

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ

FÁBIO DA SILVA LIMA

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO BOA ESPERANÇA – NOVA FRIBURGO (RJ)**

**Rio de Janeiro
2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA - CCMN
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGEO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO BOA ESPERANÇA – NOVA FRIBURGO (RJ)**

**Fábio da Silva Lima
Agosto de 2010.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA - CCMN
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGEO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

FÁBIO DA SILVA LIMA

**Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança – Nova
Friburgo (RJ)**

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências (M. Sc).

Orientador: PhD. Antônio José Teixeira Guerra

Co-Orientador: Dr. Manoel do Couto Fernandes

Aprovada por:

Antônio José Teixeira Guerra, PhD. (Departamento de Geografia / IGEO - UFRJ)

Manoel do Couto Fernandes, D. Sc. (Departamento de Geografia / IGEO - UFRJ)

Rosângela Garrido Machado Botelho, D.Sc. (IBGE/ DGC /CREN - ENCE/AAGT)

Paulo Leal Meneses, D. Sc. (Departamento de Geografia / IGEO - UFRJ)

FICHA CATALOGRÁFICA

dL732a da Silva Lima, Fábio
Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio
Boa Esperança – Nova Friburgo (RJ) / Fábio da Silva Lima. --
Rio de Janeiro, 2010.
118 f.

Orientador: Antônio José Teixeira Guerra. Coorientador:
Manoel do Couto Fernandes. Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de
Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2010.

1. Erosão do Solo. 2. Fragilidade Ambiental. 3.
Geoprocessamento. 4. Modelagem. 5. Bacia Hidrográfica. I.
José Teixeira Guerra, Antônio, orient. II. do Couto Fernandes,
Manoel, coorient.
III. Título.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pois sem ela nada seria possível.

Ao Prof. Antônio José Teixeira Guerra, que me aceitou no LAGESOLOS (em 2006) e sempre me incentivou na pesquisa, Nesse sentido, agradeço muito a sua orientação, sugestões, confiança e amizade.

Ao Prof. Manoel do Couto Fernandes, agradeço a sua co-orientação e pela ajuda com os mapas, modelagens e geoprocessamento.

Ao CNPq, que financiou parte desta pesquisa através da concessão de bolsa de mestrado e por ter possibilitado a aquisição dos materiais e a realização dos trabalhos de campo muito importantes na realização desta dissertação.

Aos professores do PPGG Carla Madureira, Nelson Fernandes e André Avelar, pela seriedade e competência nas disciplinas ministradas.

Aos funcionários da biblioteca do PPGG, em especial ao Pedro.

A Beth do IGEO pela grande ajuda na etapa final da defesa.

A Nildete e Ildione do PPGG pelas ajudas e quebras de galho.

À Profª. Mônica Marçal pelas sugestões.

Aos grandes amigos do LAGESOLOS, Stella, Hugo, Luana, Luis Lima, Luiz Fernando que se dispuseram a ajudar nos trabