslocamento dos sedimentos do fundo do canal, acarretando em alterações na penetração de radiação solar, afetando o manguezal.

Wang et al. (1999) afirmam que um dos maiores problemas no meio urbano é a poluição sonora, que além de gerar som em excesso, gera também vibrações. Buscamos, na área em que foi desenvolvido este trabalho, estudar quais seriam as outras fontes de ruído e vibrações, que junto com a pedreira seriam consideradas como formas de poluição sonora, optando por mapear também as ruas e avenidas e o aeroporto.

• Esgoto/ Deflúvio superficial urbano

O lançamento de esgoto na baía de Vitória, já citado por Ferreira (1989), Paiva (1999) e Jesus (2004), interfere na sustentabilidade da fauna e flora dos manguezais por meio do incremento de matéria orgânica e metais pesados. Segundo Alongi (1998), a eutrofização é apenas uma das preocupações devidas ao lançamento de efluentes em manguezais sejam eles de origem doméstica ou industrial.

Jesus (2004) nos alerta ainda que o deflúvio superficial urbano contém todos os poluentes que se depositam na superfície do solo. Segundo ele, metais pesados associados ao desgaste de lonas e freios de carros, ou ao desgaste de pneus, e a compostos de ferro ou outros componentes do solo, podem acumular-se nas ruas, sendo posteriormente arrastados para

os cursos de água.

Para a delimitação do fator esgoto, nos baseamos nos dados do Plano Diretor Urbano do Município de Vitória por meio do qual foi possível verificar as bacias de esgotamento de Vitória e calcular vazões médias de contribuição das bacias denominadas pelo município de bacias 4, 5, 6, e 7. Também foi possível calcular a área de cada bacia que possui tratamento de seu esgoto através dos dados de esgotamento sanitário da prefeitura de Vitória (Figura 3.6) (Tabela 3.1).

O bairro Nova Carapina, que pertence ao município da Serra, também teve sua contribuição de vazão calculada, pois a despeja dentro dos limites do município de Vitória.

Os rios Santa Maria da Vitória e Bubu também foram incluídos como subfatores do fator esgoto porque, segundo Jesus (2004), o trecho inferior da bacia hidrográfica de ambos os rios é ocupado por áreas urbanas, e estes recebem diversos tipos de efluentes.

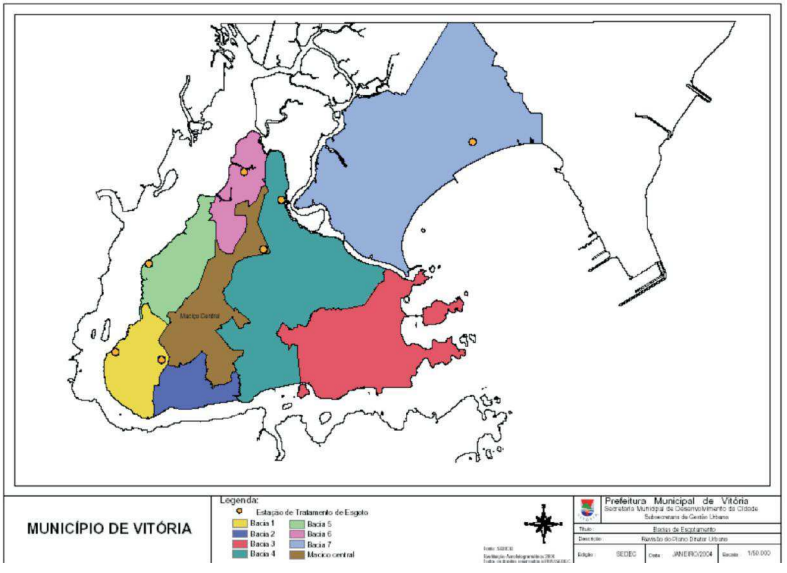


Figura 3.6. Bacias de esgotamento do município de Vitória.
Fonte: PMV/ Secretaria Municipal de Desenvolvimento da Cidade.

Tabela 3.1. Vazões obtidas e porcentagem da área que possui esgotamento sanitário.

Local	*Vazão (l/hab.s)*	*Área atendia (%)*
Bacia 4	143,96	45,21
Bacia 5	33,60	12,83
Bacia 6	26,87	15,84
Bacia 7	153,87	39,70
Bairro Nova Carapina	25,98	0

Desenvolvimento dos mapas de distância de cada subfator.

Foi desenvolvido para cada subfator um mapa de distância, tendo como resultado a distância euclidiana de cada célula à sua mais próxima, num conjunto de células-alvo pré-especificado (ROSOT et. al., 2000).

• Padronização dos mapas de distância euclidiana

Após a execução dos mapas de distância foi realizada a padronização dos subfatores, com o uso da calculadora raster, no intervalo correspondente a um byte, ou seja, de 0 a 255. Para tanto, utilizamos uma equação linear simples (Y=aX+b), definindo que quanto mais próximo o subfator da área de estudo maior a vulnerabilidade à mesma. Assim, os mapas de distância serão padronizados numa escala contínua de vulnerabilidade de 0 (menos vulnerável) a 255 (mais vulnerável), mantendo-se a integridade dos mesmos (Figura 3.7).

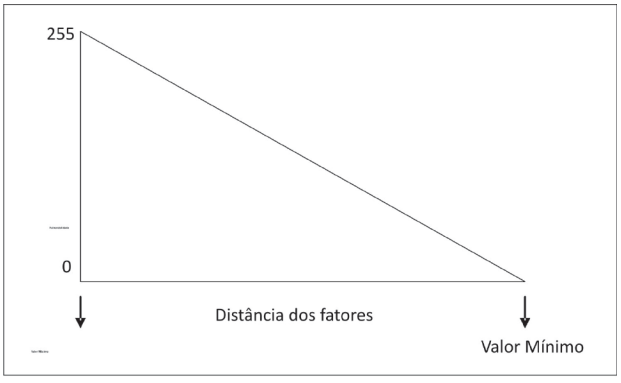


Figura 3.7. Função de escalonamento linear decrescente.
Fonte: ROSOT et al (2000), adaptado.

• Matrizes de decisão

Ponderamos os resultados obtidos de acordo com o grau de importância que possuem. Dessa forma, desenvolvemos matrizes de comparação par a par ou matrizes decisão no software Idrisi 32, fazendo uso da escala fundamental de Saaty (1977) (Tabela 3.2).

A escala fundamental de Saaty foi explicada detalhadamente por Gomes (2004), porém adaptado para uso no estudo de impactos ambientais por Rosot (2000), onde se atribui uma hierarquia de importância entre os impactos ambientais observados. Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior.

Seguindo a hierarquia, já apresentada na Figura 3.4, foi desenvolvida uma matriz de comparação par a par para os fatores, permitindo que cada fator tenha seu peso correspondente. Foram, também, desenvolvidas três matrizes de comparação par a par para os subfatores, uma em relação a cada fator antrópico. Assim, cada subfator também apresenta um peso. Conforme pode ser visto nas Tabelas 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6.

Feita a matriz de comparação, utilizou-se o software Idrisi 32 através do módulo *Weight*, onde foi possível obter pesos referentes a cada fator e subfator antrópico e, também, o índice de consistência (IC) para cada matriz. Segundo Saaty (1977), para que uma matriz de comparação par a par seja considerada aceitável, assim como os pesos por ela gerados, o índice de consistência (IC) calculado deve ser menor que 0,10.

Tabela 3.2. Escala fundamental de Saaty (1977).

Importância	***Definição***	***Explicação***
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando há uma condição de compromisso entre as duas definições.

Fonte: Saaty (1977), adaptado.

Tabela 3.3. Matriz de comparação dos fatores.

Fatores	*Ruído/ Vibrações*	*Esgoto*	*Urbanização*
Ruído/ Vibrações	1	1/5	1/9
Esgoto	5	1	1/3
Urbanização	9	3	1

- Índice de Consistência: 0,03
- Pesos Obtidos:
    - Ruído/ Vibrações: 0,0629
    - Esgoto: 0,2654
    - Urbanização: 0,6716

Tabela 3.4. Matriz de comparação dos subfatores de esgoto.

Subfatores	*R. Sta Mª da Vitória*	*R. Bubu*	*Bacia 6*	*B. Nova Carapina*	*Bacia 5*	*Bacia 7*	*Bacia 4*
R. Sta Mª da Vitória	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/7	1/9
R. Bubu	2	1	1/2	1/3	1/5	1/7	1/9
Bacia 6	3	2	1	1/2	1/5	1/7	1/9
B. Nova Carapina	4	3	2	1	1/3	1/7	1/9
Bacia 5	5	5	5	3	1	1/5	1/7
Bacia 7	7	7	7	7	5	1	1/3
Bacia 4	9	9	9	9	7	3	1

- Grau de Consistência: 0,08
- Pesos Obtidos:
    - Rio Santa Maria da Vitória: 0,0236

- Rio Bubu: 0,0302
- Pontos Bacia 6: 0,0412
- Pontos Bacia 5: 0,0596
- Ponto Esgoto Nova Carapina (Serra – ES): 0,1164
- Pontos Bacia 7: 0,2734
- Pontos Bacia 4: 0,4556

Tabela 3.5. Matriz de comparação dos subfatores de ruídos/vibrações.

Subfatores	*Aeroporto*	*Ruas e Avenidas*	*Pedreira*
Aeroporto	1	1/2	1/3
Ruas e Avenidas	2	1	1/2
Pedreira	3	2	1

- Grau de Consistência: 0,01
- Pesos Obtidos:
  - Aeroporto: 0,1634
  - Ruas e Avenidas: 0,2970
  - Pedreira: 0,5396

Tabela 3.6. Matriz de comparação dos subfatores de urbanização.

Subfatores	*Linha de Energia*	*Área construída*	*Ruas e Avenidas*
Linha de Energia	1	1/3	1/5
Área construída	3	1	1/3
Ruas e Avenidas	5	3	1

- Grau de Consistência: 0,03
- Pesos Obtidos:
  - Linha de Energia: 0,1047
  - Área construída: 0,2583
  - Ruas e Avenidas: 0,6370

• Mapa de vulnerabilidade à ação antrópica.

Com o uso da calculadora raster, disponível no software Arcgis 8.3, cada mapa de distância ponderado de cada subfator foi multiplicado pelo seu peso correspondente. Depois da multiplicação dos subfatores por seu peso, todos os subfatores de um mesmo fator foram somados. O mapa resultante foi multiplicado pelo peso do fator. Vejamos um exemplo para os subfatores de urbanização:

(Peso de Linha de energia x distância da Linha de Energia) + (Peso de Área construída x distância da Área construida) + (Peso de Ruas e Av x distância de Ruas e Avenidas) = **Mapa Resultante**

Mapa Resultante x Peso urbanização = **Mapa Urbanização**

Depois de feito este processo para todos os subfatores e fatores obtivemos três mapas: mapa Esgoto, mapa Ruídos/ Vibrações, mapa Urbanização.

Os mesmos foram somados para a obtenção do mapa de vulnerabilidade à ação antrópica para toda a área de estudo. Assim, para obter o mapa de vulnerabilidade apenas para as áreas de manguezal foi necessário fazer uma multiplicação simples na calculadora raster do software ArcGis 8.3:

Mapa de vulnerabilidade para toda a área x Shapefile da área da Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão = **Mapa de Vulnerabilidade para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão.**

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade pode ser observada no fluxograma apresentado na Figura 3.8.

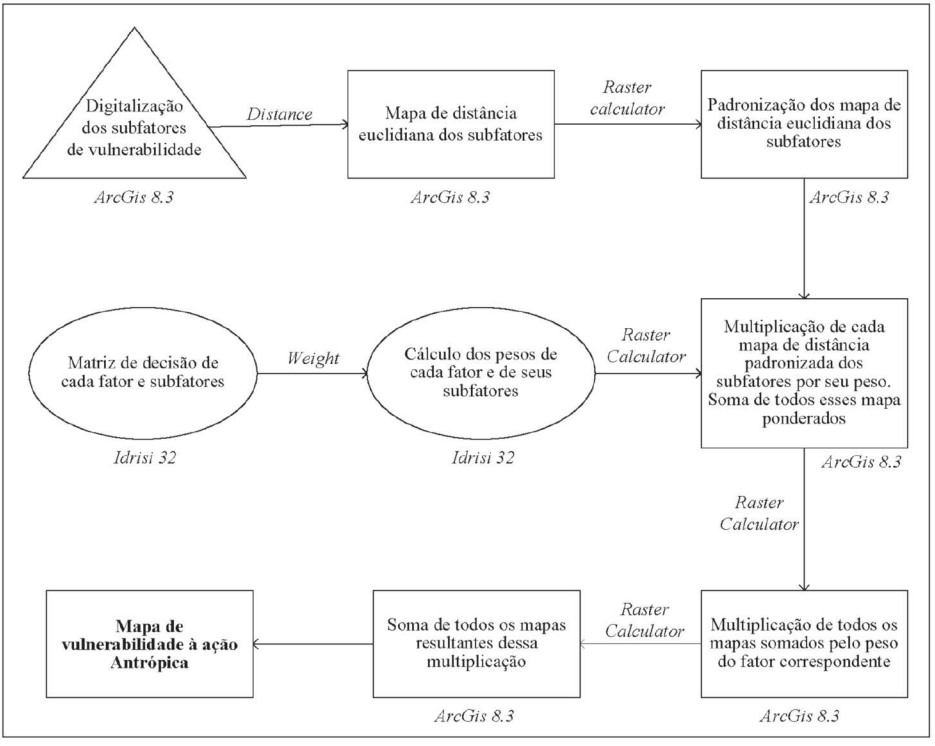


Figura 3.8. Fluxograma da etapa 3.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Etapa 01: mosaicagem das aerofotos

O georeferenciamento e mosaicagem das aerofotos dos anos de 1978 (Figura 3.9) e 2003 (Figura 3.10) permitiram que imagens anteriormente analógicas pudessem ser transmitidas para o meio digital, dinamizando a metodologia empregada nesta pesquisa e possibilitando verificar a evolução temporal da área de estudo.

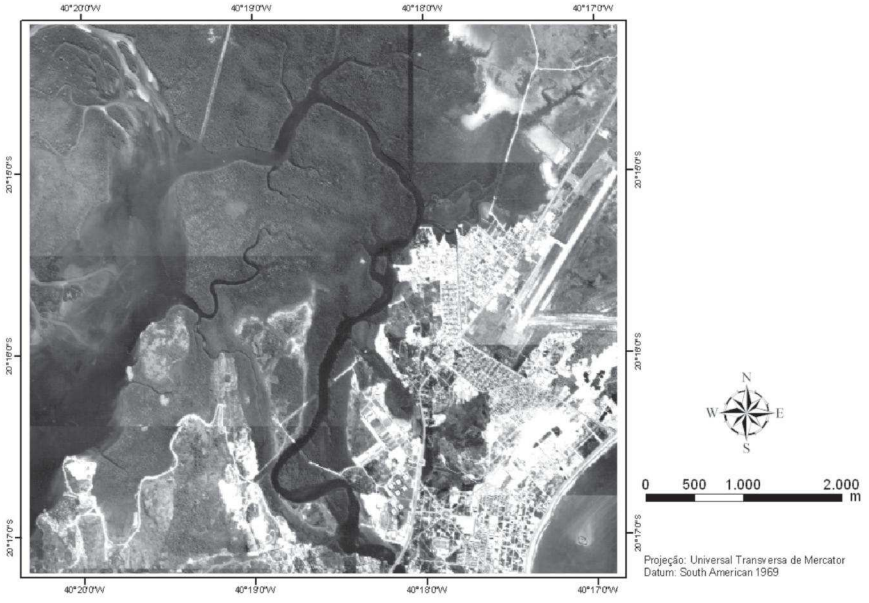


Figura 3.9. Área do estudo no ano de 1978.

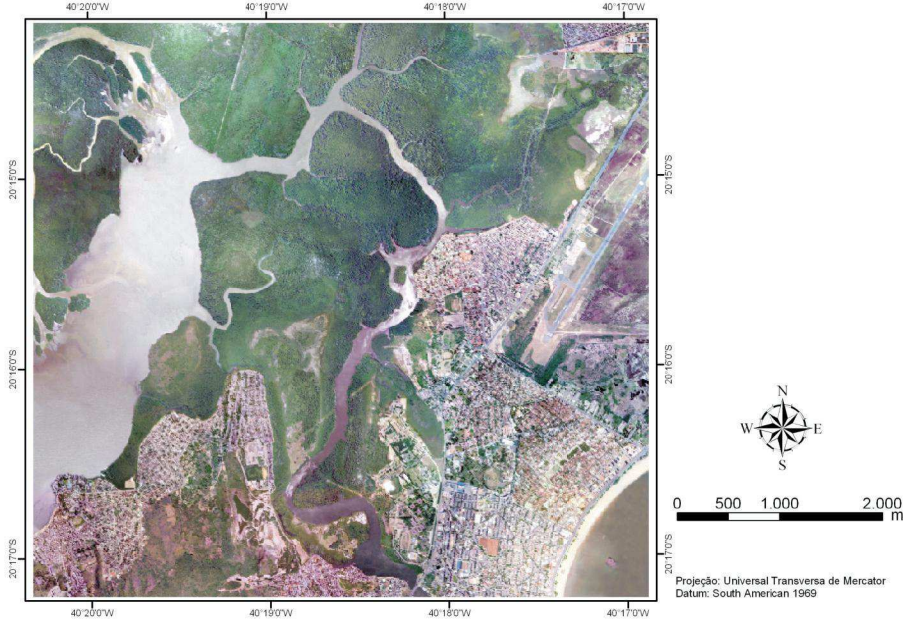


Figura 3.10. Area do estudo no ano de 2003.

3.3.2 Etapa 02: evolução temporal das mudanças ocorridas na área de estudo

Após o desenvolvimento dos mapas de uso e ocupação do solo, os dados de área de dada classe foram calculados e formatados em tabelas e gráficos. Os resultados serão expostos a seguir:

Uso do solo do ano de 1978

No ano de 1978 o manguezal era a classe de uso do solo que detinha a maior área. A classe área urbana não alcançava ainda nem 10% da área de estudo. Porém, observamos que a cidade de Vitória estava em processo de expansão, apresentando várias construções principalmente nas regiões correspondentes aos bairros Mata da Praia, Goiabeiras, Maria Ortiz, Resistência, Joana D'Arc e região da Grande São Pedro. Nestas áreas foi observada uma presença importante da classe solo exposto, que apresentou 8,35% do total da área. Cabe ressaltar que nestas regiões algumas áreas classificadas como solo exposto, próximas às áreas de manguezal, apresentavam a textura de manguezal degradado, com a presença de várias árvores cortadas, evidenciando o desmatamento visando áreas para construção de moradias.

A região próxima ao aeroporto de Vitória também apresentou áreas com textura referente a desmatamento, próximo à área classificada como restinga e esta área degradada foi classificada como solo exposto.

Observamos, também, de maneira bastante clara, a presença de palafitas nas regiões referentes aos bairros São Pedro, Maria Ortiz e Joana D'Arc.

Os resultados da digitalização via tela para o ano de 1978 podem ser observados no mapa de uso e ocupação do solo apresentado na Figura 3.11, e, também, na Tabela 3.7.

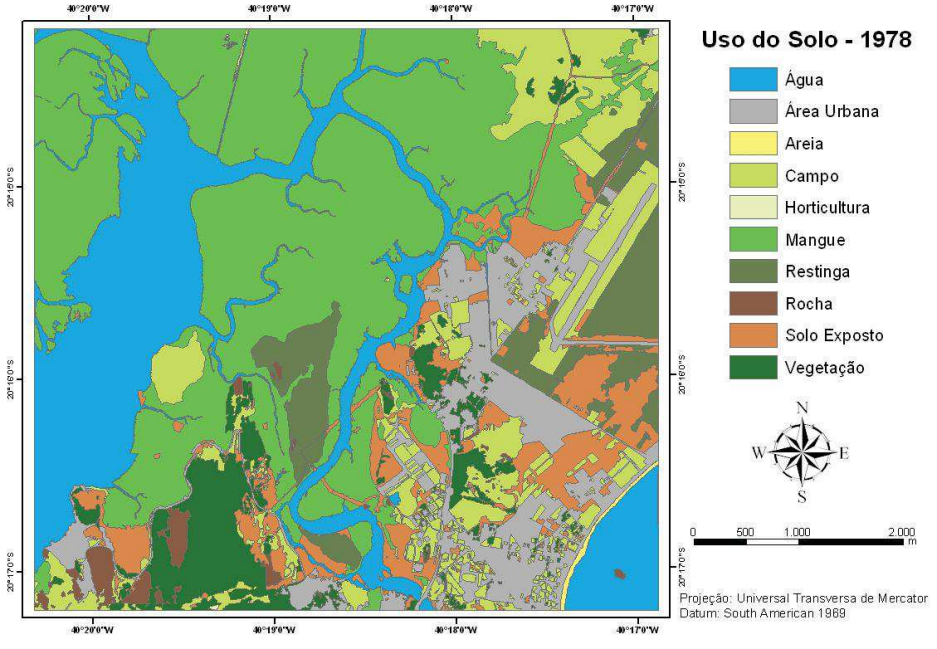


Figura 3.11. Uso do solo no ano de 1978.

Tabela 3.7. Dados da área de estudo no ano de 1978.

CLASSES	Área (Km²)	Área (%)
Água	6,422	19,24
Área Urbana	3,266	9,79
Areia	0,081	0,24
Campo	3,978	1,92
Horticultura	0,006	0,02
Mangue	12,458	37,33
Restinga	2,054	6,15
Rocha	0,404	1,21
Solo Exposto	2,787	8,35
Vegetação	1,919	5,75

Uso do solo do ano de 2003

No ano de 2003 observamos o aumento da classe área urbana, que agora representa 20,51% da área total estudada. Verificamos a diminuição da área das classes água, solo exposto, rocha, campo e vegetação em relação ao ano de 1978.

Foi possível distinguir claramente as áreas que anteriormente, no ano de 1978, foram classificadas como solo exposto e agora deram lugar a área urbana, também observamos que áreas que se apresentavam degradadas se recuperaram, havendo um aumento da classe restinga e manguezal apresentando no ano de 2003, respectivamente, 6,84% e 38,81% da área de estudo.

Essas alterações podem ser observadas na Figura 3.12 e na Tabela 3.8.

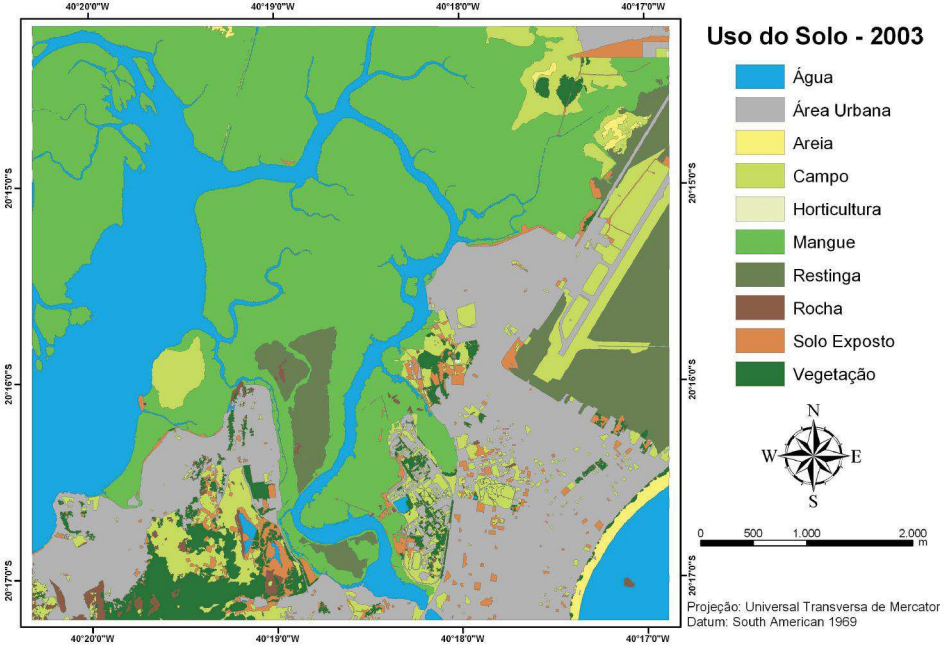


Figura 3.12. Uso do solo no ano de 2003.

Tabela 3.8. Dados da área de estudo no ano de 2003.

CLASSES	Área (Km²)	Área (%)
Água	6,003	17,95
Área Urbana	6,861	20,51
Areia	0,231	0,69
Campo	2,857	8,54
Horticultura	0,006	0,02
Mangue	12,980	38,81
Restinga	2,288	6,84
Rocha	0,206	0,61
Solo Exposto	0,774	2,51
Vegetação	1,240	3,71

Uso do solo no ano de 2005

Verificou-se nesse ano um pequeno aumento da área de manguezal em relação ao uso do solo no ano de 2003, representando no ano de 2005, 39,22% da área estudada. As demais classes sofreram alterações de pequeno porte, quando comparadas ao mapa de uso de solo do ano anterior, conforme pode ser visto na Figura 3.13 e na Tabela 3.9.

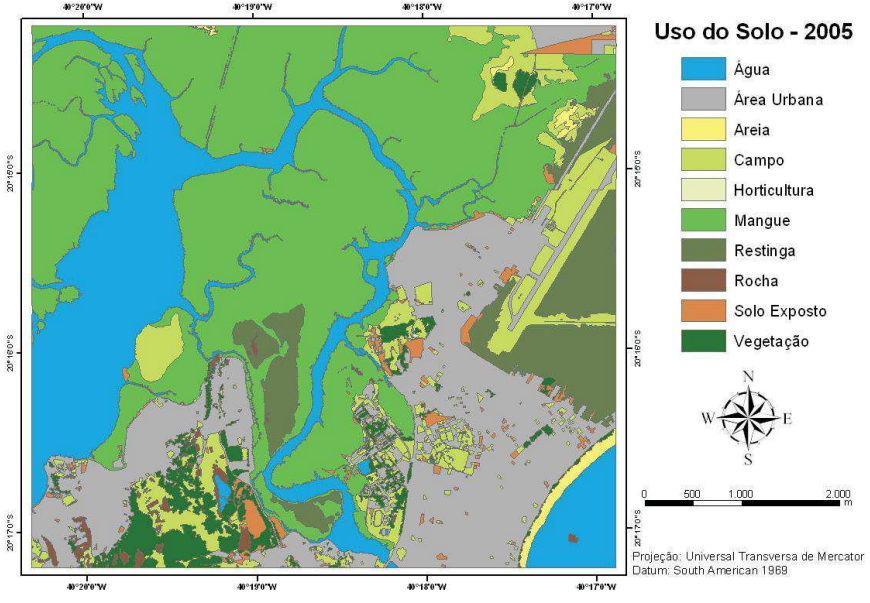


Figura 3.13. Uso do solo no ano de 2005.

Tabela 3.9. Dados da área de estudo no ano de 2005.

CLASSES	Área (Km²)	Área (%)
Água	5,933	17,79
Área Urbana	6,632	19,88
Areia	0,245	0,74
Campo	2,971	8,91
Horticultura	0,004	0,01
Mangue	13,082	39,22
Restinga	2,396	7,18
Rocha	0,243	0,73
Solo Exposto	0,568	1,70
Vegetação	1,282	3,84

Comparação das porcentagens de uso do solo para os anos 1978 e 2003.

A Figura 3.14 apresenta a comparação de porcentagem do uso de solo obtido para os anos de 1978 e 2003. As colunas hachuradas representam as modificações de cada classe em relação a este período.

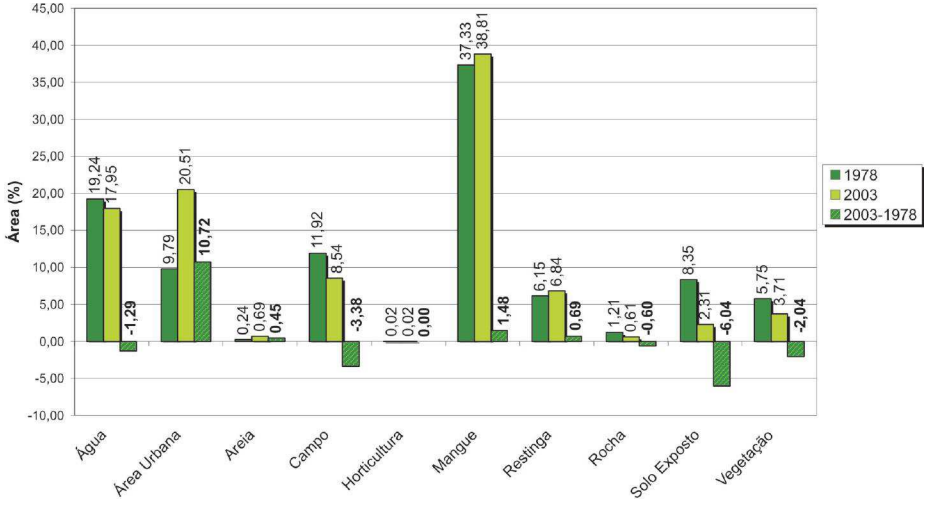


Figura 3.14. Comparação das porcentagens de uso do solo para os anos 1978 e 2003.

A classe água apresentou uma queda de 1,29% em relação à área total estudada quando comparados os anos de 1978 e 2003. Atribuímos esta queda aos aterros construídos entre esses anos nas regiões compreendidas pelos bairros São Pedro, Santo André, Ilha das Caieiras, Nova Palestina e Maria Ortiz (FERREIRA, 1989) (ALVES, 2004).

A classe área urbana apresentou um considerável aumento, representando 9,79% da área no ano de 1978, aumentando 10,72% até o ano de 2003.

A classe mangue que em 1978 representava 37,33% da área, aumentou 1,48% em relação ao ano de 2003.

A classe solo exposto, que apresentou 2,31% no ano de 2003, em 1978 apresentou 8,35% da área. Esta diminuição de 6,04% área de solo exposto está relacionada ao aumento populacional e à recuperação da área de manguezal.

A classe vegetação que em 1978 representava 5,75% da área de estudo, em 2003 passou a possuir 3,71%, o que representa uma queda de 2,04%.

Os resultados apresentados pelas classes área urbana, mangue, solo exposto e vegetação concordam com o resultado da pesquisa de Vieira (2004), que estudou a evolução temporal para todo o município de Vitória-ES entre os anos de 1994 e 2002 e concluiu, comparando mapas de uso do solo dos dois anos estudados e utilizando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada, que: a classe vegetação diminuiu em 8,76%, a área urbana aumentou em 9,12%, o mangue teve sua vegetação aumentada em 1,80% e o solo exposto diminuiu em 3,26%, atribuindo o aumento da classe área urbana e a diminuição das classes vegetação e solo exposto ao crescimento populacional e à necessidade de ocupação de todos os locais disponíveis para abrigar este crescimento.

A classe campo, que no ano de 1978 detinha 11,92% da área

apresentou queda de 3,38% para o ano de 2003, representando 8,54% da área de estudo. A classe campo não foi estudada por Vieira (2004), foi classificada juntamente com a classe vegetação, pois a autora define a classe vegetação da seguinte forma: "Caracteriza-se como todas as regiões verdes visíveis, excetuando o mangue". Uma das razões para esta definição de Vieira (2004) seria a utilização de imagens do satélite Landsat TM de 30 metros de resolução espacial em sua pesquisa, o que poderia gerar confusão entre as classes campo e vegetação se fossem mapeadas separadamente.

Uma constatação visual que fizemos quando observamos os mapas de uso do solo dos anos de 1978 (Figura 3.11) e 2003 (Figura 3.12) foi a substituição de áreas que anteriormente foram classificadas como vegetação, em 1978, por campo, em 2003. Associamos este fato à degradação gerada pelo aumento da área urbana, que necessitou de áreas para a sua expansão.

A restinga que representava 6,15% da área em 1978 apresentou 6,84% da área em 2003, representando um aumento de 0,69%. Ferreira (1989) afirma que as áreas que na ilha do Lameirão representavam a transição de vegetação de mangue para vegetação de restinga, apresentavam salinidade mais elevada e altos percentuais de areia, o que permitia que a vegetação de mangue se tornasse mais pobre e estressada. Observamos, também, nos mapas de uso e ocupação do solo que áreas classificadas no ano de 1978, como solo exposto, que se localizavam próximas ao aeroporto, nos anos seguintes foram classificadas como Restinga. Tais fatos podem justificar este aumento da classe restinga.

A classe areia, que apresentava em 1978 0,24% da área, em 2003 apresentou 0,69%. Podemos atribuir este aumento de 0,45% às duas engordas realizadas na praia de Camburi, sendo a primeira realizada no final da década de 70, início da década de 80, e a segunda em 1999. (SOARES, apud MELO; GONZALEZ, 2005).

A classe horticultura não apresentou alterações quando comparamos os anos de 1978 e 2003.

A classe rocha apresentou uma queda de 0,60% em relação à área estudada. Atribuímos esta queda ao aumento populacional e ao crescimento de gramíneas sobre as rochas, que foram classificadas como campo.

Comparação das porcentagens de uso do solo para os anos 2003 e 2005.

A Figura 3.15 apresenta a comparação de porcentagem do uso de solo obtido para os anos de 2003 e 2005. As colunas hachuradas representam as modificações de cada classe em relação a este período.

Devido ao intervalo de tempo entre as imagens, apenas dois anos, já esperávamos que pequenas alterações acontecessem. Porém, as classes área urbana, campo, rocha e solo exposto não seguiram a tendência esperada, o que atribuímos à natureza das imagens utilizadas. Para o ano de 2003 foi utilizada uma aerofoto colorida de 0,25m de resolução espacial e para o ano de 2005 foi utilizada uma imagem *quickbird* de 0,61m de resolução espacial.

A tendência esperada, quanto à comparação dos mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 2003 e 2005, seria um aumento da área urbana, o que não ocorreu, havendo uma diminuição de 0,63%, que representou uma área de 0,229 km^2.

Outras classes em que percebemos que houve confusão foram: solo exposto, rocha e campo. Estas apresentam, em relação ao ano de 2003, respectivamente, uma diminuição de 0,61%, um aumento de 0,12% e um aumento de 0,37%. Estas se devem à aproximação entre os tons de cinza da imagem *quickbird* (ano de 2005).

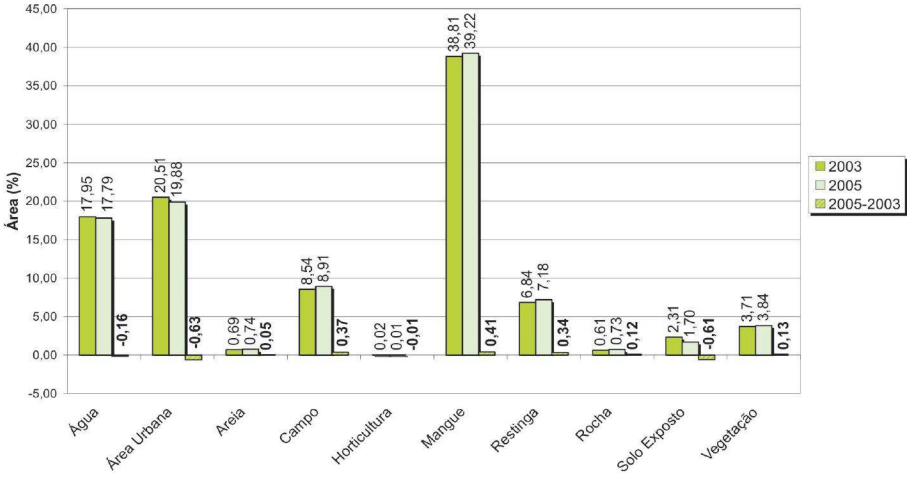


Figura 3.15. Comparação das porcentagens de uso do solo para os anos 2003 e 2005.

Assim, discutiremos os possíveis fatores que, de acordo com alguns autores, podem interferir na interpretação de imagens.

Segundo Holland et. al. (2006), os vetores advindos de aerofotos de escalas maiores que 1:25000 são mais complexos do que os capturados pelo *Quickbird* nos termos de exatidão posicional, e integridade e fidelidade geométrica. No caso deste trabalho, as aerofotos utilizadas para o mapeamento do ano de 2003 possuíam escala de 1:8000.

Além disso, na imagem *Quickbird* a inclinação do satélite e sombras aplicadas ao solo, devido a construções e árvores, pode cobrir o terreno e obstruir a interpretação visual (RATCLIFF & HENEBRY, 2005).

Outra questão importante a ser evidenciada é a diferença da resolução espacial das imagens utilizadas: a aerofoto de 2003 possui 0,25m de resolução espacial, enquanto que a imagem de 2005 possui 0,61m. A resolução espacial, ou seja, o tamanho estabelecido a um pixel, como elemento finito, é a característica

mais importante da imagem no sensoriamento remoto. Assim, quanto mais alta a resolução espacial, e, portanto quanto menor o valor atribuído a um pixel em relação ao terreno, melhor será a interpretação da imagem por um observador humano (MOLLER, 2005).

Outra associação de importância, mencionada por Moreira (2003), se refere às aerofotos obtidas por filmes coloridos. Este tipo de filme produz fotografias muito semelhantes às imagens observadas pelo sistema visual humano, permitindo associar a cor da fotografia às cores dos objetos fotografados, facilitando a interpretação visual. Já nas aerofotos advindas de filme preto e branco e na imagem pancromática do *quickbird,* os objetos são apresentados em diferentes tons de cinza.

Nestas imagens, em que os objetos apresentam-se em tons de cinza, a diferença da cobertura urbana deve ser levada em consideração. O ambiente intra-urbano constitui-se em uma miscelânea de materiais e superfícies, como: concreto, asfalto, tipos de telhados (argila, madeira, metal), solos expostos e tipos de vegetação (MOLLER, 2005).

Além disso, o tipo de padrão de ocupação urbana influi também na análise visual. Pinho et al. (2007) afirmaram que quanto mais completo o padrão de ocupação pior será a exatidão temática dos resultados. A área de estudo possui regiões com arranjo espacial bem definido, como, por exemplo, os bairros Mata da Praia e Jardim da Penha. Por outro lado existem bairros como, por exemplo, Redenção, Nova Palestina e São Pedro, que possuem arranjo espacial mal definido, advindo, nestes casos, de invasões e de uma ocupação não planejada.

Assim, os resultados apresentados com relação à comparação dos anos de 2003 e 2005 se devem a limitações das imagens. Contudo, não acreditamos que estes resultados devam ser descartados, mas, que devam ser comparados a outros mapeamentos futuros, principalmente a mapeamentos que tenham como base aerofotos atuais.

A área mapeada por esta pesquisa possui poucos vôos aerofotogramétricos que a englobem, principalmente que abranjam a estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão como um todo.

O uso de imagens de alta resolução, como a *quickbird,* pode suprir esta deficiência em mapeamentos feitos no futuro, apesar das limitações que existem em seu uso.

3.3.3 Etapa 03: mapa de vulnerabilidade à ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão

Quanto à ação antrópica exercida pelos fatores mapeados sobre a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão, ou seja, sobre o ecossistema manguezal, percebemos que a maior vulnerabilidade encontra-se próxima à área urbana. O que é justificável já que há uma relação próxima entre os fatores e a urbanização (Figura 3.16).

Ferreira (1989) concluiu e advertiu, em sua pesquisa, sobre a necessidade de manejo e monitoramento da área que corresponde à Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão, evitando o acúmulo de atividades que causem impactos e que possam por em perigo o equilíbrio ambiental desta área.

No entanto, nossas observações, referentes à Estação Ecológica, não discordam das observações desta pesquisadora. Verificamos que esta unidade de conservação vem sofrendo uma série de impactos antrópicos em seu entorno. Apresentando uma vulnerabilidade antrópica classificada, em quase o total de sua área, como média a alta.

Coutinho (2004), quando pesquisou a vulnerabilidade antrópica atuante no manguezal da área denominada de "mangue seco", uma localidade existente entre alguns bairros de Vitória - ES (Joana D'Arc, Santa Martha e Andorinhas), propôs a necessidade da utilização desta metodologia para o mapeamento que abrangesse uma maior área de manguezal da

baía de Vitória, e concluindo que a área em que sua pesquisa se desenvolveu representava uma porção de um conjunto que apresentava em seu entorno uma situação de "desordem urbana". As expectativas deste autor quanto à extensão e à intensidade da vulnerabilidade atuante confirmaram-se com a realização desta pesquisa.

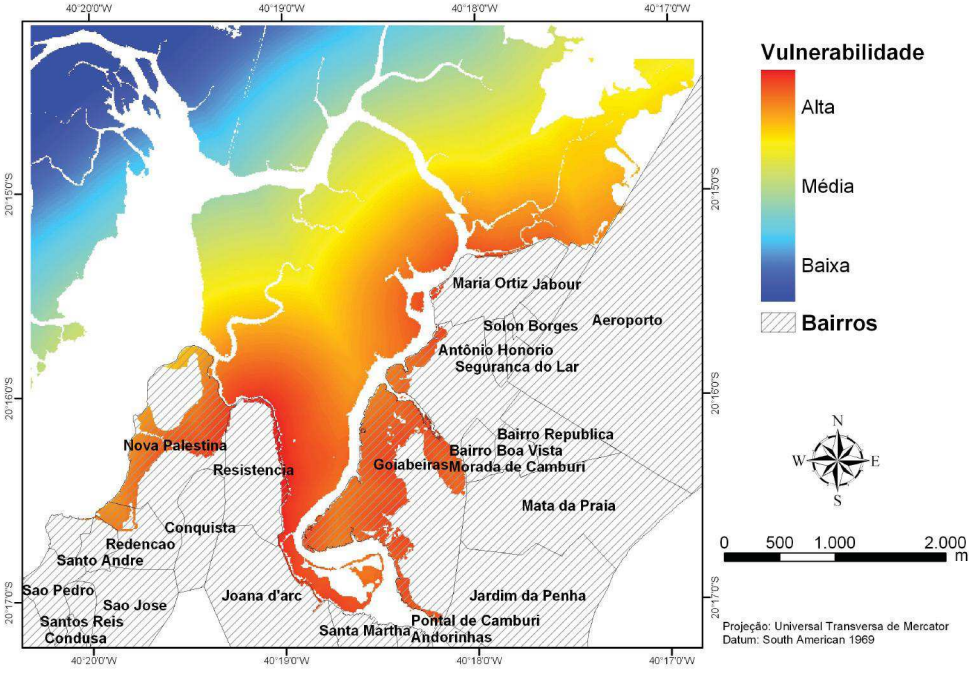


Figura 3.16. Mapa de vulnerabilidade a ação antrópica para a Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão.

3.4 Conclusões

Apesar da invasão ocorrida aos manguezais da área de estudo, o que observamos foi um pequeno aumento de 3.37% da área de manguezal entre os anos de 1978 a 2005. Ao nosso entender, parte da área dos manguezais que havia sido degradada nos anos que antecederam o período englobado

por esta pesquisa conseguiu se recuperar. Tal fato pode ser justificado pela diminuição da área classificada como solo exposto, o que pode ser observado facilmente nas tabelas de dados e nos mapas de uso e ocupação do solo.

Essa recuperação, contudo vem acompanhada de uma vulnerabilidade antrópica que na maior parte da área da Estação Ecológica foi classificada de média a alta. Ou seja, apesar das invasões ocorridas no passado terem sido contidas, ainda existem fatores que colaboram para a degradação deste ecossistema como, por exemplo, os esgotos lançados diretamente nas áreas de manguezal.

Acreditamos que o resultado desta pesquisa possa se tornar uma ferramenta útil no apoio à decisão, pois através da mesma foi possível analisar temporalmente as mudanças ocorridas na área de estudo, reconhecer os seus fatores de vulnerabilidade antrópica e desenvolver um mapa de vulnerabilidade à ação antrópica que esses fatores proporcionam, tornando possível reconhecer as áreas passíveis de maior impacto ambiental e desenvolver um plano de manejo focado para as necessidades de preservação da Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão.

3.5 Referências

ALONGI, D. M. **Coastal ecossistem processes.** Boca Raton: CRC Press, 1998.

ALVES, A. **Os argonautas do mangue.** Campinas: Unicamp, 2004.

BRITO, F.S.R. **Projeto de um Novo Arrabalde.** v. 2. Rio de Janeiro: Xerox de Brasil, 1996. Disponível em: < http://www.ape.es.gov.br> Acesso em: 01 set. 2005.

CITRÓN, G., NOVALLI Y. **Ecology and management of new world mangroves**. In: SEELIGER, U. (Org.). Coastal

plant communities of Latin America. San Diego: Academic, 1992. p. 233-258.

COUTINHO, L. A. **Mapa de vulnerabilidade à ação antrópica em Mangue Seco e proximidades, Vitória, ES.** 2004. Monografia (Bacharel em Geografia) – Departamento de Geografia. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, 2004.

DERENZI, L. S. **Biografia de uma ilha.** Rio de Janeiro: Pongetti, 1965.

EYSINK, G. G. J. et al. **Replantio de plântulas de LAGUNCULARIA RACEMOSA visando o seu uso em programas de recuperação de manguezais degradados.** In: IV SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS. 1998, Águas de Lindóia. **Anais do iv simpósio de ecossistemas brasileiros**. Águas de Lindóia: ACIESP, 1998. v. 1, p. 48-52.

FERNANDES, C. **Esgotos sanitários.** João Pessoa: UFPB, 1997.

FERREIRA, R. D. **Os manguezais da baía de Vitória (ES):** Um estudo de geografia física integrada. 1989. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de pós-graduação em geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (USP), São Paulo, 1989.

GOMES, L. F. A.M. et al. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Pioneira, 2004.

HASENACK, H. et al. 1998. **Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de um módulo de apoio à decisão em um sistema de informação geográfica**. Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento da América Latina, 4. Anais do Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento da América Latina. Curitiba/ PR.

HOLLAND, D. A.; BOYD, D. S.; MARSHALL, P. **Updating**

topographic mapping in Great Britain using imagery from high-resolution satellite sensors. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 60, p. 212-223, 2006.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F; ZANDONADE, E. **Distribution and abundance of heavy metals in sediments from Vitória Island estuarine system**. Química Nova., v.27, n.3, p.378-386, 2004.

MOELLER, M. S. **Remote sensing for the monitoring of urban growth patterns.** URBAN-URS 2005, ISPRS. Tempe (AZ). 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS). 14 a 16 de março de 2005. Disponível em: <http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban>

MOREIRA, A. M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2º ed. Viçosa: UFV, 2003.

PAIVA, D. S. **Estudo sedimentológico do material de fundo do canal da passagem e trecho da baía de Vitória-ES**. 1999. Monografia (Especialização em Ecologia e Recursos Naturais) – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, 1999.

PINHO, C. M. D.; KUX, H.; ALMEIDA, C. M. **Influência de diferentes padrões de ocupação do solo urbano na qualidade de mapeamentos de cobertura do solo em imagens de alta resolução espacial: estudo de caso de São José dos Campos (SP).** In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Org). Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

RATCLIFF, I. C.; HENEBRY, G. M. Urban land cover change analysis: the value of comparing historical spy photos with contemporary digital imagery. URBAN-URS 2005, ISPRS.

Tempe (AZ). 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS). 14 a 16 de março de 2005. Disponível em: <http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban>

ROSOT, A. et al. **Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacobi a ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento**. COBRAC 2000, UFSC. Florianópolis. Congresso brasileiro e cadastro técnico multifinalitário. 15 a 19 de outubro de 2000. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/geodesia-online/arquivo/cob2000.htm>

SAATY. T. H. **A scaling method for priorities in hierarchical structures.** Journal of Mathematical Psychology, v. 15, n 3, p. 234-281, 1977.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

SOARES, S. B. **Avaliação experimental da taxa longitudinal de transporte de sedimentos e sua previsão usando formulações globais na zona de surfe da praia de Camburi, Vitória – ES**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de pós-graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, 2005. 113 p.

SUGUIO, K. **Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas**. Geologia USP**:** Série Didática, v. 2, n. 1, p. 1-40, 2003. Disponível em: <http://www.igc.usp.br/geologiausp/sd1/art.php?artigo=598> Acesso em: 6 abr. 2005.

WANG, M.; CHIEN, H. Environmental behaviour analysis of high-rise building areas in Taiwan. **Building and environment.** n. 34, p 85-93. 1999.

CAPÍTULO 4

Análise comparativa da batimetria do canal principal da baía de Vitória, ES, entre os anos de 1928 e 2002

André Luís Nunes
Gilberto Fonseca Barroso
Alexandre Rosa dos Santos

4.1 Introdução

A baía de Vitória localiza-se na costa Atlântica da América do Sul, no Brasil, entre as coordenadas 20º14S/040º22'W e 20º20S/040º16'W. Compõe um sistema estuarino do qual também fazem parte a baía do Espírito Santo e dois canais de interligação, o canal principal e o canal da Passagem, abrigando, ainda, diversas ilhas: a principal, hoje denominada Ilha de Vitória; do Frade; das Cobras; da Fumaça; das Pombas; da Pólvora; Ilha do Cal; e outras (Figura 1). Muitas de suas ilhas originais perderam esta característica de individualidade, tendo sido incorporadas à ilha principal, como a Ilha do Príncipe, a Ilha de Santa Maria, a Ilha do Boi e outras, menores. A origem deste sistema é semelhante à de outras baías do litoral brasileiro, onde a transgressão oceânica inundou fozes, embocaduras e leitos dos trechos finais dos rios que deságuam no Atlântico (COSTA, 1999). No entorno do sistema, estão situadas as quatro principais cidades da região metropolitana de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo: Vila Velha, Cariacica, Serra e a própria Vitória, somando uma população

superior a 1,2 milhão de habitantes. Também ali localiza-se um dos maiores complexos portuários do país, composto pelos Portos de Vitória, Capuaba, Vila Velha e Tubarão.

A porção aquática da baía de Vitória, mais especificamente seu canal principal, já foi considerada um rio, o rio Espírito Santo. Esta denominação perdurou por séculos, o que pode ser observado através de relatos históricos bastante distanciados no tempo (SOUZA, 1587; VASCONCELLOS, 1828). Em 1943, concluiu-se pela sua classificação como baía, abandonando a idéia de que se tratava do estuário do Rio Santa Maria (MIRANDA et al., Memória visual da baía de Vitória).

Os levantamentos batimétricos realizados sobre o leito da baía de Vitória têm sido realizados e divulgados pela Marinha do Brasil, através das cartas náuticas que abrangem sua área. Destas, a de maior escala (1:15.000) é a Carta Náutica 1401 (1ª. ed. 1928; última ed. 2002). A batimetria do canal principal da baía situa-se, "(...) em média, em torno de 10-11 metros, sendo que em dois pontos — em frente ao Penedo e entre as ilhas das Pombas e a da Fumaça — atinge a 23 metros". (COSTA, 1999; MARINHA DO BRASIL, Carta Náutica 1401, ed. 2002). A região noroeste da baía ainda é carente de levantamentos batimétricos publicados.

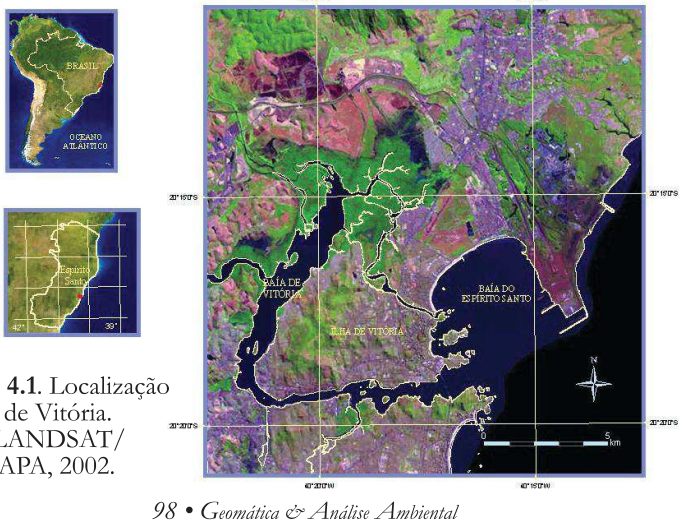


Figura 4.1. Localização da baía de Vitória. Fonte LANDSAT/ EMBRAPA, 2002.

Ao longo do processo de sua ocupação, a baía de Vitória tem sofrido inúmeras alterações em sua fisionomia, resultantes de ações que têm sido identificadas, principalmente, como aterros em áreas originalmente ocupadas por seu espelho d'água e pelos manguezais, característicos da região. Tal assunto tem sido objeto, tanto de relatos históricos-geográficos (COSTA, 1998), como de pesquisas que têm se valido do uso de sistemas de informação geográfica (NUNES, 2005; NUNES & BARROSO, 2005).

Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a ferramenta computacional do geoprocessamento, têm sido descritos como um "poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenagem, recuperação e exibição de dados do mundo real para determinados propósitos" (BURROUGH, 1986). Já Câmara et al. (2001), definem geoprocessamento como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, afirmando que, se os objetos de um determinado trabalho têm como característica a localização espacial, justifica-se a aplicação de um SIG. A adequação dos SIG a propostas de trabalho desta natureza também pode ser observada nas aplicações do modelo numérico de terreno [MNT], propostas por Borrough (op. cit.): armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos e apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis). Componente estrutural básico de um SIG, o termo MNT pode ser definido "como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x,y), em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície" (CÂMARA et al., op. cit.).

A representação tridimensional do leito oceânico, no Brasil, tem sido desenvolvida de forma pioneira pela Fundação Universidade Federal de Rio Grande, através do mapeamento tridimensional da porção Sul-Sudeste do leito oceânico ao largo

da costa brasileira (FERREIRA, 2003). A baía de Vitória foi representada em seu conjunto, através de MNT, em múltiplas representações temporais, abrangendo o período do início do Século XXI até o ano de 2002 (NUNES, op. cit.; NUNES & BARROSO, op. cit.).

O presente trabalho investiga uma parcela das modificações históricas que tiveram curso no sistema estuarino da baía de Vitória. Mais especificamente, analisa as alterações ocorridas na batimetria do seu canal principal, entre os anos de 1928 e 2002, demonstradas em produto cartográfico gerado através de operações entre arquivos *raster* (aplicativo *Spatial analyst* do ArcGIS, ESRI). Utiliza-se, para isto, de base de dados anteriormente gerada (NUNES, op. cit.) através de aplicativos de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

4.2 Metodologia

A metodologia da pesquisa foi constituída por quatro etapas: aquisição da base de dados; tratamento das informações e geração de produtos intermediários em ambiente SIG; edição dos produtos cartográficos finais e análise interpretativa dos resultados obtidos.

O conjunto de aplicativos utilizado foi o ArcView, versão 8.3, ESRI, e os requisitos de *hardware* utilizados atenderam aqueles recomendados pelo fabricante: plataforma PC-Intel; sistema operacional Windows XP; memória RAM 512 MB; e processador Pentiun 4, 1.5 GHz.

Os dados iniciais foram obtidos da base de dados do Modelo Histórico das Alterações Fisiográficas Recentes da Baía de Vitória, ES, (...) (NUNES, op. cit.), consistindo em arquivos vetoriais representativos (Tabela 1): (a) da linha de costa e batimetria da baía para os anos de 1928 e 2002; (b) das áreas emersas da baía e entorno para o ano de 2002; e (c) das áreas do seu espelho d'água aterradas no período considerado.

Tabela 4.1. Dados vetoriais utilizados no estudo.

Tema	Escala	Sistema de Coordenadas	Datum Horizontal	Fonte
Linha de costa e batimetria, ano de 1928.	1:200.000	WGS 1984, UTM *Zone* 24	Zero Hidrográfico, DHN	NUNES, 2005
Linha de costa e batimetria, ano de 2002.	1:200.000	WGS 1984, UTM *Zone* 24	Zero Hidrográfico, DHN	NUNES, 2005
Áreas emersas da baía e entorno, ano de 2002.	1:200.000	WGS 1984, UTM *Zone* 24	Zero Hidrográfico, DHN	NUNES, 2005
Áreas do espelho d'água aterradas entre os anos de 1928 a 2002.	1:200.000	WGS 1984, UTM *Zone* 24	Zero Hidrográfico, DHN	NUNES, 2005

O tratamento das informações, com vistas à geração dos produtos intermediários, consistiu nas seguintes etapas, descritas no fluxograma da Figura 4.2: (1) geração de MNTs representativos das batimetrias da baía, para os anos de 1928 e 2002, utilizando-se do aplicativo *3D Analyst*, do ArcGIS; (2) rasterização dos MNTs gerados também com o uso do *3D Analyst*; (3) reclassificação dos arquivos rasterizados, utilizando-se o aplicativo *Spatial* Analyst; (4) realização de operação com os arquivos rasterizados, utilizando-se o aplicativo *Spatial Analyst* (*raster calculator*) (Figura 4.3); (5) rasterização dos polígonos representativos das áreas emersas e aterradas (*Spatial Analyst*) e (6) edição dos produtos finais.

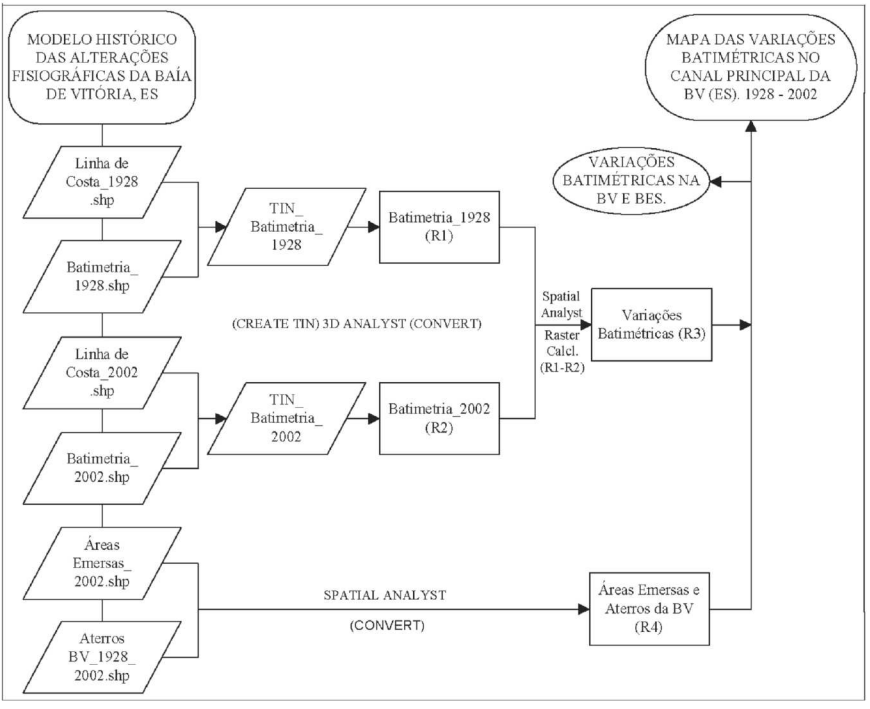


Figura 4.2. Fluxograma de elaboração do mapa das alterações batimétricas no canal principal da baía de Vitória, ES. 1928/2002.

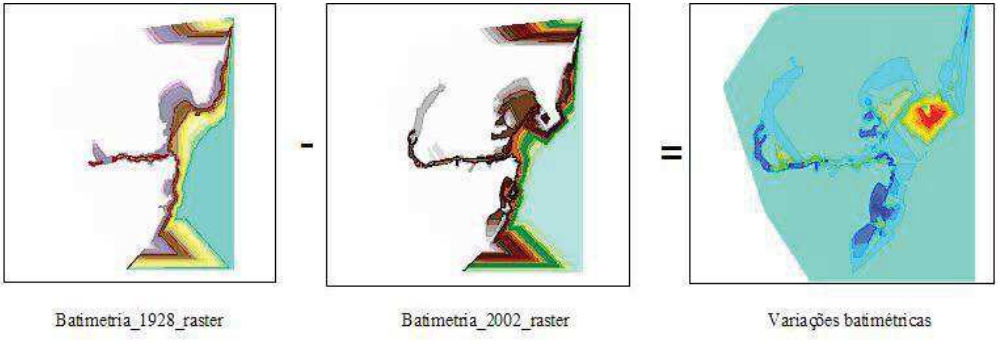


Figura 4.3. Simulação esquemática da operação de subtração dos arquivos rasterizados da batimetria da baía de Vitória.

4.3 Resultados e discussão

A análise dos resultados indicou que, de uma forma geral, houve aprofundamento dos níveis batimétricos do canal principal da baía de Vitória (Figura 4.4). Os valores foram mais significativos para este aprofundamento do leito, sempre em áreas próximas à atividade portuária, provavelmente devido aos procedimentos de dragagem dos canais de navegação e áreas de manobras, como entre os portos de Vitória e Capuaba, no atracadouro da Ilha da Fumaça, e no atracadouro situado a leste do monte Penedo (10, ou mais, metros).

Também na barra do canal principal observou-se um acréscimo significativo na profundidade, de igual ordem aos anteriormente citados. É interessante mencionar o leve acréscimo observável ao sul do aterro da Enseada do Suá, na verdade delimitado por antigos enrocamentos. Há, ainda, a área extensa indicando aprofundamento na porção oeste do canal, em sua transição com a área de fundo da baía.

Junto à antiga Ilha do Príncipe, verificou-se, na parte central do canal, uma área indicando diminuição da profundidade, assim como em pequenas áreas junto à Avenida Beira-Mar (em Vitória), em frente à Prainha de Vila Velha, e em porção central próximo à barra deste canal. Estas diminuições na profundidade situaram-se entre 4 e 8 m.

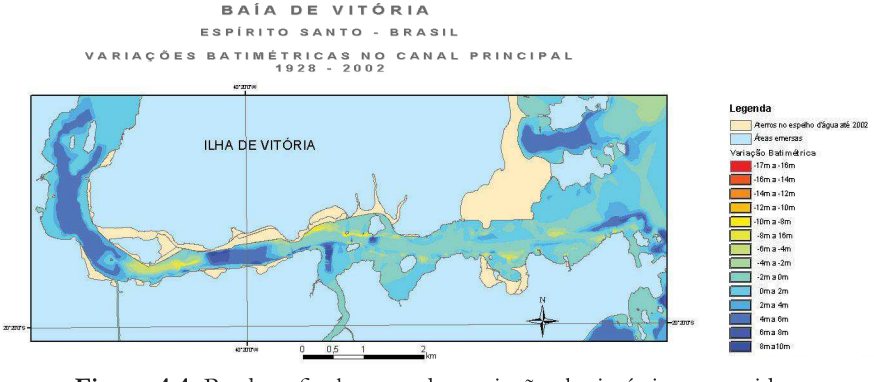


Figura 4.4. Produto final: mapa das variações batimétricas ocorridas no canal principal da baía de Vitória entre os anos de 1928 e 2002.

Na Figura 4.5, que abrange a totalidade da baía de Vitória, a baía do Espírito Santo e a porção sul da costa, transpareceu a diminuição da profundidade observada no entorno da Ponta de Tubarão, assim como uma leve diminuição da profundidade na Enseada de Camburi, imediatamente a Oeste da soleira que a delimita. Na porção sul da costa, abrangida por este segundo mapa, verificou-se um incremento na profundidade do leito oceânico junto à costa.

De uma forma geral, as análises dos resultados permitiram verificar o aprofundamento do leito em áreas onde ocorre atividade portuária e de atracamento de navios ou barcos. A inferência possível foi de que tal fato se origina de ações antrópicas (dragagem do leito), com vistas à manutenção do nível operacional dos portos, em termos de calagem dos navios.

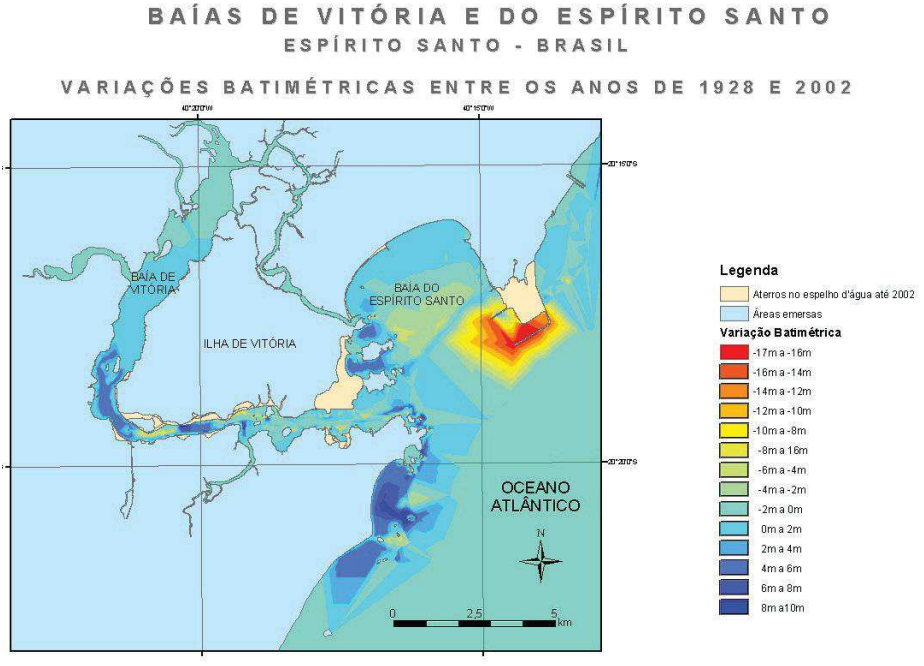


Figura 4.5. Produto final paralelo: mapa das variações batimétricas ocorridas na baía de Vitória entre os anos de 1928 e 2002.

O leve aprofundamento verificado junto ao limite sul da Enseada do Suá, de até 2 m, pode ser decorrente do resultado positivo do enrocamento que ali teve lugar [em período bastante anterior à realização do aterro da própria enseada], em termos de lograr proteger o canal principal do assoreamento decorrente do fluxo de sedimentos advindos daquela área.

O aprofundamento observado na porção oeste do canal e fundo da baía não deve ser considerado como real, antes sendo resultante da ausência de levantamento batimétrico na área, no ano de 1928. Conseqüentemente, a batimetria, quando registrada, acabou sendo compreendida como aprofundamento do leito, em comparação com a profundidade zero anteriormente registrada. Entretanto, a redução na profundidade entre 4 e 10 m, observada no limite Leste da citada área, junto à segunda ponte e Ilha do Príncipe deve ser levado em consideração como indício de assoreamento em área de desinteresse para a atividade portuária de grande calagem e, por isto mesmo, sujeita a eventuais processos naturais de assoreamento.

O aprofundamento na barra da baía, de até 8 m, junto à ponta de Santa Luzia, também foi merecedor de atenção. Sendo desejável para as operações portuárias, sua origem pode estar relacionada às atividades de dragagem. Também se pode inferir que, face às ações antrópicas sobre a baía, em especial a retificação e o aprofundamento da porção principal do canal principal, tal fato poderia ser resultante de alterações na dinâmica hídrica da baía.

Sobre as situações presentes nas demais porções da baía observáveis na Figura 4.5, optou-se por atribuir caráter duvidoso, em função da aparente falta de minúcia dos levantamentos batimétricos nestas áreas, da carta mais antiga (1928). Uma análise seqüencial dos acontecimentos, ou seja, a análise das alterações batimétricas em períodos intermediários aos dois extremos agora analisados poderia estabelecer maior

grau de confiança aos resultados.

A ferramenta *raster calculator*, do aplicativo *Spatial Analyst*, comprovou seu elevado valor como geradora de produtos inéditos a partir de uma base de dados já existentes. O resultado apresentado no presente estudo proporcionou visão explicativa dos acontecimentos físicos ocorridos no leito daquela porção da Baía de Vitória, permitindo inferir sua origem, em associação com outros conhecimentos.

4.4 Conclusões

Os resultados apontaram para o aprofundamento geral do leito do canal principal da baía de Vitória, mas de forma mais pronunciada em áreas de interesse para a atividade portuária. Esta coincidência de situações permitiu inferir que o aprofundamento teve origem antrópica. Processos de assoreamento podem estar em curso na baía, tornando-se evidentes em áreas onde não ocorreria atividade de dragagem do leito. A região nordeste deste canal, junto ao antigo enrocamento que uniu a Ilha do Boi à Ilha de Vitória, parece ser área livre de quaisquer pontos de assoreamento, o que, em se confirmando a ausência de atividade de dragagem naquela área, poderia atestar a eficiência desses enrocamentos, como obras destinadas a impedir o assoreamento do canal principal com fluxo de sedimentos originados da antiga enseada.

4.5 Referências

BURROUGH, P.A. Principles of Geographical Information System for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press, 1986.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. et al.. Introdução à ciência da geoinformação. Série Geoprocessamento: teoria e aplicações. São José dos

Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em: 22 maio 2004.

COSTA, R. B. A Baía de Vitória e suas ilhas. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Espírito Santo**, Vitória, n.51, p.17-30, 1999. Disponível em: <http://www.vitoria.es.gov.br/secretarias/cultura/ihges/brunow2.htm>. Acesso em: 27 jul. 2004.

COSTA, R. B. A Ilha de Vitória. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Espírito Santo**, Vitória, n.50, p.365-79, 1998. Disponível em: <http://www.vitoria.es.gov.br/secretarias/cultura/ihges/brunow3.htm>. Acesso em: 27 jul. 2004.

FERREIRA, C. dos Santos. Visão das profundezas. **Revista Pesquisa FAPESP**. São Paulo, ed. 90, 2003.

LANDSAT. **Imagem satélite das baías de Vitória e do Espírito Santo**. Acervo EMBRAPA, 2002.

MARINHA do Brasil. **Carta 1401. Porto de Vitória e Tubarão**. Esc. 1:15000, edições 1928, 1954, 1961 e 2002.

NUNES, A. L. **Modelo histórico das alterações fisiográficas recentes da baía de Vitória, ES, com o uso de Sistema de Informações Geográficas**. Vitória: UFES - DERN, Monografia de Graduação em Oceanografia, 2005.

NUNES, A. L.; BARROSO, G. F.. **Modelo histórico das alterações fisiográficas recentes da baía de Vitória, ES, com o uso de Sistema de Informações Geográficas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2.ed., 2005, Vitória. **Painéis...**Vitória: AOCEANO/UFES, 2005. 1 CD.

CAPÍTULO 5

Uso de sistema de informações geográficas na avaliação da influência antrópica na qualidade da água da bacia do rio Formate, ES

Andréa Castro de Morais
Tiago Cardoso Fernandes

5.1 Introdução

O presente trabalho aborda a aplicação de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas na obtenção de parâmetros geomorfológicos, hidrológicos e na análise de qualidade de água na bacia do Rio Formate. A metodologia aplicada na obtenção destes parâmetros pode ser aplicada à caracterização de qualquer bacia hidrográfica.

As informações associadas à caracterização hidrológica de uma região podem ser preparadas e analisadas no processo de modelagem. Os SIGs têm sido amplamente aplicados neste intuito, pois se tratam de conjuntos interativos de subsistemas que possibilitam a organização da informação espacial auxiliando o processo de tomada de decisões (SANTOS, 2001).

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, já que a declividade

afeta diretamente a velocidade do escoamento superficial, e a altitude influência diretamente a temperatura, precipitação, evaporação etc (VILLELA & MATTOS, 1975).

Os processos morfogenéticos são os responsáveis pela esculturação das formas de relevo, representando a ação da dinâmica externa sobre as vertentes. Esses processos não agem separadamente, mas em conjunto, no qual a composição qualitativa e a intensidade dos fatores respectivos são diferentes. Considerando os processos isoladamente, podemos distinguir as seguintes categorias mais importantes na morfogênese do modelo terrestre: meteorização ou intemperismo; movimentos do regolito; o processo morfogenético pluvial – um dos mais generalizados e importantes na esculturação das vertentes, podendo-se distinguir entre a ação mecânica das gotas de chuva e o escoamento pluvial; e a ação biológica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A necessidade de água para uso doméstico, industrial, pecuária e lazer dá a esta uma importância fundamental para atividades humanas. A utilização dos corpos d'água para disposição de efluentes domésticos e industriais e o uso de pesticidas e fertilizantes na agricultura ocasiona a redução e a degradação desses recursos, com alterações substanciais nas características dos ecossistemas aquáticos (GUZZO, 2002).

Devido à importância da avaliação da qualidade da água de um corpo d'água utilizado para fins diversos, selecionou-se a bacia do Rio Formate para contemplação do estudo em questão, pois a mesma sofre influências antrópicas impactantes, deteriorando a sua qualidade físico-química e, conseqüentemente, biológica.

5.1.1 Bacias hidrográficas

Christofoletti (1974) define bacia hidrográfica como sendo um sistema geomorfológico aberto, que sofre constante troca

de energia entre o clima dominante e o meio em que se dá o escoamento, havendo, portanto, um equilíbrio dinâmico e interdependente entre os diversos fatores componentes, que determinará seu balanço hídrico. Para Garcez (1976), uma bacia hidrográfica é a área com convergência para uma dada secção transversal de um curso d'água, sendo as áreas medidas sempre em projeção horizontal, enquanto para Viessman, Harbaugh, Knapp (apud VILLELA & MATTOS, 1975), trata-se de uma área definida por divisores topográficos e drenada por cursos d'água conectados de tal modo que, toda vazão efluente seja descarregada através de uma única saída.

Villela & Mattos (1975) definem que a bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, que se trata de uma linha de separação, dividindo as precipitações e direcionando-as para um ou outro sistema fluvial. O divisor é uma linha fixa ao redor da bacia, seccionando o curso d'água somente no ponto de saída, este define o perímetro da bacia e contorna a área de drenagem. O divisor percorre os pontos de máxima cota entre bacias, o que não impede que no seu interior existam picos isolados com cota superior a qualquer ponto do divisor.

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância, já que existe uma estreita relação entre o regime hidrológico e estes elementos. Estabelecendo relações e comparações entre eles e o banco de dados hidrológicos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais de interesse onde faltam dados, seja por ordem física ou econômica (VILLELA & MATTOS, 1975).

Uma bacia hidrográfica apresenta como principais características físicas as seguintes:

- Área de drenagem (A).
- Perímetro total (P).
- Comprimento do curso d'água principal (L).
- Comprimento total dos cursos d'água (L_t).

- Coeficiente de compacidade (K_c).
- Fator de forma (K_f).
- Ordem dos cursos d'água.
- Densidade de drenagem (D_d).
- Extensão média do escoamento superficial.

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo curso principal e seus afluentes; o estudo da rede hidrográfica e do desenvolvimento do sistema é importante, já que este indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica (VILLELA & MATTOS, 1975).

Os rios funcionam como canais de escoamento. O escoamento fluvial é parte do ciclo hidrológico e seu balanço hídrico se dá por meio das águas superficiais e subterrâneas. Portanto, ele compreende a quantidade total de água que chega aos cursos d'água, tendo uma parcela imediata (escoamento pluvial) e outra lenta (águas precipitadas), que vai se juntar a eles através da infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O coeficiente de compacidade é um parâmetro adimensional que é função da forma da bacia, não dependendo de seu tamanho; ou seja, quanto mais regular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade será obtido em uma bacia de forma circular, hipotética. Se os outros fatores não forem relevantes, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente (VILLELA & MATTOS, 1975).

Bacias com baixo fator de forma são menos sujeitas às enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma, ou seja, se uma bacia for estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão; e também, numa tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se, portanto, da condição ideal da bacia

circular discutida no item anterior, na qual a concentração de todo o deflúvio da bacia se dá num só ponto. A forma superficial de uma bacia hidrográfica afeta diretamente o tempo de concentração, o qual é definido como o tempo a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo (VILLELA & MATTOS, 1975).

A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia (VILLELA & MATTOS, 1975). A classificação dos cursos d'água, segundo Horton (1945), admite que os canais sem afluentes são de primeira ordem, os que recebem contribuição de afluentes de primeira ordem são denominados de segunda ordem, os que recebem contribuição de canais de segunda ordem são classificados como sendo de terceira ordem, podendo receber diretamente canais de primeira ordem, e assim sucessivamente. A ordem do canal à saída da bacia é também a ordem da bacia, e nenhum outro canal inserido nesta terá ordem superior.

A densidade de drenagem é um índice que retrata a eficiência de drenagem da bacia. Este índice pode variar de 0,5 km/km^2 para bacias de drenagem pobre e 3,5 km/km^2 ou mais para bacias bem drenadas, sendo que quanto maior o índice maior será a eficiência de drenagem (VILLELA & MATTOS, 1975).

A extensão média do escoamento superficial é a distância média que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos numa bacia caso o escoamento se desse em linha reta, desde o ponto de precipitação até o curso d'água mais próximo (SANTOS, 2001).

5.1.2 Qualidade da água

A capacidade de sobrevivência humana em uma região está diretamente associada à quantidade e qualidade de água

disponível. Sua crescente utilização tem levado à redução de sua disponibilidade e à sua degradação, causada pela sua poluição, principalmente pelo lançamento de despejos domésticos e industriais, lixo urbano e detritos (GUZZO, 2002). Os índices de qualidade de água buscam aglutinar em um único valor vários resultados de diversos parâmetros analisados, que retrata a qualidade da água. Sendo seu resultado de rápida interpretação.

Os índices de qualidade de água (IQAs) são utilizados com freqüência na avaliação da qualidade das águas. No Brasil, vários órgãos ambientais e pesquisadores têm aplicado essas ferramentas no monitoramento dos ambientes aquáticos de sua jurisdição (CETESB, 2002; FERREIRA & IDE, 2001; SILVA et al., 1999 apud NORONHA, 2004).

Torres et al. (2001) apud Noronha, 2004, atribuem aos diversos usos que a água pode ter como um dos fatores mais significativos no desenvolvimento de IQAs.

A primeira observação histórica de um índice numérico surgiu em 1965, nos Estados Unidos, em que Horton sugeriu um índice para classificação da qualidade de águas, que permitisse ao usuário comparar diferentes cursos d'água, no espaço e no tempo, em termos de graduação da qualidade da água (OTT, 1978 apud NORONHA, 2004).

O início da utilização de índices que retratassem a qualidade de água no Brasil se deu por meio da CETESB, em 1977, que começou a utilizar um índice de qualidade de água desenvolvido a partir do IQA_{NSF}, que foi adaptado para a realidade do estado de São Paulo. Este índice foi denominado IQA_{CETESB} (Tabela 5.1) e passou a ser utilizado pela CETESB no monitoramento dos corpos d'água interiores do estado de São Paulo, visando à avaliação da água bruta para fins de abastecimento público, sendo posteriormente utilizado também por diversos órgãos ambientais de outros estados, além de vários pesquisadores brasileiros (NORONHA, 2004).

Tabela 5.1. Qualidade da água relacionada com os valores de IQA_{CETESB}

Valores de IQA	Qualidade da água (para água potabilizável)
80 – 100	Ótima
52 – 79	Boa
37 – 51	Aceitável
20 – 36	Ruim
0 – 19	Péssima

FONTE: CETESB, 1977

Silva (1998) associou o IQA_{CETESB} com índices biológicos na avaliação da qualidade das águas do rio Formate, no estado do Espírito Santo. Foram monitorados cinco pontos deste rio, com características rurais e urbanas, além de receber impactos de pequenas indústrias frigoríficas e de alimentos no seu trajeto. (NORONHA, 2004).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a variação da qualidade de água ao longo dos cursos d'água da bacia do rio Formate e determinar os fatores que influenciam o decaimento da qualidade dessas águas, usando como ferramenta o Índice de Qualidade de Água, da National Sanitation Foundation (E.U.A.), modificado pela CETESB, para o primeiro semestre de 2005 e Sistemas de Informações Geográficas na caracterização geomorfológica e modelagem hidrológica do terreno da bacia do rio Formate.

5.2 Metodologia

5.2.1 Área de estudo

A área escolhida para desenvolver o presente estudo foi a bacia do rio Formate, que se localiza nos municípios de Viana e

Cariacica, estado do Espírito Santo, como pode ser observado na Figura 5.1.

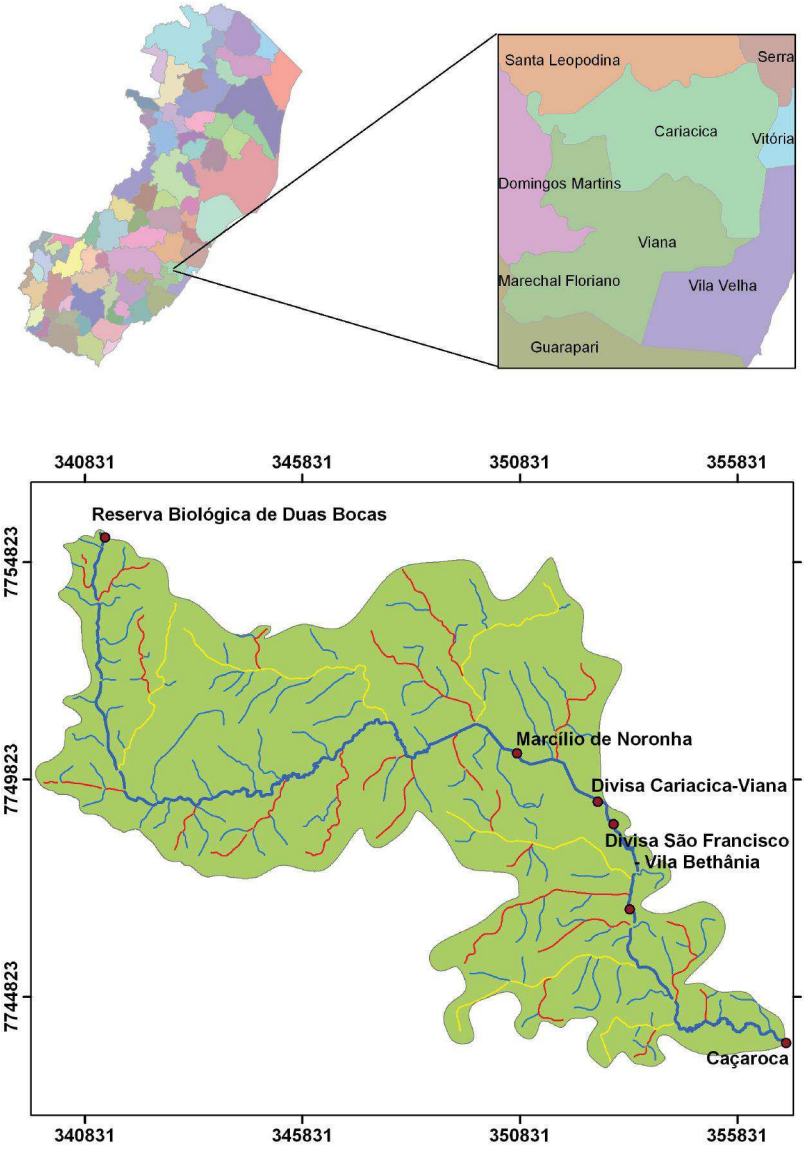


Figura 5.1. Localização da bacia do rio Formate, Espírito Santo, Brasil.

A bacia do rio Formate possui áreas rurais e urbanas. As áreas rurais, situadas na parte superior da bacia, contribuem para a sua deterioração devido à drenagem pluvial de agrotóxicos utilizados na agricultura e à presença de população ribeirinha, que é desprovida de sistema de tratamento de esgotos, lançando os mesmos *in natura* nos corpos d'água. Já as áreas urbanas, situadas na parte inferior, contribuem por meio de descargas de efluentes industriais e efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgotos domésticos da CESAN, que se situa no bairro Marcílio de Noronha, único bairro que possui ETE, enquanto que os demais lançam seus esgotos *in natura* no rio.

O rio Formate nasce na Reserva Biológica de Duas Bocas, na Latitude 20°14'04" a 20°18'30" S e Longitude 40°28'01" a 40°32'07" W a 600m de altitude, com aproximadamente 92km^2 de área de drenagem (GUZZO, 2002). A extensão do Rio Formate é de 41,5 km. Seus principais afluentes são os córregos Jequitá, Areinha e Tanque, pela margem direita, e Trincheira, Roda-d'água, Montanha e Boca do Mato, pela margem esquerda (Figura 5.2).

A bacia do rio Formate está localizada em uma região de clima megatérmico e subúmido, pluviosidade total em torno de 1200 mm/ano. O verão é chuvoso e o inverno pouco seco, com temperatura do ar variando de 28 a 31°C entre os meses de dezembro a abril, e de junho a agosto médias mensais de aproximadamente 21°C (SILVA, 1998).

De acordo com o Censo 2000 (IBGE), a população estimada para o ano de 2004 no município de Viana foi de 58.370 habitantes para uma área territorial de 312 Km^2, enquanto que para o município de Cariacica a população estimada foi de 349.811 habitantes, para uma área territorial de 280 Km^2.

O Instituto Estadual de Meio Ambiente – IEMA opera uma rede de monitoramento da qualidade de água de rios do estado do Espírito Santo, utilizando para isso o Índice de Qualidade

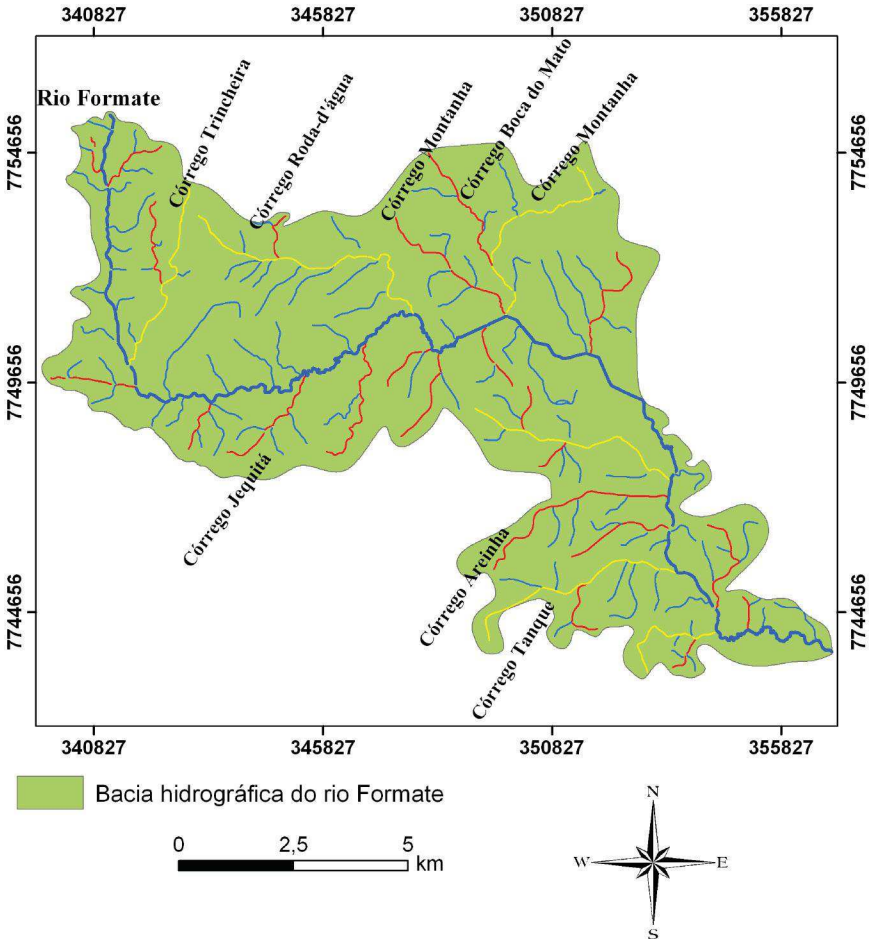


Figura 5.2. Localização dos córregos afluentes do rio Formate.

das Águas – IQA, da National Sanitation Foundation (E.U.A.), modificado pela CETESB. Este índice é calculado utilizando os seguintes parâmetros: OD, DBO_5, Nitrogênio Total, Fosfato Total, pH, Temperatura, Turbidez, Coliformes Fecais e Sólidos Totais. Esta rede de monitoramento apresenta 05 (cinco) pontos de amostragem no rio Formate, conforme identificação abaixo:

• Ponto P1 – Está localizado à montante do conjunto Marcílio de Noronha (Identificação do IEMA: FORC1C001).

• Ponto P2 – Está localizado sob a ponte na divisa de Cariacica e Viana (Identificação do IEMA: FOR1E008).

• Ponto P3 – Está localizado na divisa dos bairros São Francisco e Vila Bethânia (Identificação do IEMA: FOR1C010).

• Ponto P4 – Está localizado 2 km à jusante do ponto FOR1C010 (Identificação do IEMA: FOR1C012).

• Ponto P5 – Está localizado no ponto final do ônibus de Caçaroca (Identificação do IEMA: FOR1C015).

5.2.2 Condições limite para o enquadramento dos corpos d'água

Os rios do Espírito Santo são enquadrados como Classe II, de acordo com a Resolução CONAMA N°. 357 de 17 de Março de 2005, pois os mesmos ainda não foram submetidos aos critérios de classificação dessa Resolução. Sendo assim, os Padrões de Qualidade para os parâmetros físico-químicos e biológicos utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água são os seguintes:

• $DBO_{5,20}$: até 5,0 $mg.L^{-1}$ O_2.

• Fósforo Total: até 0,030 $mg.L^{-1}$ P, em ambientes lênticos; e, até 0,050 $mg.L^{-1}$ P, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos.

• Nitrito: 1,0 $mg.L^{-1}$ N.
• Nitrato: 10 $mg.L^{-1}$ N.
• OD: não inferior a 5,0 $mg.L^{-1}$ O_2.
• pH: 6,0 a 9,0.
• Sólidos Dissolvidos Totais: 500 $mg.L^{-1}$.
• Turbidez: até 100 UNT.
• Coliformes Fecais: até o limite de 1000 $NMP.100mL^{-1}$.
• Temperatura: sem limite especificado.

O Índice de Qualidade de Água varia normalmente entre 0 (zero) e 100 (cem), sendo que quanto maior o seu valor, melhor é a qualidade da água.

5.2.3 Base de dados digital e análise morfométrica

Foram criados mapas temáticos, com a utilização do aplicativo ArcGIS 9.0:

- Limite da bacia hidrográfica.
- Curvas de nível (já digitalizadas).
- Hidrografia.
- Modelo Numérico do Terreno.
- Dados de IQA_{cetesb}.

Na análise morfométrica da bacia do rio Formate foram realizados os cálculos dos seguintes parâmetros:

- Coeficiente de Compacidade - K_C

$$K_C = 0{,}28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

onde,

P - perímetro da bacia,

A - área de drenagem.

- Coeficiente de Forma - K_f

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

onde,

L - comprimento do rio principal.

- Densidade de drenagem - D_d

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

onde,

L_t - comprimento total dos rios.

- Extensão média do escoamento superficial - I

$$I = \frac{A}{4.L_t}$$

5.2.4 Modelagem hidrológica

Objetivando a geração do modelo numérico do terreno (MNT), realizou-se uma interpolação linear entre os valores altimétricos das curvas de nível das cartas topográficas na escala 1:50.000, de Vitória e Domingos Martins, não recortadas pelo limite da bacia, garantindo assim, maior confiabilidade nos resultados obtidos nas bordas.

Todo o processo realizado para a obtenção da base de dados primários encontra-se descrito na Figura 5.3.

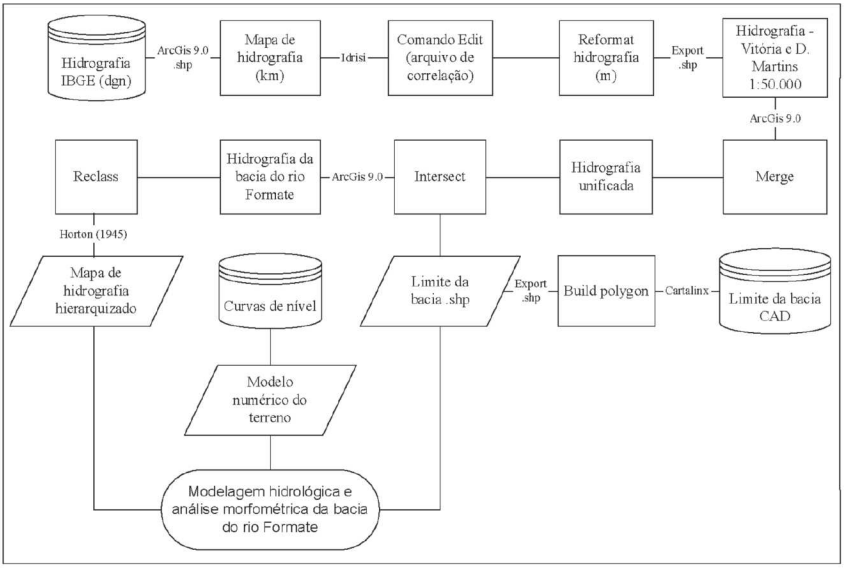


Figura 5.3. Fluxograma de atividades na geração da base de dados primários.

Após a obtenção do MNT, foram gerados três mapas temáticos utilizando-se a ferramenta de Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS 9.0. Os mapas obtidos estão descritos na Figura 5.4, bem como as operações para a obtenção dos mesmos.

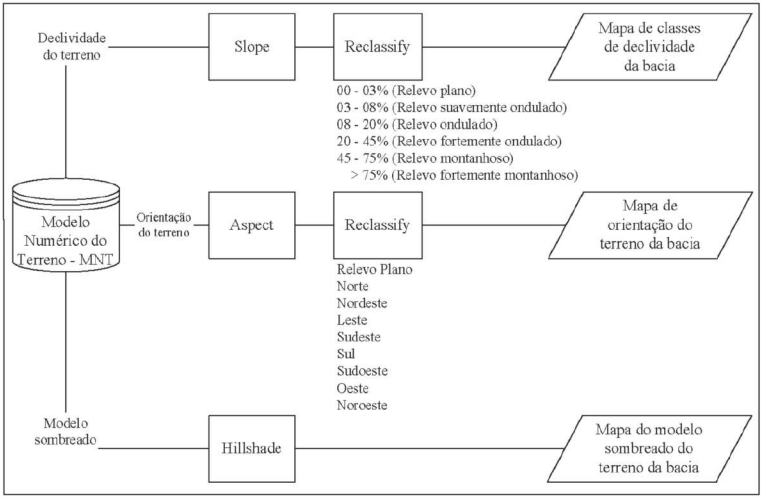


Figura 5.4. Fluxograma de operações de modelagem hidrológica do terreno.

Utilizando-se os mapas de pontos de amostragem da bacia do rio Formate e da hidrografia, gerou-se o Mapa do Índice de Qualidade de Água da bacia do rio Formate. As atividades para execução deste mapa estão demonstradas na Figura 5.5.

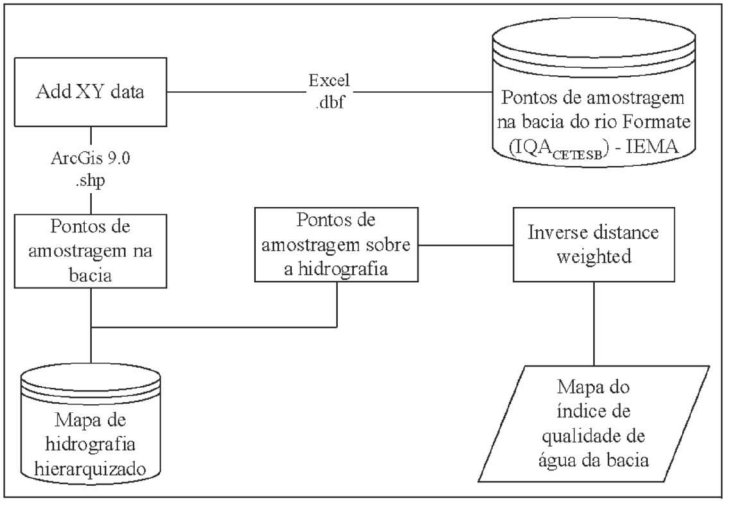


Figura 5.5. Fluxograma de operações na geração do mapa de qualidade de água da bacia do rio Formate.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Análise morfométrica

- Coeficiente de Compacidade - $K_C = 2{,}0$
- Coeficiente de Forma - $K_f = 0{,}6$
- Densidade de drenagem - $D_d = 2{,}2$
- Extensão média do escoamento superficial - $I = 0{,}2$

Segundo os parâmetros analisados, trata-se de uma bacia com baixa susceptibilidade a enchentes e moderadamente drenada.

5.3.2 Modelagem hidrológica

A Figura 5.6 mostra a variação de altitude na bacia do rio Formate, com amplitudes de 20 a 800 m, sendo que as cotas mais elevadas encontram-se na região nordeste e a maior parte da bacia está abaixo da cota 100m.

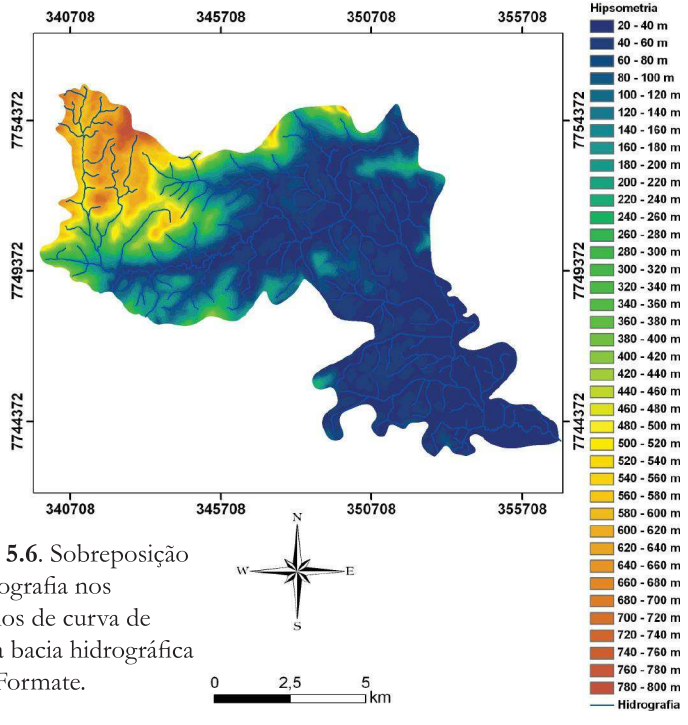


Figura 5.6. Sobreposição da hidrografia nos intervalos de curva de nível da bacia hidrográfica do rio Formate.

Analisando os mapas apresentados, podemos observar que na parte oeste do terreno há a predominância de relevo de ondulado a fortemente montanhoso e na região centro-leste, os relevos são de predominância planos e suavemente ondulados (Figura 5.7).

As vertentes leste, sudeste e sul são predominantes na região superior da bacia, enquanto na região inferior há predominância de relevo plano (Figura 5.8).

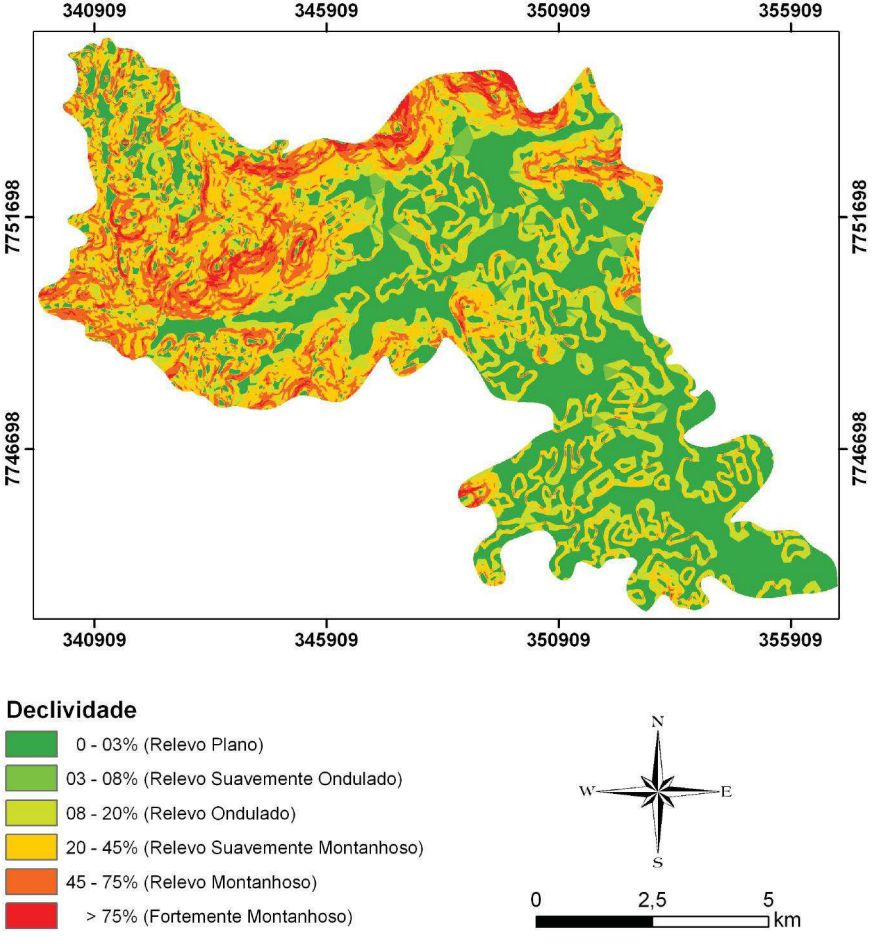


Figura 5.7. Classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Formate.

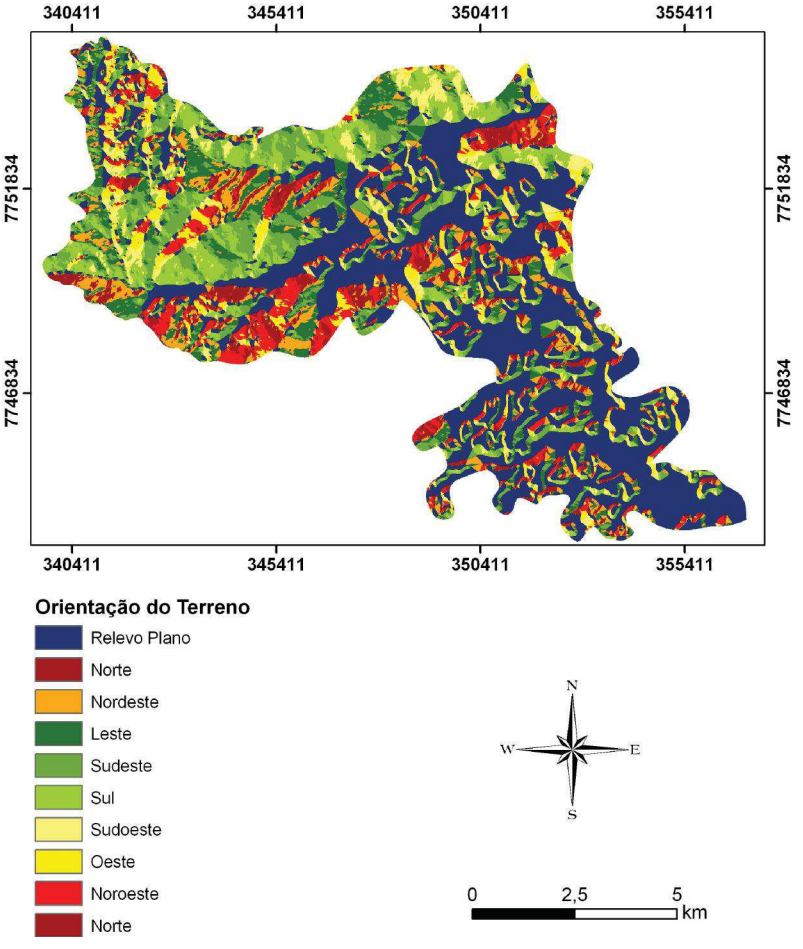


Figura 5.8. Orientação do terreno da bacia hidrográfica do rio Formate.

O modelo sombreado foi gerado considerando um ângulo azimutal de 315 graus e um ângulo zenital de 45 graus. O mapa (Figura 5.9) mostra que as regiões que se encontram expostas ao sol refletem muita luz e são, portanto, caracterizadas em áreas mais claras no modelo; aquelas áreas que se encontram nas encostas não iluminadas diretamente pelo sol não refletem luz e aparecem como áreas escuras no modelo.

A classificação da bacia hidrográfica do rio Formate (Figura 5.10) mostra o grau de ramificação e que se trata de uma bacia de ordem 4.

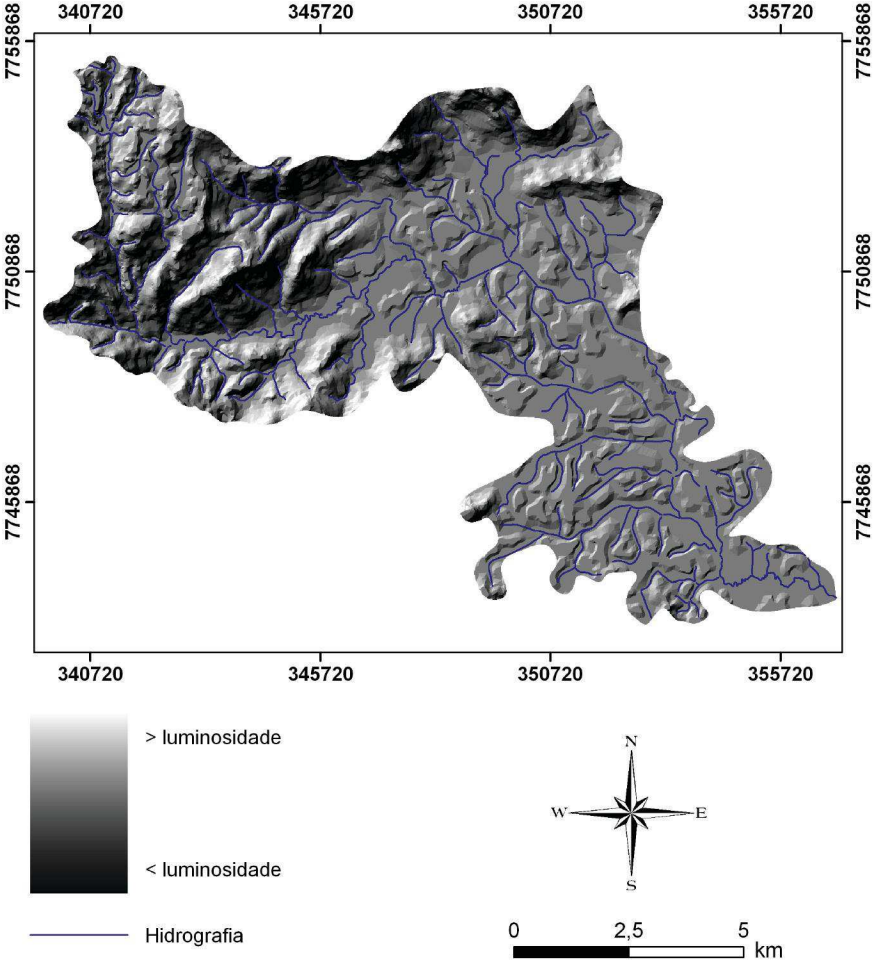


Figura 5.9. Modelo sombreado do relevo para a bacia hidrográfica do rio Formate.

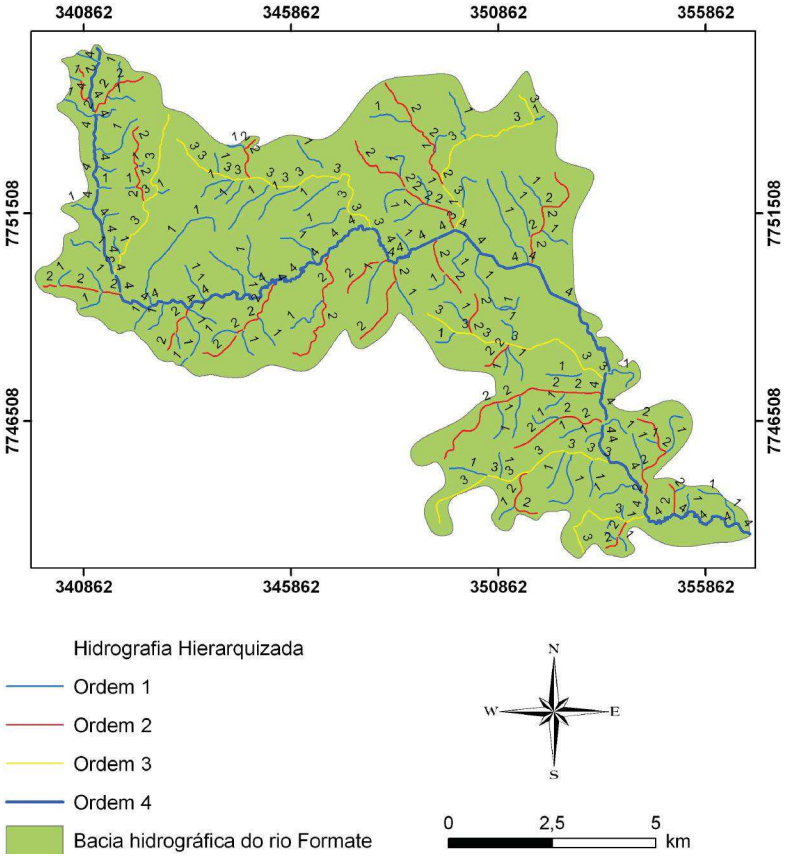


Figura 5.10. Hidrografia hierarquizada segundo Horton (1945) da bacia hidrográfica do rio Formate.

A Figura 5.11 mostra a variação da qualidade da água na bacia do rio Formate. Segundo a metodologia utilizada, a nascente do rio Formate localizada na Reserva de Duas Bocas apresenta sua água com uma qualidade ótima. Já os pontos amostrados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente apresentaram variação na sua qualidade. Os Pontos 01, 02 e 03 apresentam IQA igual a 48, 42 e 47, respectivamente, sendo, portanto, enquadrados como aceitável para consumo após tratamento. Os Pontos 04 e 05 apresentaram IQA igual a 34 e 36, respectivamente, sendo considerados como impróprios para tratamento convencional

dentro do padrão de qualidade adotado pelo IEMA.

Todos os pontos monitorados apresentaram os níveis de coliformes fecais e as concentrações de fósforo total muito acima do permitido pela Norma vigente para rios de Classe II. Outros parâmetros que se encontraram acima do permitido, também, foram: $DBO_{5,20}$, nos Pontos P2, P4 e P5, e a concentração de nitrogênio nitrito e turbidez no Ponto P5. Abaixo dos níveis mínimos estabelecidos pela Norma estavam a concentração de oxigênio dissolvido e o pH no Ponto P4.

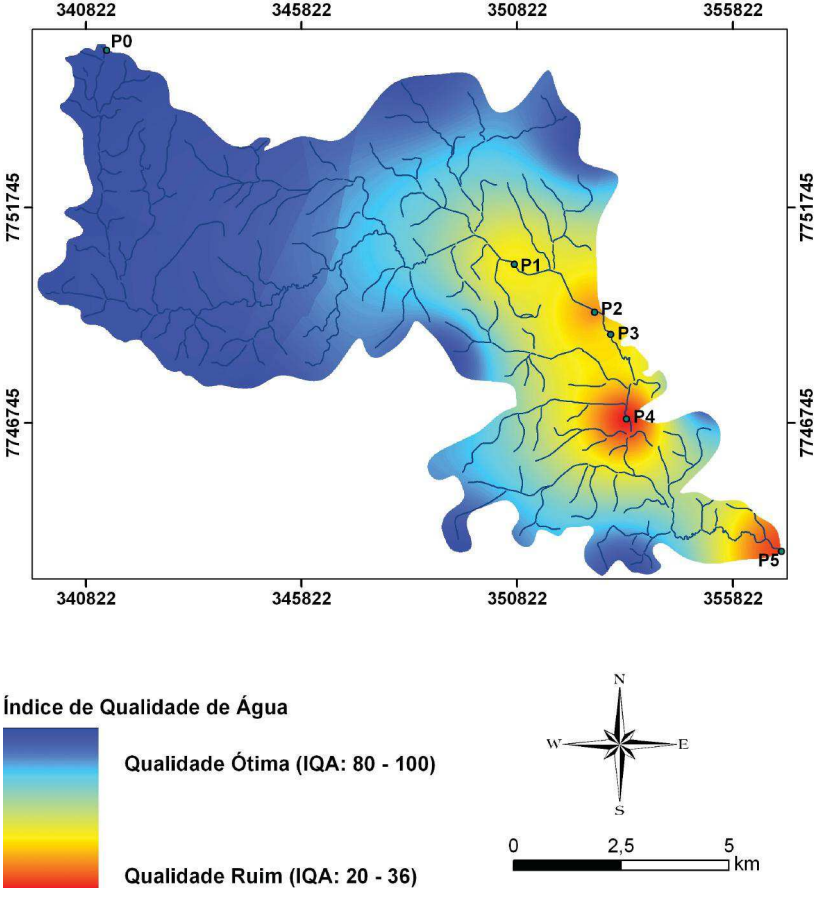


Figura 5.11. Mapa da variação de qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Formate.

5.4 Conclusões

No presente trabalho foi estudada a morfologia, hidrologia e qualidade da água na bacia do rio Formate.

Os resultados alcançados permitiram chegar às seguintes conclusões:

• A bacia do rio Formate apresenta-se com baixa susceptibilidade a enchentes e é moderadamente drenada.

• Há predominância de relevo com cota altimétrica inferior a 100m.

• Na região superior da bacia há predominância de vertentes leste, sudeste e sul, e na região inferior há predominância de relevo plano.

• Segundo Horton (1945), a bacia do rio Formate possui ordem 4.

• A porção superior da bacia apresenta água com qualidade ótima, influenciada pelo grande número de nascente e baixa densidade demográfica. Apesar do uso agropastoril da região, não foi evidenciada a presença de agrotóxicos em grande escala.

• A jusante do bairro Marcílio de Noronha existe um decréscimo elevado do IQA, causado, provavelmente, pelos despejos de efluentes domésticos tratados e não tratados e efluentes industriais no rio Formate e seus afluentes.

• O SIG se mostrou uma ferramenta eficiente na análise de qualidade de água, podendo auxiliar na gestão de recursos hídricos e na tomada de decisões, permitindo diversos tipos de classificação e cruzamentos de dados.

A adoção de algumas ações poderia contribuir para a melhoria da qualidade da água da bacia do rio Formate, como a diminuição do aporte de efluentes não tratados, tanto de origem doméstica quanto industrial nos corpos d'água afluentes à bacia. E o

aumento do número de pontos de amostragem, bem como o aumento da periodicidade de coletas de amostras de água na bacia do rio Formate, possibilitaria um melhor mapeamento e monitoramento da qualidade da água da bacia.

5.5 Referências

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2.ed., 188 p., 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2.ed., 188 p., 1980.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**.

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2.ed., 249 p., 1976.

GUZZO, M. C. S. **Indicadores ambientais de qualidade de água para bacias hidrográficas.** 2002. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

HORTON, R.E., Drainage Basin Characteristics. Trans. American Geophysical Union, 13: 350-361, 1952.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Domingos Martins**. SF-24 -V-A-III-4. Rio de Janeiro, 1976. (Mapa na escala 1:50.000).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Vitória**. SF-24 -V-A-I-3. Rio de Janeiro, 1976. (Mapa na escala 1:50.000).

NORONHA, L. M. S. **Índices de qualidade de água como ferramenta na avaliação de recursos hídricos.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa

de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

SANTOS, A. R. dos. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, microrregião de Viçosa, MG.** 2001. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SILVA, L. M. da. **Características físico-químicas e bacteriológicas da água e riqueza de macroinvertebrados bentônicos do rio Formate.** 1998. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1998.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p., 1975.

Anexo 5A
Descrição dos pontos de monitoramento e suas respectivas Coordenadas Geográficas (UTM).

Curso d´água	Código	Coord E	Coord N	Ponto	Descrição do Ponto
Rio Formate	FOR1C001	0350764	7750425	P1	A montante do Conjunto Marcílio de Noronha.
Rio Formate	FOR1E008	0352621	7749312	P2	Sob a ponte na divisa de Cariacica e Viana.
Rio Formate	FOR1C010	0352991	7748796	P3	Na divisa dos bairros São Francisco e Vila Bethânia.
Rio Formate	FOR1C012	0353361	7746834	P4	2 km a jusante do ponto FOR1C010.
Rio Formate	FOR1C015	0356956	7743762	P5	No ponto final do ônibus Caçaroca.

Anexo 5B
Descrição dos dados de qualidade da água nos pontos de monitoramento.

Pontos de Monitoramento	FOR1C001 - Na montante do conjunto Marcílio de Noronha FOR1E008 - Sob a ponte na divisa de Cariacica e Viana FOR1C010 - Na divisa dos bairros São Francisco e Vila Bethânia FOR1C012 - 2 km a jusante do ponto FOR1C010 FOR1C015 - No ponto final do ônibus de Caçaroca					
Dados de qualidade	**Conama 357/05**	**FOR1C001**	**FOR1E008**	**FOR1C010**	**FOR1C012**	**FOR1C015**
Dados de campo						
Data da coleta	-	30/03/05	30/03/05	30/03/05	30/03/05	30/03/05
Horário da coleta	-	9:50	16:20	10:30	10:50	11:20
Chuva (últimas 24 hs)	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Parâmetros Físico-Químicos						
Cond. Específica (µS/cm)	-	14,41	19,5	19,75	23,3	24,1
$DBO_{5,20}$ (mg O_2/L)	5	<2,0	9,8	4	22	8,1
Fósforo Total (mgP/L)	0,030–0,050	0,10	0,25	0,25	0,75	0,35
Nitrogênio Nitrato (mgN/L)	10	*	*	*	*	*
Nitrogênio Nitrito (mgN/L)	1	0,02	0,04	0,05	0,06	0,11
Nitrogênio Kjeldahl (mgN/L)	-	3,1	4,5	3,4	4,2	5,5
Oxigênio Dissolvido (mg O_2/L)	5	6,6	6,1	5,8	4,9	5,1
Oxigênio Dissolvido (% Sat)	-	0,80	0,75	0,71	0,60	0,64
pH	6,0 a 9,0	6,8	6,9	6,9	5,7	6,88
Resíduo Total (mg/L)	-	110	160	150	190	195
Temperatura da Amostra (ºC)	-	24,4	25,5	25	25	26
Temperatura do Ar (ºC)	-	31	30,4	29,3	28,8	31,4
Turbidez (UNT)	100	70	90	90	100	120
Parâmetros bacteriológicos						
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	1000	50.000	50.000	16.000	16.000	90.000
Índice de Qualidade de Água	-	48	42	47	34	36

Fonte: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA).

CAPÍTULO 6

Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental e análise de conflito do uso do solo da bacia da lagoa Jacuném

Ana Paula Freire

6.1 Introdução

A água é um recurso natural de valor econômico, estratégico e social, essencial à existência e bem-estar do homem e à manutenção dos ecossistemas do planeta, a água é um bem comum a toda a humanidade. Em termos percentuais, as estimativas científicas são de que do total de água existente na terra, 97% são de águas salgadas e 3%de águas doces. Dos 3% de águas doces, 2,3% estão congeladas e 0,2% estão envolvidas nos constantes processos de evaporação e transpiração e apenas 0,5% estão disponíveis para o homem.

O estado do Espírito Santo, a partir da década de 60, teve um acelerado crescimento industrial concentrado principalmente na região Metropolitana da Grande Vitória. A falta de planejamento adequado, anterior e durante esse crescimento, resultou na degradação ambiental dessa região, provocando sérios problemas de poluição, principalmente dos recursos hídricos.

O uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica representam um fator importante no processo de degradação ambiental, particularmente dos recursos hídricos. A necessidade de abastecimento da população e o suprimento da demanda d'água para produção industrial, além dos fins recreativos e manutenção do equilíbrio do ecossistema, tornam preocupante a falta de planejamento sistemático do uso e ocupação do solo frente à expansão e o desenvolvimento urbano, sobretudo nas pequenas bacias.

A escolha da bacia da lagoa Jacuném foi eleita em função da diversidade de cenários, já que a mesma possui, simultaneamente, um potencial de expansão urbana, ambiental e econômica, diversas fontes de poluição e degradação, e ainda a existência de informações básicas para o desenvolvimento deste trabalho, tais como: mapas de uso e ocupação do solo, teses, relatórios dentre outros documentos.

O objetivo geral do presente trabalho foi realizar estudos de caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia da lagoa Jacuném, tendo ainda objetivos específicos: a descrição do uso e ocupação do solo, bem como análise de áreas de conflito do mesmo, por meio da geração de zonas tampão, consideradas a partir da legislação ambiental estadual e federal vigentes.

Dentre os trabalhos pesquisados que serviram de base bibliográfica, merece destaque o trabalho de Celante (2004), que utilizou técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento da bacia hidrográfica do rio Jacaraípe, com base em imagens de satélite do tipo LandSat TM-5 e LandSat +ETM-7, visando subsidiar a avaliação do risco de degradação ambiental dos recursos hídricos. Para isto empregou dados de monitoramento da qualidade das águas obtidas no Projeto GTZ "Ampliação e Otimização do Monitoramento Ambiental no Estado do Espírito Santo", 1998-1999, associado ao Índice de Qualidade da Água (IQA).

Batista & Freire (2005) realizaram estudo que teve por objetivo mostrar o uso e ocupação do solo na bacia de contribuição da lagoa Jacuném, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, com base em imagens de satélite, com a finalidade de oferecer subsídios a uma avaliação ambiental e com o propósito de analisar o reflexo desta ocupação com a qualidade de água da lagoa Jacuném, para isso utilizando o Índice de Qualidade de Água (IQA).

Em parceria com a Companhia Espírito Santense de Saneamento, CESAN, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEAMA, apresentou um estudo da situação da lagoa Jacuném, sob o ponto de vista ambiental, para o período de 1985 a 1991.

O referido estudo teve por objetivo fazer um diagnóstico da situação da lagoa, de maneira a subsidiar estudos posteriores, projetos de proteção e conservação da lagoa Jacuném e de seu corpo receptor final, que é a praia de Jacaraípe.

O trabalho proposto por Santos & Martins (2001) utilizou técnicas de sensoriamento remoto, através de imagens do satélite de ETM+/Landsat7, para a classificação do uso e ocupação do solo, no distrito de Taquaralto, município de Palmas, TO. Tendo como objetivo apresentar os usos adequados e inadequados do solo em áreas de preservação permanente, empregando para isso ferramentas do Sistema de Informações Geográficas de análise de proximidade, ou seja, buffer de 30 (trinta) metros, às margens do Córrego Machado e seus afluentes. O trabalho apresentou resultado satisfatório, pois visava delimitar e caracterizar as possíveis áreas de uso inadequado do solo.

Lanna (1995) propôs a adoção da unidade territorial "bacia hidrográfica" (Figura 6.1) como uma das alternativas para o planejamento e gerenciamento ambiental, destacando algumas vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens, o autor argumentou que a rede de drenagem de uma bacia pode

ser capaz de indicar relações de causa-efeito, particularmente àquelas que envolvem o meio hídrico. Dentre as desvantagens, destacou que nem sempre os limites municipais e estaduais respeitam os divisores das bacias.

Figura 6.1. Representação de bacia hidrográfica. Fonte: ANA

A seguir são apresentadas as principais características físicas de uma bacia hidrográfica:

Área de drenagem (A)

A área de drenagem (A) constitui a área plana delimitada pelo divisor de águas, dado fundamental para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica.

Perímetro (P)

O perímetro da bacia (P) constitui o comprimento médio ao longo do divisor de águas.

Comprimento do curso principal (L_t)

O comprimento total dos cursos d'água (L_t) é a medida em planta desde a nascente até a seção de referência de cada

tributário, incluindo o curso principal.

Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem **(Dd)** é a razão entre o comprimento total dos cursos d'água em uma bacia e a área desta bacia hidrográfica. Um valor alto para Dd indicaria uma densidade de drenagem relativamente alta e uma resposta rápida da bacia a uma precipitação.

$Dd = L_t / A$, onde L_t é a extensão total dos cursos d'água e A é a área da bacia hidrográfica.

Curva Hipsométrica

É a representação gráfica do relevo médio de uma bacia. Representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar. Essa variação pode ser indicada por meio de um gráfico que mostra a porcentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias elevações.

Bacia hidrográfica compreende a área geográfica que drena suas águas para um determinado recurso hídrico. A qualidade da água de um manancial depende, portanto, dos usos e atividades desenvolvidas em toda a bacia hidrográfica.

Segundo Mota (1995), em programas de proteção dos recursos hídricos não se deve considerar o corpo de água isoladamente, e sim como integrante completo que forma bacia hidrográfica como um todo.

Na definição do uso e ocupação do solo de uma determinada área devem ser considerados alguns aspectos naturais que são capazes de influenciar sobre os recursos hídricos. Dentre eles podemos destacar:

- características climáticas;
- cobertura vegetal;
- topografia;
- tipo de solo;

• características geológicas;
• sistema de drenagem natural das águas;
• os próprios recursos hídricos.

Para uma maior conservação dos recursos hídricos é necessário também o disciplinamento de faixas de proteção, que são áreas marginais aos cursos d' água, lagoas e outros reservatórios superficiais, as quais têm o uso do solo controlado pela desapropriação total ou através do ordenamento do mesmo.

Logicamente, as faixas de proteção não constituem uma medida de eficiência total, porém representam uma providência válida de preservação de recursos hídricos, sendo suas principais vantagens:

• a proteção de áreas adjacentes da ocorrência de cheias;

• constituir medida de controle da erosão do solo e do assoreamento de recursos hídricos;

• proporcionar a preservação da vegetação existente, garantindo a proteção da fauna e flora típicas. As árvores, às margens de coleções de água, contribuem para o sombreamento e a conseqüente manutenção da temperatura adequada à fauna aquática;

• constituir áreas para recreação, ou de preservação paisagística e ecológica;

• assegurar o escoamento adequado das águas pluviais, garantindo a drenagem das mesmas.

A largura mínima da faixa de proteção é regularizada pela Lei nº 2.100, que dispõe sobre o Planejamento Urbano do Município da Serra, para o presente trabalho, que institui o Plano Diretor Urbano e dá outras Providências, através do Artigo 47º, "onde estabelece que as Zonas Naturais estão sujeitas aos seguintes graus de proteção:

I – Grau de Proteção 1 – GP1 – áreas de preservação permanente;

II – Grau de Proteção 2 – GP2 – áreas que pelas suas condições fisiográficas, geográficas, geológicas, hidrológicas e botânicas formam um ecossistema de importância no meio ambiente natural, sendo destinadas à preservação e conservação.

III – Grau de Proteção 3 – GP3 – áreas que apresentam uma ou mais características com função de proteção, recuperação e melhoria de qualidade de vida e do meio ambiente, sendo destinadas à conservação, mantidas suas características funcionais.

A área que corresponde à bacia de contribuição da lagoa Jacuném está enquadrada no Grau de Proteção 2 – GP2, porém, para este tipo de área, a legislação estadual não estabelece os limites mínimos da faixa de proteção, portanto, utiliza-se o Código Florestal – Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965, alterada pela Lei nº. 7.803, de 18 de julho de 1989, que considera como de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água, desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja de:

• 30 (trinta) metros para cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

• 50 (cinqüenta) metros para cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinqüenta) metros de largura;

• 100 (cem) metros para cursos d'água que tenham de 50 (cinqüenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

• 200 (duzentos) metros para cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) 600 (seiscentos) metros de largura;

• 500 (quinhentos) metros para cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

Utilizou-se também a Resolução CONAMA 302, de 20 de março de 2002, no Art. 2º que considera como: "II – Área de Preservação

Permanente: a área marginal ao redor do reservatório artificial e suas ilhas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas**"**.

E a Resolução CONAMA 303, de 20 de março de 202, Art. 3º, que constitui área de preservação permanente a área situada: **"**III **–** ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de: b**)** 100 (cem) metros, para as que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d`água com até vinte hectares de superfície, cuja faixa marginal será de cinqüenta metros.**".**

6.2 Metodologia

6.2.1 Caracterização da área de estudo

A área em estudo está situada no município de Serra, compreende a bacia da lagoa Jacuném, na qual se insere o Centro Industrial de Vitória (CIVIT), no Planalto de Carapina. Geograficamente está localizado entre as coordenadas 20° 07' S e 40° 12' W, e 20° 13' S e 40° 16' W conforme Figura 6.2.

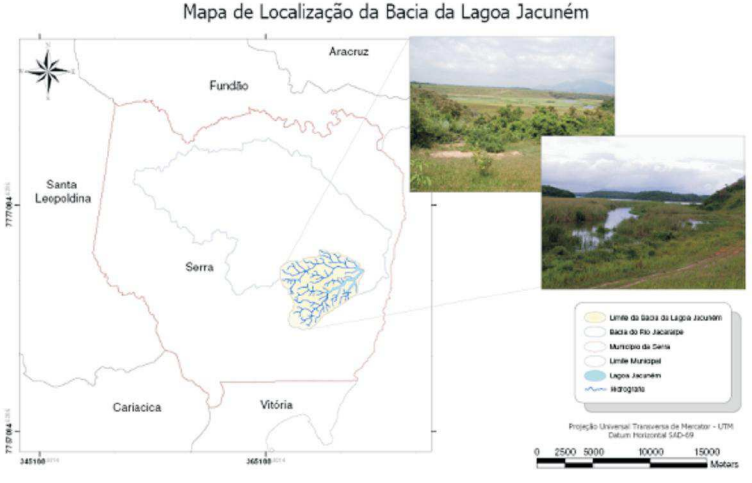


Figura 6.2. Mapa de localização da área de estudo.

Possui uma bacia de contribuição de aproximadamente 33 km^2 e tem como corpo hídrico principal a lagoa Jacuném, que possui uma vazão média de 513 l/s. A área superficial da lagoa é de 1,4 km^2, e a profundidade média estimada é de 1,8 m, resultando em um volume médio de 2.550.000 m^3.

O trabalho foi realizado em duas etapas distintas:

• Trabalho de campo.
• Trabalho de escritório.

Na etapa de campo houve a verificação "*in loco*" dos problemas ambientais, bem como a realização de levantamento fotográfico no entorno da bacia, evidenciando a ocorrência de degradação ambiental devido a ações antrópicas.

Na etapa de escritório foi realizada a geração da base de dados digital, visando armazenar uma série de informações sobre as características físicas e ambientais da bacia da lagoa Jacuném.

Para construção desta base de dados foram utilizadas algumas ferramentas de análise geográfica, a saber:

• Arquivo em formato shapefile (shp) de curvas de nível do município de Serra, escala 1:50.000 (gentilmente fornecido pelo Prof. Alexandre Rosa dos Santos).

• Mapa de uso e ocupação do solo na bacia da lagoa Jacuném (gentilmente fornecido pelo Engº Cartógrafo José Carlos Batista).

• Software escolhido foi ArcGis 8.3 ESRI e ArcView 3.2 ESRI.

• Pesquisa bibliográfica.

6.2.2 Caracterização hidrológica da bacia hidrográfica

Com a determinação dos parâmetros físicos, foi realizada a caracterização hidrológica e ambiental da bacia da lagoa

Jacuném e a modelagem hidrológica da mesma por meio dos mapas gerados a partir da base de dados digital.

6.2.2.1 Geração da base de dados digital

Foram criados os mapas temáticos, com a utilização do SIG ArcGIS 8.3 da ESRI e ArcView 3.2 ESRI:

• Limite da bacia hidrográfica e a hidrografia foram digitalizados em tela utilizando imagens Raster (formato tif.) como pano de fundo, em cartas planialtimétricas, em meio digital, escala 1:50.000, sendo utilizadas as cartas de Nova Almeida e Serra.

- Curvas de nível (já digitalizadas).
- Modelo Numérico do Terreno.

6.2.2.2 Análise morfométrica

Foram calculados e medidos os seguintes parâmetros físicos da bacia: área de drenagem (ArcView 3.2 ESRI), perímetro total (ArcView 3.2 ESRI), comprimento total dos cursos d'água, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial e a classificação da ordem dos cursos d'água segundo Horton (1945).

6.2.2.3 Modelagem hidrológica

Com base no Modelo Numérico do Terreno (MNT), foram gerados os seguintes mapas: Declividade (Figura 6.3), Hipsometria (Figura 6.4), Exposição do terreno (Figura 6.5), e Modelo Sombreado do Terreno (Figura 6.6). Foi efetuada também a classificação da ordem dos cursos d'água da bacia em estudo, gerando o Mapa de Hierarquização da Rede Hidrográfica (Figura 6.7), sendo apresentados a seguir.

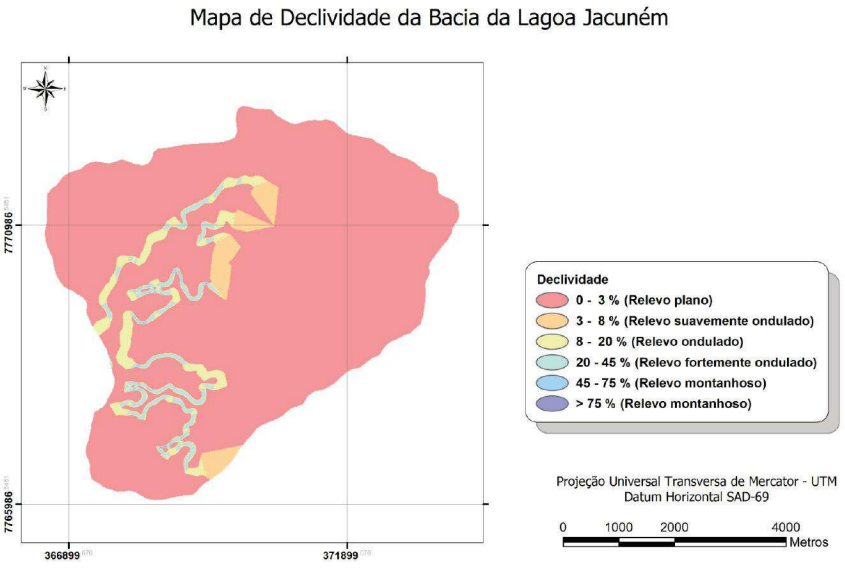


Figura 6.3. Mapa de declividade.

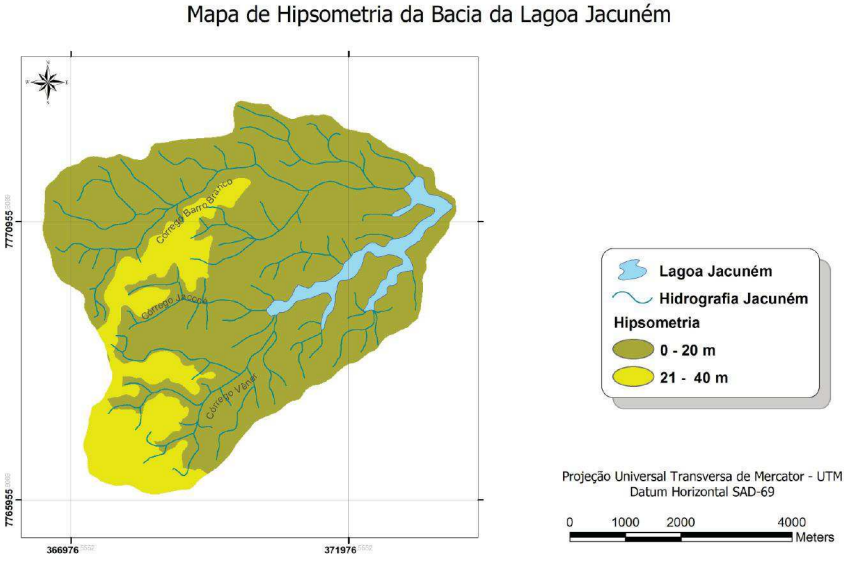


Figura 6.4. Mapa de hipsometria.

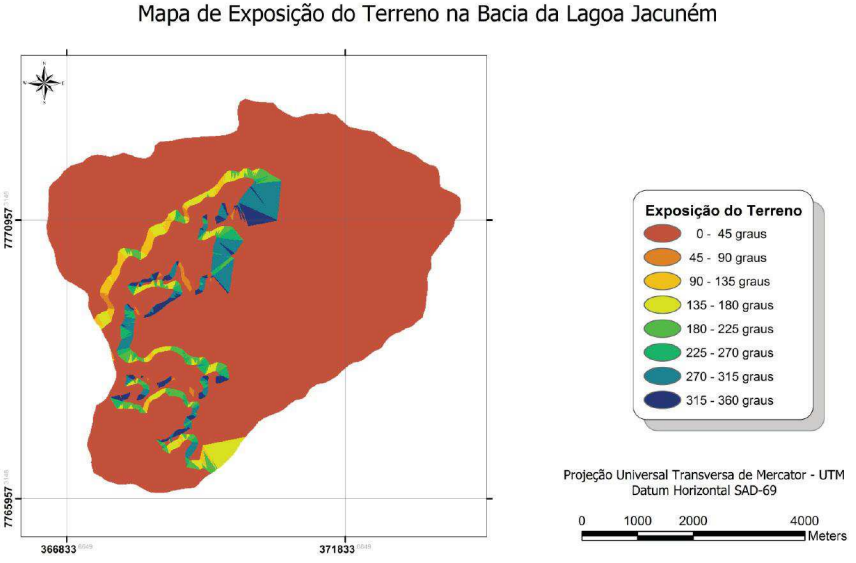


Figura 6.5. Mapa de exposição do terreno.

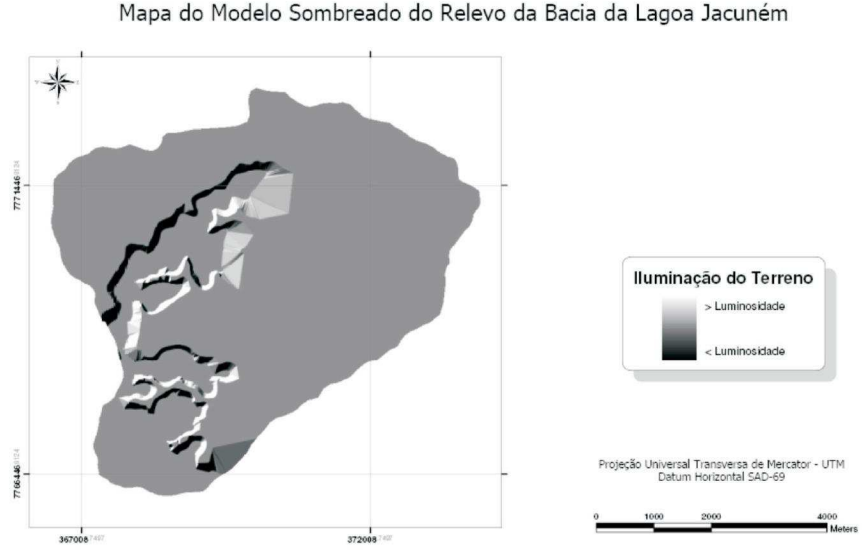


Figura 6.6. Mapa de modelo sombreado do terreno.

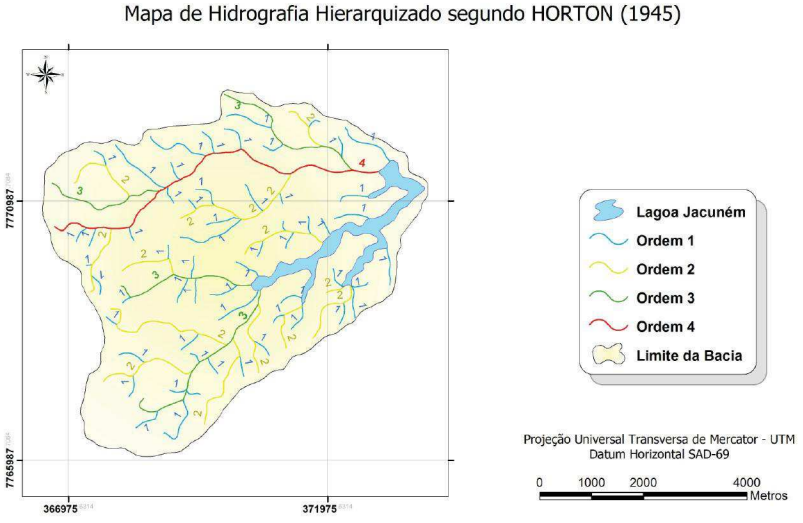


Figura 6.7. Mapa de hierarquização da rede hidrográfica.

6.2.3 Análise das áreas de conflito de uso e ocupação do solo

Com base no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 6.8), foram gerados os mapas de conflitos de uso do solo com as áreas de APP's.

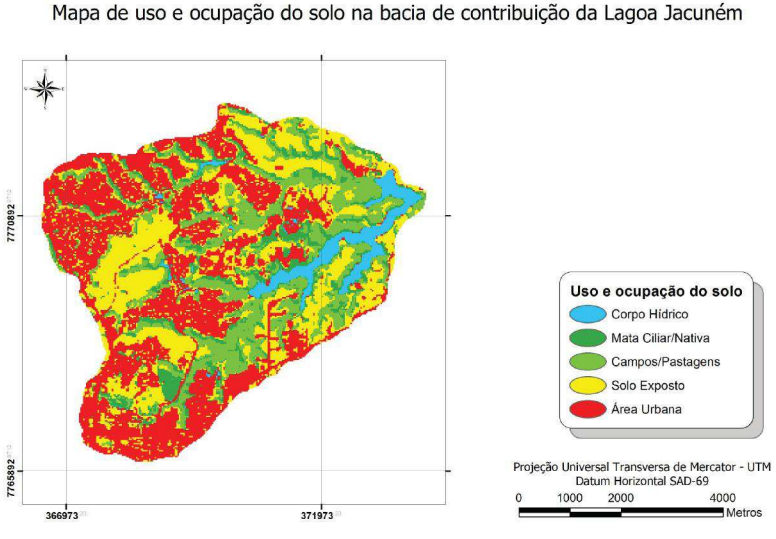


Figura 6.8. Mapa de uso do solo da bacia da lagoa Jacuném.

Primeiramente foram gerados os mapas de buffer para os cursos d'água e para a lagoa (Figura 6.9). Após, houve a geração dos mapas de conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de aplicação do buffer, tanto para os cursos d'água quanto para a lagoa, conforme legislação apresentada anteriormente. (Figura 6.10 e 6.11, respectivamente).

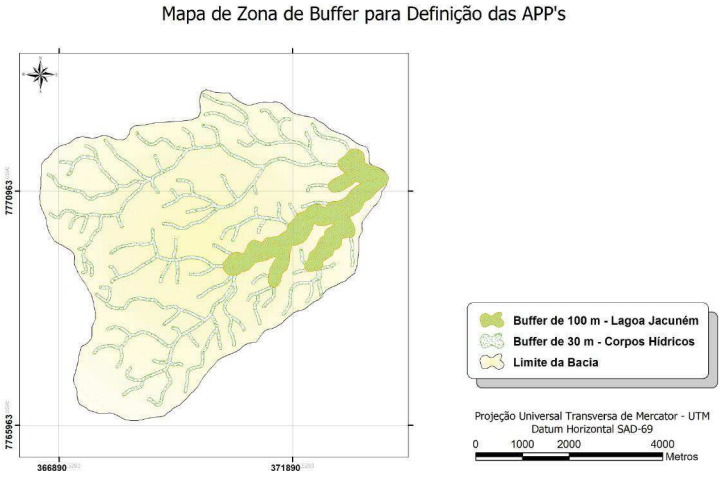


Figura 6.9. Mapa de zona buffer para definição das áreas de APP´s.

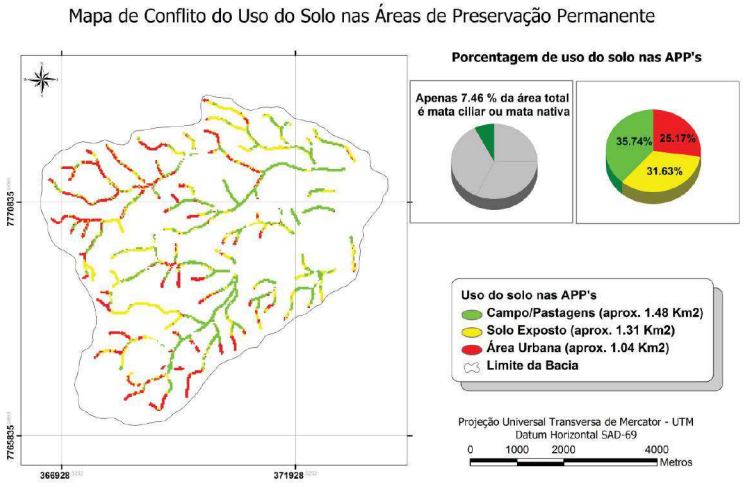


Figura 6.10. Mapa de conflito do uso do solo.

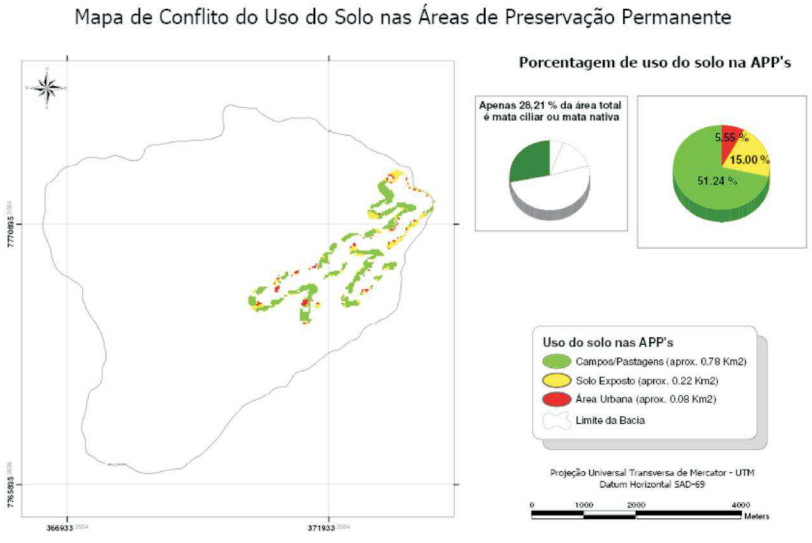


Figura 6.11. Mapa de conflito do uso do solo.

A seguir são apresentadas as Figuras 6.12, 6.13, 6.14 e 6.15 que representam os fluxogramas de todas as operações realizadas na etapa de escritório.

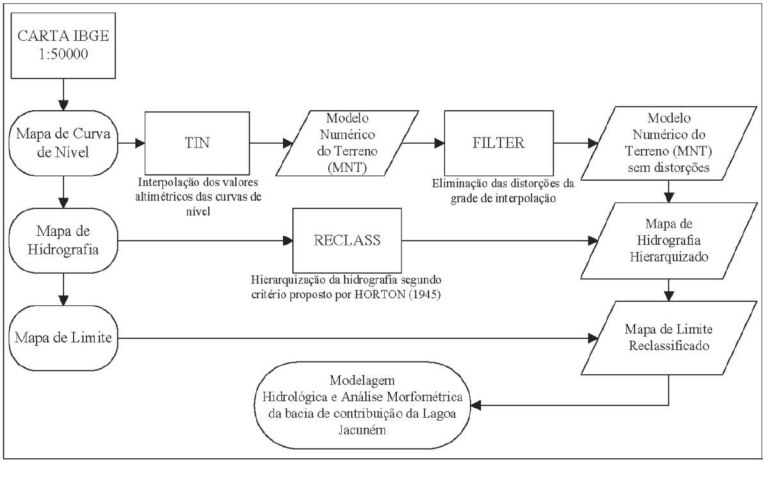


Figura 6.12. Fluxograma representando a geração da base de dados primários.

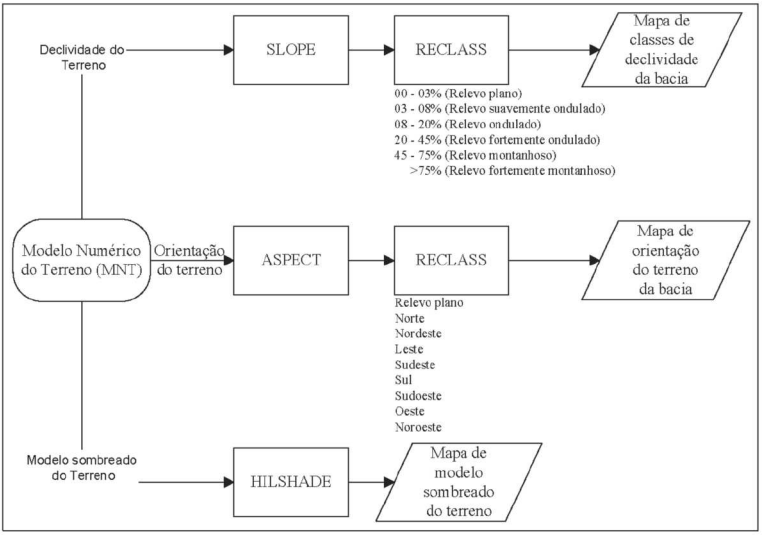


Figura 6.13. Fluxograma representando todas as operações que envolveram a modelagem hidrológica do terreno.

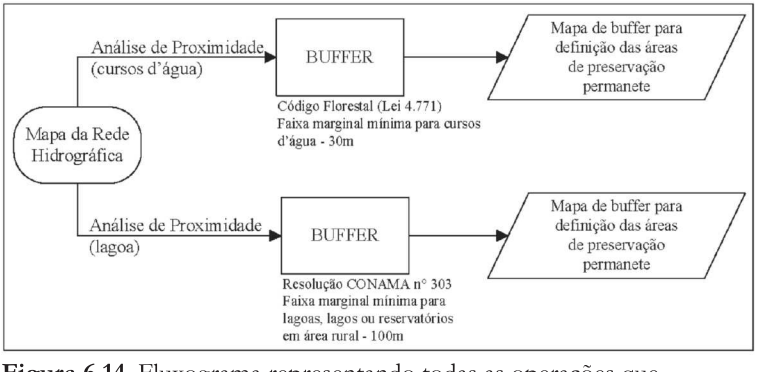


Figura 6.14. Fluxograma representando todas as operações que envolveram a função de análise de proximidade.

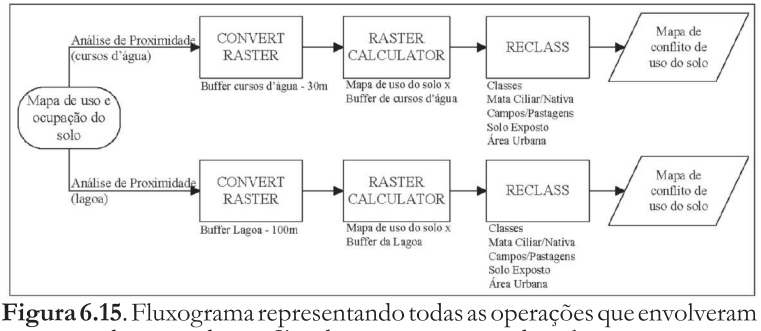


Figura 6.15. Fluxograma representando todas as operações que envolveram a geração do mapa de conflito de uso e ocupação do solo.

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Resultados obtidos na análise morfométrica

Os resultados obtidos na análise morfométrica são apresentados abaixo na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. Resultados da análise morfométrica.

Características Geométricas	**Valores**
Área total da Bacia (A)	A = 32,97 km^2 ≈ 33 km^2
Perímetro total (P)	P = 24,23 km
Coeficiente de compacidade (Kc)	Kc = 1,1813
Características da Rede de Drenagem	**Valores**
Ordem dos cursos d'água	5 ordem
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	Lt = 70,47 km ≈ 70,5 km
Densidade de drenagem (Dd)	Dd = 2,136 km/km^2
Extensão média do escoamento superficial	I = 0,117 km ou 117 m

6.3.2 Diagnóstico ambiental do uso do solo na bacia da lagoa Jacuném

Devido à intensa ação antropogênica verificada na bacia da lagoa Jacuném, verificou-se que os principais agentes degradadores são os loteamentos residenciais, a expansão industrial e a falta de uma política de educação ambiental junto aos moradores e freqüentadores da região. A proximidade cada vez maior da urbanização, frente à lagoa Jacuném, observada pelo crescimento de loteamentos de núcleos populacionais uni e pluri-familiares, e devido à expansão do centro industrial CIVIT, contribuíram para a degradação ambiental da área. A situação da lagoa Jacuném é ilustrada nas Figuras 6.16 e 6.17, onde são apresentadas áreas de expansão urbana e de abertura de novas estradas.

Figura 6.16. Vista parcial da lagoa Jacuném, ao fundo expansão industrial.

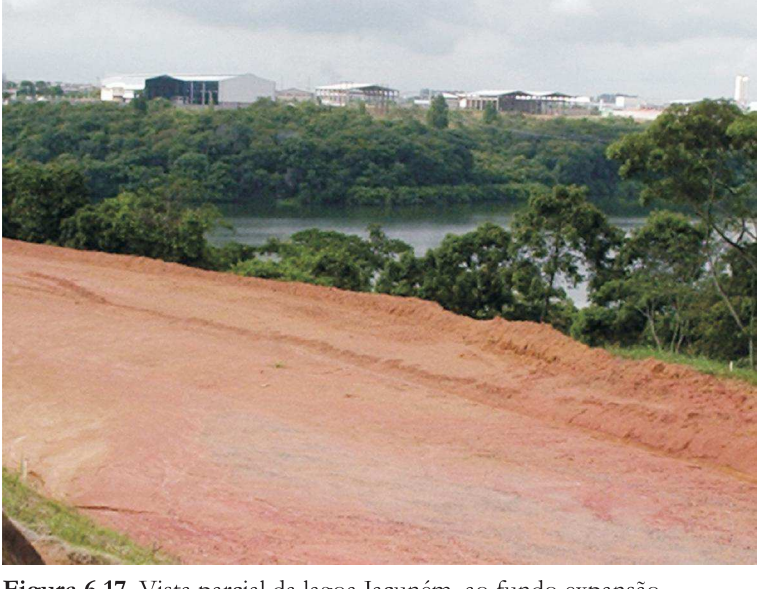


Figura 6.17. Vista parcial da lagoa Jacuném, ao fundo expansão industrial e movimentação de terra.

O avanço da industrialização sobre a lagoa pode ser observado nas Figuras 6.18 e 6.19, evidenciando as áreas expostas à poluição por lançamento de esgotos domiciliar e industrial, bem como áreas de solo exposto e com sinais de degradação ambiental.

Figura 6.18. Trecho da lagoa com aspecto turvo e poluído.

Figura 6.19. Áreas desmatadas com presença de solo exposto, por quase toda bacia.

A Figura 6.20 mostra claramente áreas de conflito de uso e ocupação do solo, ou seja, a faixa marginal mínima de preservação permanente não é respeitada, visto que no local de mata ciliar encontram-se áreas de campos ou pastagens e ocupação residencial.

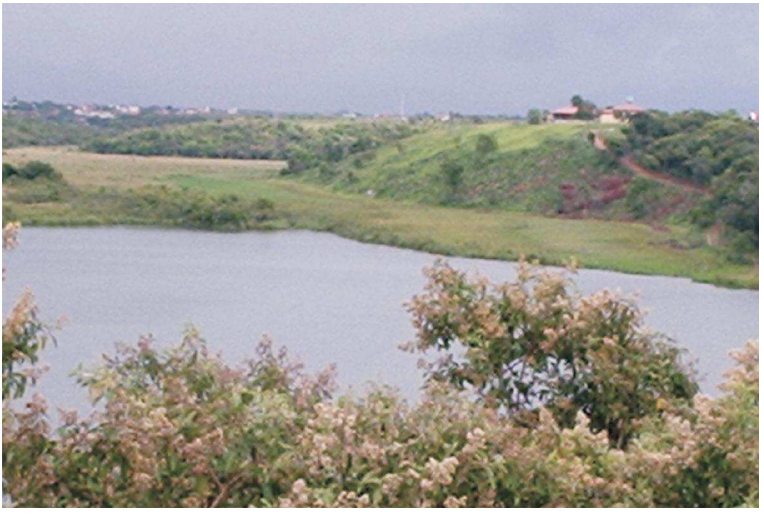


Figura 6.20. Ocupação residencial às margens da lagoa Jacuném.

6.3.3 Resultados da análise das áreas de conflitos de uso do solo

A Tabela 6.2 apresenta a relação de área de uso do solo e porcentagem de áreas usadas indevidamente, para APP´s no entorno dos cursos d' água. Já a Tabela 6.3, apresenta a mesma relação, porém para o entorno da lagoa.

Tabela 6.2. Total de áreas usadas indevidamente nas APP's no entorno dos cursos d'água.

Classe de uso do solo	Área (Km^2)	% de áreas usadas indevidamente
Campos/Pastagens	1,49	35,74
Solo Exposto	1,31	31,63
Área Urbana	1,05	25,17

Tabela 6.3. Total de áreas usadas indevidamente nas APP's no entorno da lagoa.

Classe de uso do solo	Área (Km^2)	% de áreas usadas indevidamente
Campos/Pastagens	0,78	51,24
Solo Exposto	0,23	15,00
Área Urbana	0,08	5,55

Mediante os resultados apresentados, pode-se recomendar algumas medidas de controle e prevenção, citadas abaixo:

• Medidas de controle das atividades poluidoras.

• Implantação de políticas de proteção ambiental.

• Disciplinamento do uso das margens dos cursos d'água e da lagoa.

• Licenciamento das indústrias do CIVIT pelo IEMA.

• Fiscalizações mais efetivas dos Órgãos Ambientais, com o intuito de prevenir e multar quando necessário os possíveis infratores.

• Envolvimento da sociedade civil organizada, com a implantação de ONG's que possam defender os interesses da lagoa.

• Criação de um SIG na bacia da lagoa Jacuném, para fornecer informações relevantes à implantação de projetos de uso e ocupação do solo, proteção e conservação ambiental.

6.4 Conclusões

Algumas observações devem ser feitas em relação à análise morfométrica a respeito do Coeficiente de compacidade (Kc) e da Densidade de drenagem (Dd).

Para o coeficiente de compacidade (Kc), pode-se observar que o valor está próximo à unidade, podendo a bacia ser mais susceptível a enchentes, pois valores de Kc próximos a um (1), significam risco de enchentes mais acentuadas.

No caso da Densidade de drenagem (Dd), segundo literatura, pode-se observar que os índices variam de 0,5 km/km^2 para bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais para bacias bem drenadas. Portanto, para a bacia da lagoa Jacuném é relacionado um valor intermediário, ou seja, Dd =2,136 km/km^2, nem pobre drenagem, nem tampouco bem drenada.

A metodologia proposta, utilizando um Sistema de Informações Geográficas, possibilitou delimitar, caracterizar e quantificar as áreas de preservação permanente e confrontá-las com o uso solo, obtendo assim as áreas que estão sendo utilizadas indevidamente, de acordo com a legislação ambiental vigente.

Do total de áreas de preservação permanente, tanto para os cursos d'água quanto para a lagoa Jacuném, tem-se um total de 5,68 Km^2. Sendo enquadrados em áreas de uso indevido: 92.54% da área de APP para o entorno dos cursos d'água s e 71,77% da área da APP para o entorno da lagoa, sendo apenas 7,46% no caso dos cursos d'água e 28,21% para a lagoa, uso do solo de matas ciliares. Isso demonstra a falta de preservação, disciplinarmente e ordenadamente do solo, visto que a área foi ocupada por invasões e por grande expansão industrial e urbana desde meados da década de 70.

6.5 Referências

ASSAD, Eduardo, D. SANO, Edson, E. **Sistema de Informações Geográficas – Aplicação na Agricultura**. Brasília: Embrapa – SPI/ Embrapa – CPAC, 1998.

BATISTA, C. José; FREIRE, Ana Paula. **Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas à análise do uso e ocupação do solo na bacia de contribuição da lagoa Jacuném e seu reflexo na qualidade de água da lagoa**. Vitória, UFES, Monografia de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, 2005.

BRASIL, **Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965**. Institui o Novo Código Florestal. Diário Oficial de 16 de setembro de 1965. Retificado no Diário Oficial de 28 de setembro de 1965. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]: Brasília, 1965.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002.** Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]: Brasília, 2002.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002.** Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]: Brasília, 2002.

CÂMARA, G.; Medeiros, J.S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais.** São José dos Campos: INPE, 1996.

CELANTE, Jovânia**. Mapeamento da Dinâmica do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Jacaraípe – Potencialização dos impactos ambientas sobre a qualidade dos Recursos Hídricos.** Vitória, UFES, Monografia de Final de Curso, 2004.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de Bacia Hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

MOTA, Suetônio. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos.** Rio Janeiro, ABES, 1995.

SANTOS, C. Caroline; MARTINS, E.K. Alan. **O uso do Geoprocessamento para delimitar áreas de ocupação dos solos urbanos. A Microbacia do Córrego Machado, Palmas – TO, um estudo de caso.** Artigo apresentado na X Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz de Iguaçu, 2001.

SILVA, Luiz Henrique P. **Avaliação Qualitativa da Lagoa Jacuném, com ênfase em eutrofização.** UFES M. Sc., Engenharia Ambiental, 1998.

CAPÍTULO 7

Análise do comportamento espectral de sedimentos em suspensão na região estuarina do rio Santa Maria da Vitória, ES

Andréa Castro de Morais
Marcus Vinícius Sossai Berger

7.1 Introdução

O Brasil é um país privilegiado em termos de recursos hídricos. Ele detém cerca de 12% da água doce que escorre superficialmente no planeta (ABDALA et al., 2003).

O comportamento espectral da água é caracterizado por apresentar baixos valores de radiância e, por uma pequena parte desta radiância medida pelo sensor, conter informações sobre a água propriamente dita. O estudo do comportamento espectral da água concentra-se, principalmente, na faixa espectral correspondente à faixa da radiação fotossinteticamente ativa, entre 350 e 700 nm (NORENBERG et al., 1996).

Os ambientes aquáticos têm seu comportamento espectral variando em função da concentração e distribuição dos sedimentos em suspensão, dos compostos inorgânicos e orgânicos dissolvidos e dos seres viventes, principalmente o fitoplâncton. Estes componentes atuam como agentes

espalhadores e absorventes de radiação, influenciando na transmissão da radiação eletromagnética por meio da coluna d'água e, consequentemente, da produtividade primária (NOERNBERG et al., 1996; MANTOVANI, 1993; STURM, 1980 e NOVO, 1992 apud SANTOS, 2001).

O estudo do impacto das variações de concentração dos componentes opticamente ativos da água, em especial a clorofila e sólidos em suspensão, sobre a assinatura espectral da água, por meio de sensoriamento remoto, é de grande auxílio para o estabelecimento de técnicas para avaliação do estado trófico e produtividade de águas superficiais (HAN et al., 1994 apud NOERNBERG et al., 1996).

A concentração de sedimentos em suspensão na água interfere diretamente na sua reflectância, sendo que sua faixa espectral varia de 450 a 900 nm. O aumento desta concentração promove uma elevação da reflectância da água, com seu pico mudando de 550 nm, em baixas concentrações, para mais de 600 nm em altas concentrações de sedimentos (Lo, C. P., 1991).

A técnica de Análise de Componentes Principais é utilizada para reduzir ou remover redundâncias espectrais contidas nas imagens, promovendo um realce na mesma, o que permite diferenciar, por exemplo, água limpa, água com sedimentos e despejos industriais (Lo, C. P., 1991).

No presente trabalho foram utilizadas técnicas de tratamento digital de imagens, baseada em análise de componentes principais, objetivando a escolha de uma combinação entre as bandas geradas, que melhor caracterizasse a pluma de dispersão dos sedimentos em suspensão, na região estuarina do rio Santa Maria da Vitória-ES.

7.2 Metodologia

7.2.1 Descrição da área de estudo

O município de Vitória, que se situa entre as coordenadas geográficas 20°14'22" e 20°19'48" latitude Sul e 40°12'47" e 40°22'02" longitude Oeste, tem como seu principal afluente o rio Santa Maria da Vitória (médio porte) desaguando em sua porção Oeste, formando a região estuarina. Essa região também recebe a contribuição de rios de pequeno porte, como: Bubu, Itanguá, Marinho e Aribiri.

A porção Noroeste do sistema estuarino é mais preservada e apresenta denso manguezal, o que inclui a foz dos rios Santa Maria da Vitória (4 km² de manguezal) e Bubu (3 km²), e a Ilha do Lameirão (Reserva Biológica Municipal, com 4,9 km²) (HABTEC, 1997 apud JESUS, 2004).

7.2.2 Materiais e métodos

As imagens utilizadas foram as do sensor CCD do satélite CBERS, obtidas por meio do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com data de 10 de março de 2005. Estas foram tratadas no ambiente do aplicativo Erdas Imagine 8.5.

A Análise de Componente Principal foi efetuada nas quatro bandas do sensor CCD, banda 1 (b1: 0,45 – 0,52 μm), banda 2 (b2: 0,52 – 0,59 μm), banda 3 (b3: 0,63 – 0,69 μm) e banda 4 (b4: 0,77 – 0,89 μm). A componente principal da banda 2 (pc2) foi utilizada para fazer a composição RGB com as bandas 1, 3 e 4, com posterior aplicação de equalização de histograma.

7.3 Resultados e discussão

As Figuras de 7.1 a 7.4 representam as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor CCD, respectivamente. A banda 2 foi a que melhor

demonstrou o comportamento da pluma de sedimentos em suspensão na água, pois sua faixa espectral abrange o pico de reflectância desses sedimentos, diferente da banda 1, que apresenta a menor reflectância, e das bandas 3 e 4, cujas faixas espectrais são muito absorvidas pela água e refletidas pela vegetação. Foi gerada uma composição RGB com as bandas 3, 2 e 1 para efeito de visualização de uma imagem próxima da realidade (Figura 7.5).

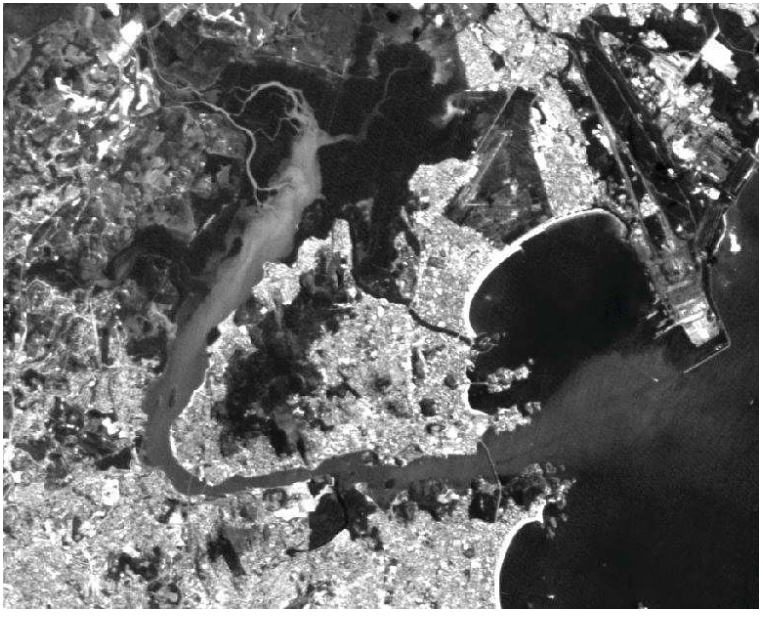


Figura 7.1. Banda 1 do sensor CCD do satélite CBERS.

Figura 7.2. Banda 2 do sensor CCD do satélite CBERS.

Figura 7.3. Banda 3 do sensor CCD do satélite CBERS.

Figura 7.4. Banda 4 do sensor CCD do satélite CBERS.

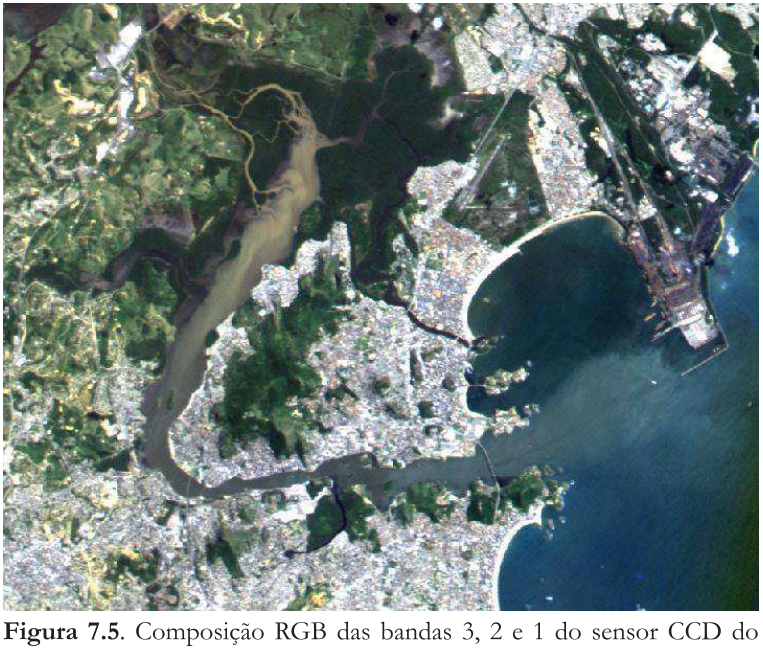


Figura 7.5. Composição RGB das bandas 3, 2 e 1 do sensor CCD do satélite CBERS.

Na componente principal da banda 2 foi aplicada uma equalização de histograma, objetivando um realce de contraste na pluma dos sedimentos em suspensão, como pode ser observado na Figura 7.6.

Figura 7.6. Componente principal da banda 2 com equalização de histograma.

Foram realizadas três composições RGB entre a componente principal da banda 2 e as bandas 1, 3 e 4, com posterior aplicação de equalização de histograma. As composições se deram da seguinte forma: pc2-pc2-b1 (Figura 7.7), pc2-pc2-b3 (Figura 7.8) e pc2-pc2-b4 (Figura 7.9). A melhor composição foi a obtida com a banda 4, pois promoveu um maior realce na pluma de sedimentos em suspensão e diferenciou a água da vegetação, delimitando toda a região de manguezal, melhorando, desta forma, a visualização da delimitação da região estuarina.

Figura 7.7. Composição RGB da componente principal da banda 2 com a banda 1.

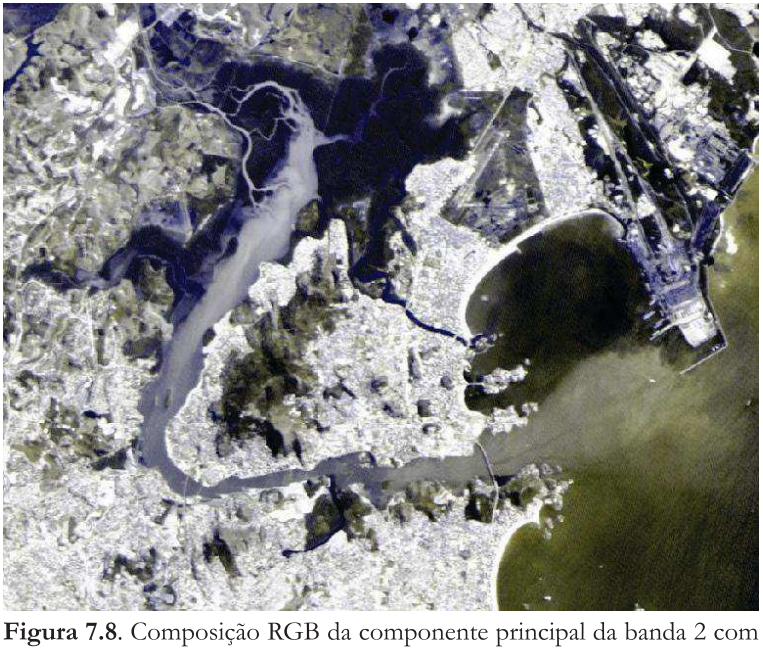


Figura 7.8. Composição RGB da componente principal da banda 2 com a banda 3.

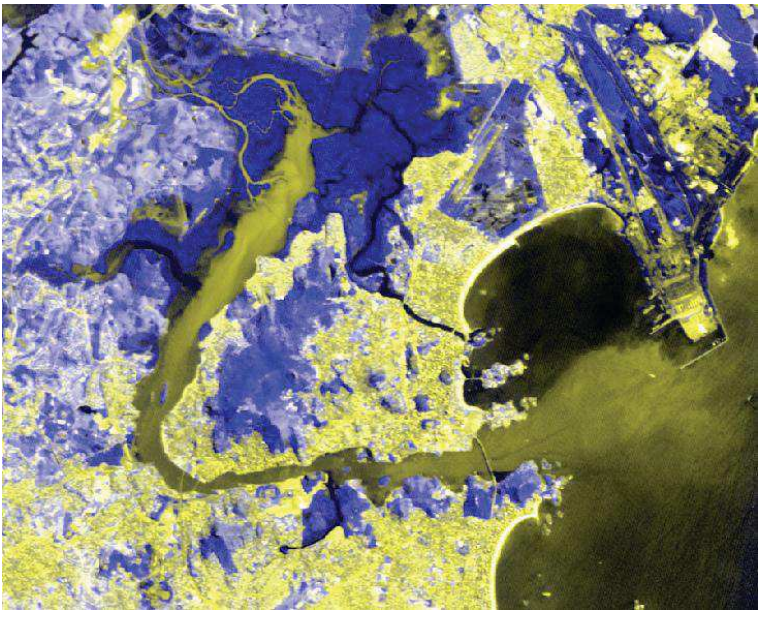


Figura 7.9. Composição RGB da componente principal da banda 2 com a banda 4.

7.4 Conclusões

A componente principal da banda 2 com equalização de histograma apresentou um realce de contraste na pluma dos sedimentos em suspensão. A melhor composição RGB foi obtida entre a componente principal da banda 2 e a banda 4, com equalização de histograma, pois permitiu realçar a pluma de sedimentos em suspensão, diferenciar a água da vegetação e delimitar o manguezal.

7.5 Referências

ABDALA, V. L. et al. **Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo de Bacia Hidrográfica:** O Caso do Alto da Bacia do Rio Uberaba. In: Simpósio Regional de Geografia, 2., 2003, Uberlândia.

JESUS, H. C. et al. **Distribuição de Metais Pesados em Sedimentos do Sistema Estuarino da Ilha de Vitória-ES.** Revista Química Nova, v. 27, n.3, p. 378-386, 2004.

Lo, C. P. **Applied remote sensing.** University of Georgia, New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

NOERNBERG, M. A. et al. **Relação entre Profundidade Secchi e Fator de Reflectância da Água em Ambientes Aquáticos Lênticos em Cachoeira Paulista, SP**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p. 933-939.

SANTOS, N. B. F. et al. Emprego de Imagens Landsat7/ ETM+ para Detecção da Calha Principal do rio São Francisco com propósito de auxiliar os estudos de navegabilidade. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 659-666.

CAPÍTULO 8

Evolução temporal do uso e ocupação do solo para os anos de 1994 e 2002 no município de Vitória, ES, utilizando imagens orbitais do satélite Landsat TM

Fabíola Candido Silva Vieira
Alexandre Rosa dos Santos

8.1 Introdução

Ao longo dos anos, percebemos que a ação agressiva do homem ao meio tem sido cada vez mais presente, destruidora e negligente, em virtude do aumento populacional e das grandes aglomerações urbanas. As ocupações desordenadas afetam diretamente a organização do espaço geográfico e, muito especialmente, o espaço urbano, que é produzido e apropriado socialmente por meio de uma fantástica estratégia dos agentes produtores e apropriadores (CAMPOS JÚNIOR, 1996). Com a cidade de Vitória, capital do Espírito Santo, tal sistemática se manteve, tendo seu espaço sido ampliado por aterros para suportar os avanços da sua ocupação. Esse tipo de adequação espacial refletiu o ritmo que o sistema capitalista imprimiu ao território da cidade, respondendo aos interesses

dos grupos economicamente ativos (CAMPOS JÚNIOR, 1996).

O uso e ocupação do solo de Vitória tiveram características históricas. A sua transformação em capital do estado visava estimular o desenvolvimento de atividades econômicas, tendo-a como um centro de polarização dominante, já que funcionaria como sede político-administrativa. Além disso, a cidade oferecia o atrativo do porto marítimo, que sempre serviu para o escoamento da produção cafeeira. A esses fatores se adiciona a presença de imigrantes oriundos do interior do Estado que, em virtude da política de erradicação dos cafezais realizada a partir da década de 60 e da falta de recursos financeiros, não puderam adquirir locais apropriados para habitação, ocupando, assim, as áreas periféricas da cidade e contribuindo para a ampliação da densidade demográfica da capital a índices alarmantes.

O processo de ocupação da Grande Vitória na década de 60 apresentava taxas de 6,9% ao ano. Vitória teve um incremento populacional de aproximadamente 50 mil pessoas na citada década, passando para uma população de 83.351 habitantes. Já toda a Grande Vitória, contando inclusive com a capital, recebeu um incremento populacional de cerca de 190 mil pessoas. Vitória continuou sendo o município mais populoso e que abrigava a população de maior renda (CAMPOS JÚNIOR, 2002).

Tabela 8.1. Evolução do crescimento populacional de Vitória, Grande Vitória e Espírito Santo, 1950-2000.

Período	Vitória	Grande Vitória	Espírito Santo
1950	50.922	110.931	861.562
1960	83.351	194.311	1.169.553
1970	133.019	385.998	1.599.333
1980	207.747	706.263	2.023.340
1991	258.245	1.063.293	2.598.231
2000	292.304	1.337.187	3.097.232

Fonte: IBGE, 2000.

Tabela 8.2. Densidade demográfica de Vitória.

Período	População	Área ocupada hectares	Densidade hab/ha
1940	42.246	280	150
1950	50.922	-	-
1960	83.351	410	208
1970	133.019	1.100	120
1991	-	-	-
2000	292.304	8.800	0.03

Fonte: FJSN, PDU de Vitória, 1979.

O processo de ocupação do território pelos migrantes aumentou nos locais de terras de baixo custo, onde os que não possuíam poder aquisitivo foram formando a periferia da cidade, invadindo as áreas marginais como morros e mangues da capital. A extensão territorial do município era pequena e o crescimento da especulação imobiliária valorizou as terras baixas, excluindo, assim, aqueles que não possuíam recursos para adquiri-las. Esse processo estimulou a ocupação dos espaços intersticiais, promovendo o aumento da mancha urbana.

Atualmente, a cidade de Vitória mantém preservado o seu papel na interação com os demais municípios, centralizando as atividades finais do complexo de intercâmbio com o exterior e dos serviços derivados de sua condição de capital do estado. Sendo principal pólo urbano do Espírito Santo, Vitória, na época deste estudo, concentrava 41% da população do estado, detinha 87% da arrecadação e, das 150 maiores empresas estaduais, 52 operavam em Vitória. Assim, dos 88 Km^2 de área bruta do município, quase a metade estava ocupada com grandes empreendimentos, tais como o aeroporto, a universidade, os complexos siderúrgicos e portuários da então CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão) e CVRD (Companhia Vale do Rio Doce) e o Maciço Central, reduzindo

bastante as áreas possíveis de ocupação pela malha urbana (PMV, 1996).

Considerando tais argumentos, vimos como de interesse geral realizar a avaliação temporal e espacial do uso e ocupação do solo para este município, devido à preocupação com a aglomeração urbana capaz de gerar conseqüências diretas quanto aos impactos ambientais gerados. Nesse sentido, utilizamos no procedimento metodológico o sensoriamento remoto, que pode ser definido como qualquer processo por meio do qual é coletada informação a respeito de um objeto, área ou fenômeno, sem entrar em contato com eles (EASTMAN, 1998).

A obtenção de imagens por meio do sensoriamento remoto se dá graças ao Sol que, ao emitir energia radiométrica, atinge a superfície terrestre e se propaga pelo espaço. Isso ocorre em função da teoria ondulatória, segundo a qual a radiação solar se propaga por meio de um campo eletromagnético em movimento ondulatório, em que as partículas formam o que chamamos de ondas. Estas possuem uma freqüência e um comprimento que variam, ordenando o espectro eletromagnético e resultando em diferentes regiões do espectro (MOREIRA, 2003).

O espectro eletromagnético pode ser ordenado em função do seu comprimento de onda e sua freqüência. O sol participa apenas de parte desse intervalo e pode-se observar que sua radiação emitida, denominada de espectro solar, insere-se no intervalo de 0,28 a 4 micrômetros. Dessa faixa, o olho humano só é capaz de enxergar apenas no intervalo 0,39 - 0,77 micrômetros, que é a capacidade visível no intervalo do espectro solar (IBGE, 2001). Após a imagem ser captada pelo sensor, ela é armazenada na forma digital bidimensional, resultando uma malha formada por *pixels*, unidos numa grade de coordenadas. Cada *pixel* possui um valor numérico que corresponderá à intensidade refletida da radiação

eletromagnética. É nesse processo que se formam os diversos tons de cinza possíveis, que estão inseridos no intervalo de 0 a 255 cores (variando do preto que é o nível mínimo, ao branco, o nível máximo). Cada *pixel* corresponde à região localizada, recebendo então um tom de cinza, que lhe caracteriza segundo suas especificidades (MOREIRA, 2003).

De acordo com o tipo de sensor, a imagem digital possuirá algumas características especiais, que são: *resolução espacial*, definida como a habilidade de um sensor para distinguir os objetos referentes a uma área mínima representada por um único sinal na imagem, ou seja, o sinal resultante de todas as respostas espectrais provenientes dos diferentes alvos da área, dentro do *pixel* (IBGE, 2001; MOREIRA, 2003). Na imagem LANDSAT, a resolução espacial é de 30 metros, ou seja, cada *pixel* na imagem, correspondente a uma superfície de 30m no terreno; *resolução espectral* é definida como a habilidade de separar coisas espectralmente semelhantes (IBGE, 2001). As imagens que foram utilizadas neste estudo possuem sete bandas espectrais, pois os componentes presentes na superfície terrestre respondem de forma diferente à radiação que lhes é emitida, e a reflectância dos materiais varia de acordo com o comprimento da onda, e por isso seu registro gráfico varia; *resolução radiométrica* refere-se aos níveis digitais representados por níveis de cinza possíveis numa imagem, quanto maior o intervalo entre os níveis de cinza máximo e mínimo, maior a resolução radiométrica; e *resolução temporal* refere-se à freqüência com que o sensor imageia determinada área. O LANDSAT possui uma resolução temporal de 16 dias e um sistema de varredura mecânica, que oscila perpendicularmente ao deslocamento da plataforma (MOREIRA, 2003).

8.2 Metodologia

A área de estudo compreendeu o município de Vitória, Espírito Santo, localizada entre as coordenadas geográficas

20º14'22" e 20º19'48" latitude sul e 40º12'47" e 40º22'02" longitude oeste.

As informações vetoriais de referência utilizadas para as análises foram extraídas das cartas topográficas da região, na escala de 1:50.000 (IBGE, 1975), e base cadastral da Prefeitura Municipal de Vitória (PMV). Posteriormente, com o intuito de converter os dados analógicos para o formato digital, utilizou-se uma mesa digitalizadora. Após a digitalização iniciou-se o processo de formatação e conversão dos dados vetoriais para o formato matricial, culminando nas imagens do município e bairros de Vitória. As bandas espectrais consideradas no trabalho (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio) foram inicialmente importadas para o formato do Sistema de Informações Geográficas *Idrisi for Windows* (EASTMAN, 1999). Em seguida delimitou-se apenas o quadrante representativo do município de Vitória. O fluxograma de todas as etapas necessárias para a geração da base e dados é mostrado na Figura 8.1.

Na classificação de dados digitais, os alvos do universo passaram a ser chamados de classes. Cada pixel na imagem é rotulado de acordo com a ocupação do solo. A classificação de imagens orbitais pode ser efetuada de forma supervisionada e não supervisionada. Neste estudo, optou-se pela classificação supervisionada. Moreira (2003) afirma que a classificação supervisionada utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista. Segundo o autor, a categorização (rotulação) dos níveis de cinza é feita utilizando algoritmos estatísticos (programas computacionais) de reconhecimento dos padrões espectrais.

A primeira etapa para a realização da classificação supervisionada foi a geração do mapa vetorial das amostras de treinamento. Este processo permitiu a digitalização em tela

das classes de uso e ocupação do solo (tabela 3) baseado em trabalho de campo, foto-interpretação de imagens aéreas e análise de cartas topográfica.

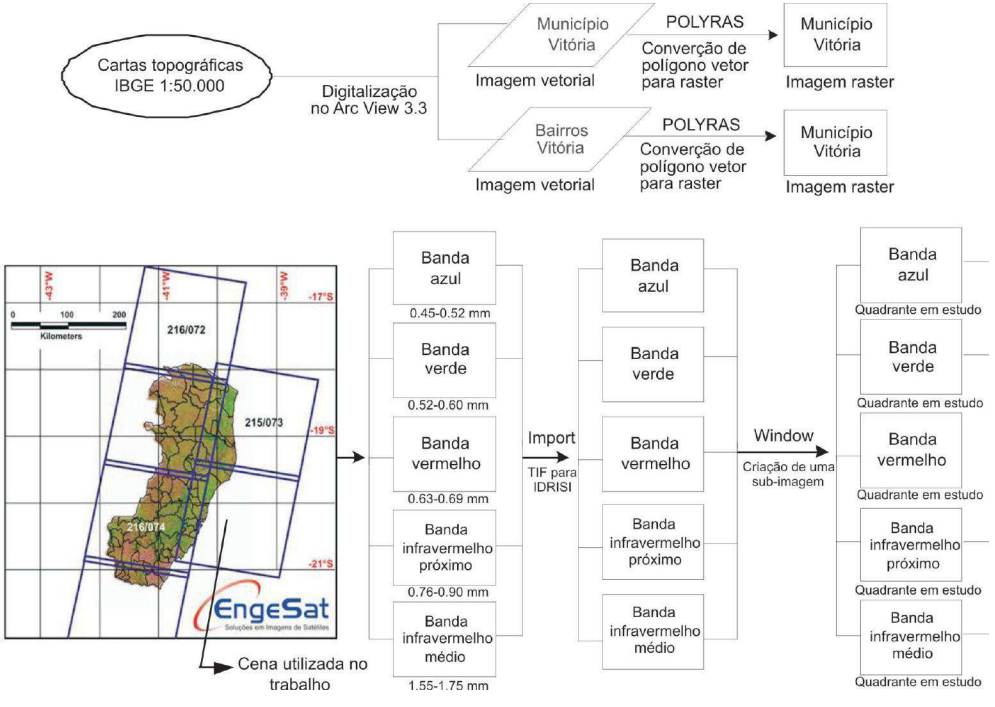


Figura 8.1. Fluxograma das etapas necessárias para a geração da base de dados.

Tabela 8.3. Classes de uso e ocupação do solo.

Atributos	Classes	Descrição
1	Água	Presença de marés, rios e reservatórios.
2	Vegetação	Caracteriza-se como todas as regiões verdes visíveis, excetuando o mangue.
3	Área urbana	Inclui-se toda área construída, ou seja, presença de concreto.
4	Mangue	Diferenciou-se mangue de vegetação pelo fato de ser bastante significante nessa cidade e por fazer parte de zona de proteção ambiental.
5	Solo exposto	Engloba solos descobertos e áreas que não apresentem áreas verdes ou construções.
6	Sombra	Áreas escuras nas imagens ocasionadas pela ondulação do relevo e nuvens.

Para efeito de comparação utilizaram-se diferentes metodologias de classificação supervisionada, cujo objetivo foi encontrar a que melhor representasse a realidade do município. No entanto, em virtude do espaço que nos é aqui reservado, apresentaremos somente os resultados obtidos como os seguintes métodos: mínima distância normalizada e máxima verossimilhança.

No método de mínima distância, se tomou como referência, para cada classe, um ponto no espaço multidimensional definido pela média estatística de cada banda espectral considerada. O algoritmo associa cada *pixel* desconhecido à classe cuja média está mais próxima (IBGE, 2001). Cada *pixel* dentro e fora das áreas de treinamento é avaliado e assinalado à classe a qual ele tem a maior probabilidade de pertence.

O método máxima verossimilhança possui uma área de treinamento, em que selecionamos na imagem, com o cursor áreas, modelos dos *pixels* que sejam representativos para cada alvo do uso do solo (MOREIRA, 2003). Depois de selecionar todas as classes preestabelecidas, o aplicativo computacional, por meio de cálculos específicos de eqüiprobabilidade, adequa os demais *pixels* desconhecidos ou não classificados às classes. Este método se adequa às elipses, de forma que a localização, a forma e tamanho da elipse refletem a média variância e covariância de duas variáveis (IBGE, 2001). O grande problema desta classificação é obter amostras de *pixels* puros, representativos de cada classe espectral. É sabido que a resposta espectral de um alvo contida numa área do terreno nunca é homogênea e exclusiva daquele alvo. Geralmente ela é mascarada pela resposta espectral proveniente da superfície de fundo ou de outros alvos dentro da área (EASTMAN, 1999).

O fluxograma de todas as etapas necessárias para a realização da classificação supervisionada para os diferentes métodos é mostrado na Figura 8.2.

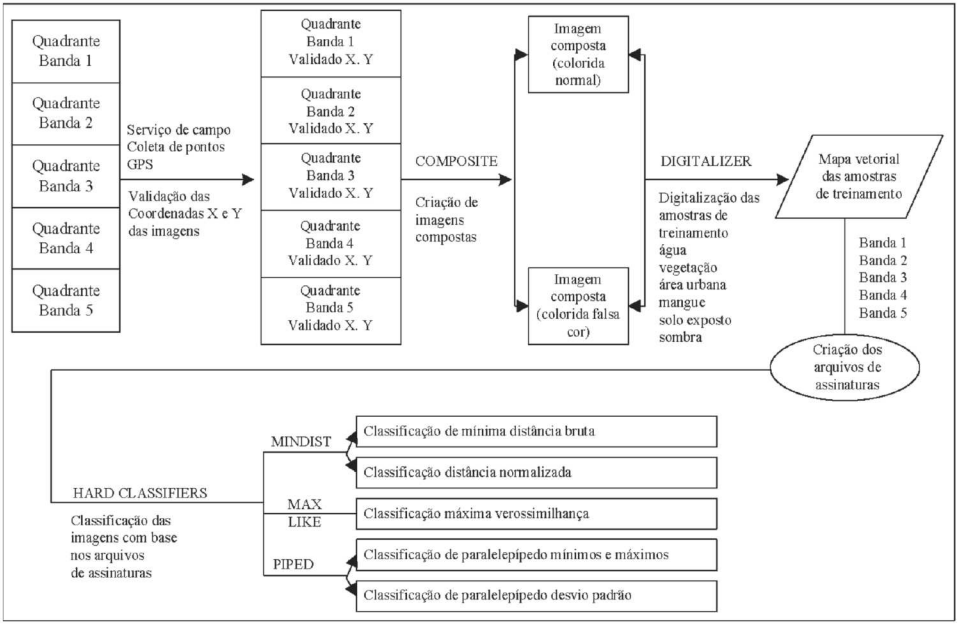


Figura 8.2. Fluxograma das etapas necessárias para classificação supervisionada.

8.3 Resultados e discussão

Os resultados da classificação supervisionada apresentaram respostas bastante significativas quanto à realidade do município. Cada classificação apresentou diferenciais distintos, mesmo que pouco visíveis. Assim como já era esperado, muitas classificações não foram de boa qualidade, resultando em erros grotescos, fora da realidade do município. Nas duas épocas em estudo, o método de classificação supervisionada que apresentou os melhores resultados foi o da distância mínima normalizada, onde se observou a menor quantidade de erros ou falhas, mostrando maior homogeneidade das classes (Figuras 8.3, 8.4, 8.7 e 8.8), e o método da máxima verossimilhança (Figuras 8.5, 8.6, 8.9 e 8.10) que, não obstante, apresentou pequenas falhas, como a existência de mangue

no alto do maciço central. Este grau de erro já era esperado, pois a resposta espectral de mangue e vegetação é bastante parecida.

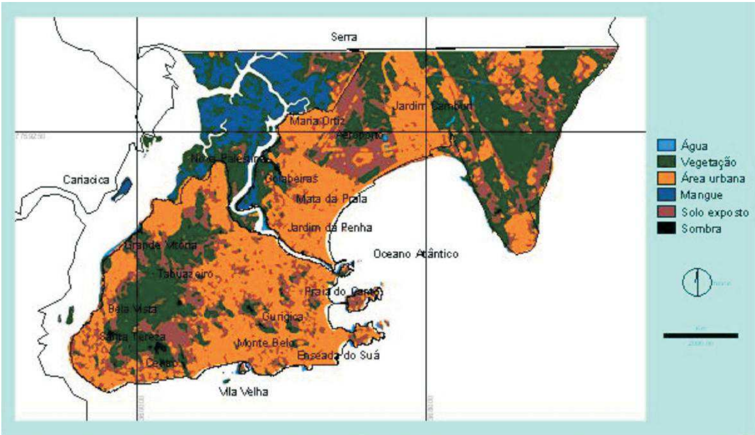


Figura 8.3. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 1994.

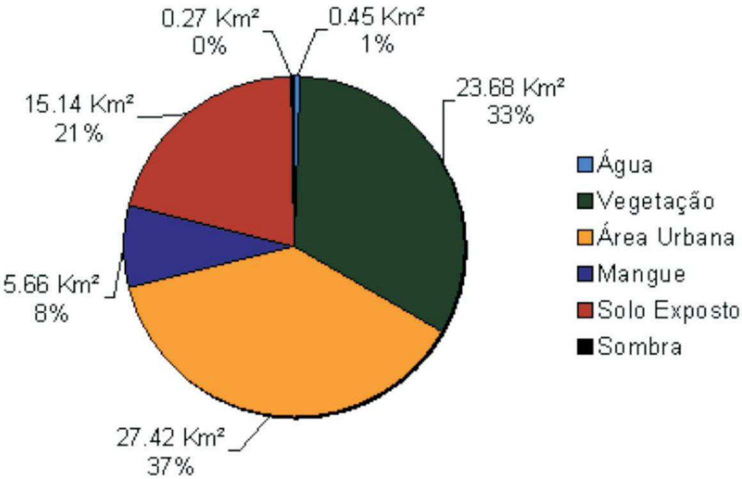


Figura 8.4. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 1994.

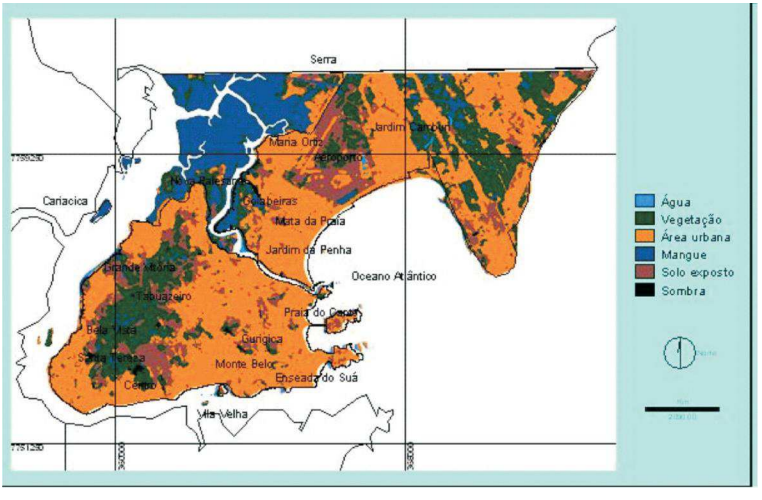


Figura 8.5. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 1994.

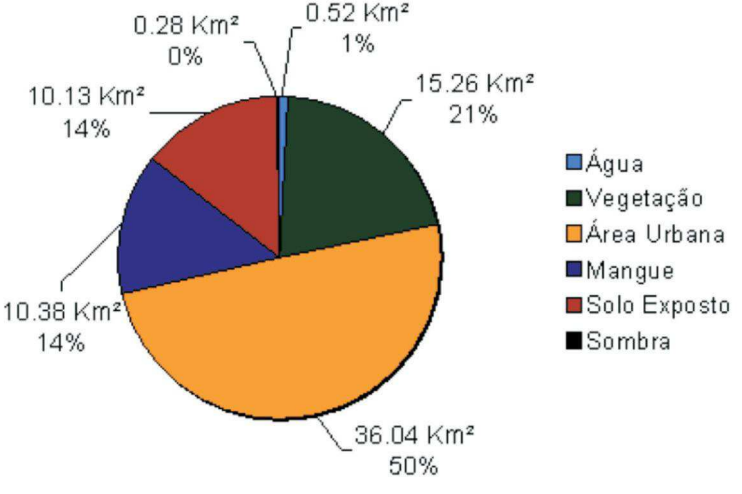


Figura 8.6. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 1994.

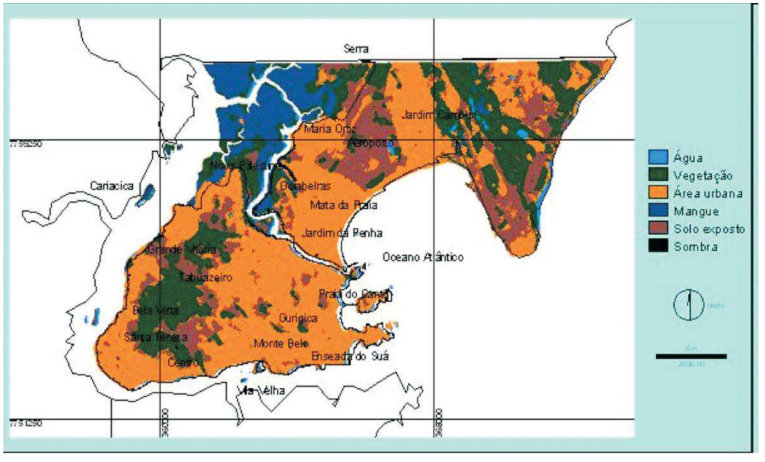


Figura 8.7. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 2002.

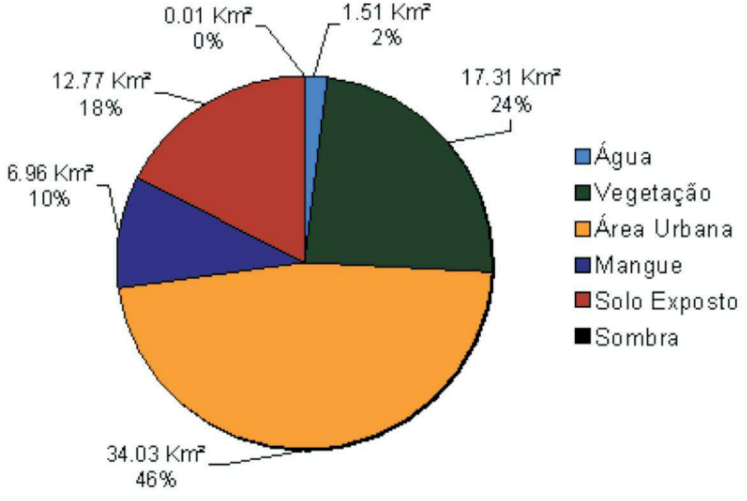


Figura 8.8. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada para o ano de 2002.

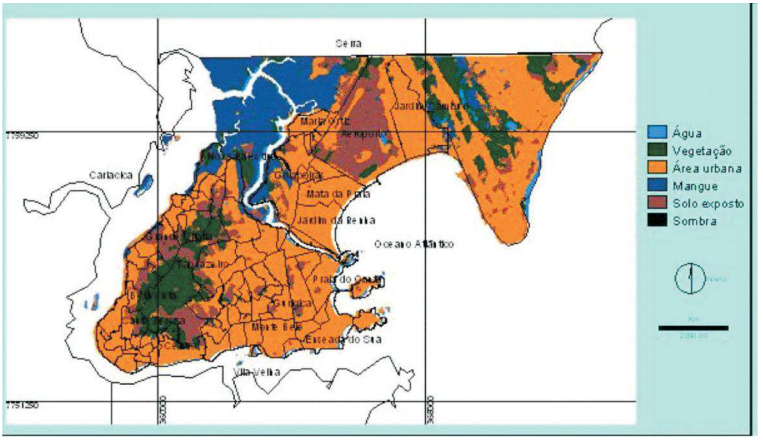


Figura 8.9. Uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 2002.

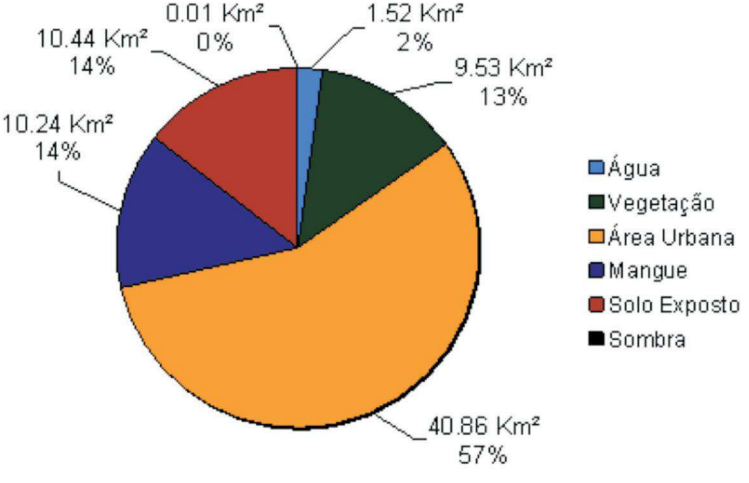


Figura 8.10. Área e porcentagem das classes para a classificação de uso e ocupação do solo do município de Vitória, ES, usando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança para o ano de 2002.

A evolução temporal do uso e ocupação do solo nos anos de 1994 e 2002, para o município de Vitória, determinada pelos métodos de classificação supervisionada normalizada e máxima verossimilhança, pode ser observada nas Figuras 8.11 e 8.12.

No gráfico da discriminação normalizada, a vegetação diminuiu drasticamente a uma taxa percentual de 8,76%, fruto da constante ocupação populacional em direção aos morros e encostas da capital. A área urbana aumentou em 9,12%, graças ao crescimento urbano que a cidade passou nestes últimos oito anos em estudo. O mangue teve sua vegetação aumentada em 1,80%, devido à intensa atividade de proteção ambiental promovida pela Prefeitura Municipal de Vitória. O solo exposto diminuiu em 3,26%, devido à aglomeração na cidade, e o interesse de ocupar todos os locais disponíveis.

No gráfico de máxima verossimilhança, vemos que a vegetação também diminuiu em 7,89%, devido ao desmatamento ocorrido no município neste intervalo de tempo. A área urbana aumentou 6,64%. Já o manguezal diminuiu 0,20% e o solo exposto aumentou 0,43%.

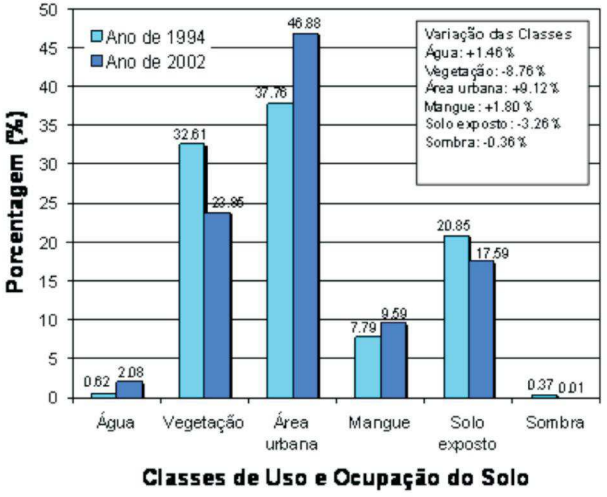


Figura 8.11. Comparação por porcentagem das classes de uso e ocupação do solo para os anos de 1994 e 2002, do método de classificação supervisionada de distância mínima normalizada.

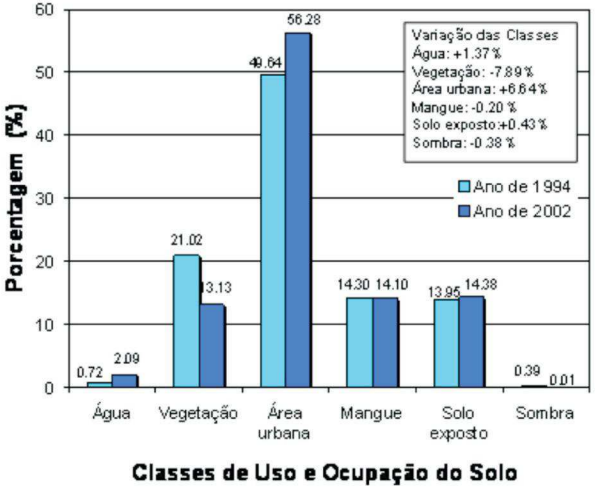


Figura 8.12. Comparação por porcentagem das classes de uso e ocupação do solo para os anos de 1994 e 2002, do método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança.

8.4 Conclusões

A classificação supervisionada utilizando imagens de satélite LANDSAT para os anos de 1994 e 2002 representou de maneira adequada a evolução temporal e espacial do uso e ocupação do solo nesse intervalo de tempo.

A utilização de diferentes metodologias de classificação supervisionada resultou numa grande variação do uso e ocupação do solo para a área em estudo.

O aplicativo *Idrisi for Windows* foi de grande importância para a realização deste estudo, mostrando-se ser uma ótima ferramenta para a manipulação de imagens matriciais, permitindo que sejam criadas metodologias de acordo com o interesse do autor, além de possibilitar boa resolução e visualização dessas imagens.

De todos os métodos de classificação supervisionada, os que apresentaram os resultados mais satisfatórios foram os da

distância mínima normalizada e o da máxima verossimilhança, ambos representando com maior acurácia o uso e ocupação do solo.

A metodologia utilizada demonstrou eficiência, possibilitando-nos comprovar a evolução e crescimento da população de Vitória, com aumento da sua área urbana e diminuição da vegetação existente. Este fato possibilitou o entendimento do aumento dos impactos ambientais existentes na capital capixaba.

A elaboração dos mapas permitiu um maior entendimento da organização espacial do município, com maior ocorrência da classe de área a área urbana, mostrando resquícios de vegetação em locais isolados no alto das elevações e concentrada no maciço central, sob proteção ambiental.

A preservação do manguezal é de grande importância, pois se observou que sua área aumentou, trazendo prosperidade para as vidas que naquele ambiente se desenvolvem.

Apesar de ter alcançado os objetivos propostos, este trabalho pode ser realizado utilizando-se imagens de satélites que possuem maior resolução espacial como, por exemplo, o *Ikonos*, que possui resolução espacial de um metro.

Utilizando metodologias e técnicas modernas, podem-se realizar bons estudos, possibilitando melhor compreensão da organização social, econômica e política do município de Vitória.

8.5 Referências

ALENCAR, A. B. **Planejamento urbano e uso do solo**. Revista Econômica do Nordeste do Brasil S.A. Fortaleza, v. 17, nº 2, p. 273-282, abr./jun. 1986.

CAMPOS JÚNIOR, C. T. de. **A construção da cidade: formas de produção imobiliária em Vitória.** Vitória: Ed.

Flor e Cultura, 2002.

_____. **O novo arrabalde**. Vitória, PMV/ Secretaria Municipal de Cultura e Turismo, 1996.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows**. Versão 2.0. Worceter, MA: Clark University, 1999.

FAYET, C. M. **Desenvolvimento dos aglomerados urbanos: localização e uso do solo.** Revista Fundação Jones dos Santos Neves. Governo do Estado do Espírito Santo. Vitória, ES, ano I, nº 3, p. 4-8, jul./set. 1978.

Fundação Jones dos Santos Neves (FJSN). **Plano Diretor Urbano de Vitória**. Vitória: Governo do Estado do Espírito Santo, 1979.

IBGE. **Dados históricos do Censo.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br. 2003>.Acesso em jan. 2004.

_____. **Atlas geográfico escolar.** Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

_____. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Carta topográfica de Vitória**. Rio de Janeiro, 1975.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Ed. UFV. 2.ed. Viçosa, MG, 2003.

NETTO, J. S. M., MENEZES, P. R. (Org.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília, DF: Ed. UNB/EMBRAPA., 2001.

Prefeitura Municipal de Vitória. **Plano diretor urbano de Vitória.** Vitória. Lei nº 3158/84,

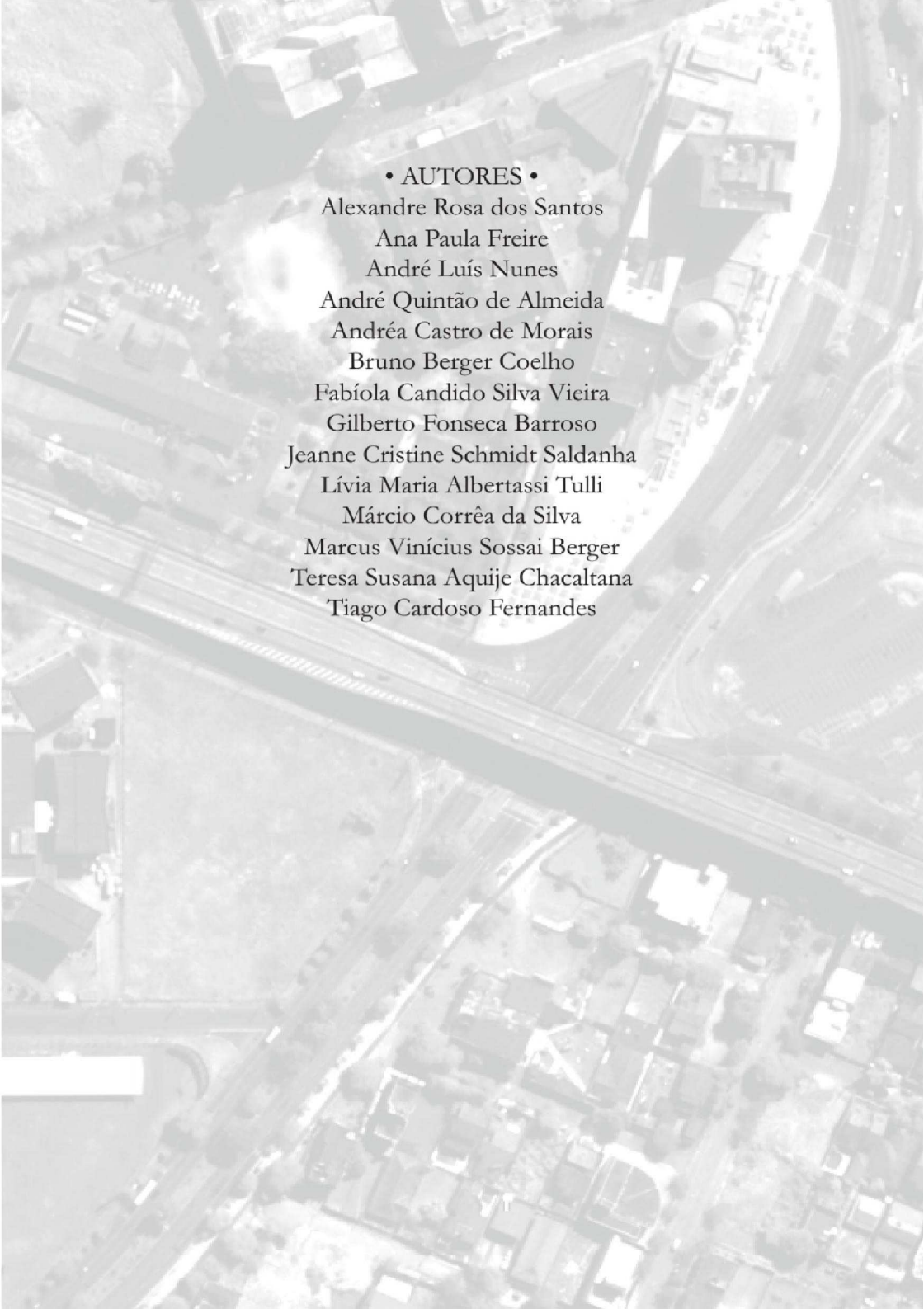
1984.

_____. **Plano diretor urbano de Vitória.** Vitória: Prefeitura Municipal de Vitória. Lei nº

4167/94, 1994.

_____. **Vitória do Futuro: plano estratégico da cidade 1996-2010.** Vitória: Secretaria Municipal de Planejamento, 1996.

SUZUKI, J. C. **Aglomerados urbanos no Brasil: a expansão da rede urbana. In: Associação dos Geógrafos Brasileiros**. Revista Paranaense de Geografia. Santa Catarina, n. 4., 1999. Disponível em <http://www.agbcurutiba.hpg.ig.com.br/Revistas/Rpg3/5julio.htm>. Acesso em jan. 2004.



• AUTORES •

Alexandre Rosa dos Santos
Ana Paula Freire
André Luís Nunes
André Quintão de Almeida
Andréa Castro de Morais
Bruno Berger Coelho
Fabíola Candido Silva Vieira
Gilberto Fonseca Barroso
Jeanne Cristine Schmidt Saldanha
Lívia Maria Albertassi Tulli
Márcio Corrêa da Silva
Marcus Vinícius Sossai Berger
Teresa Susana Aquije Chacaltana
Tiago Cardoso Fernandes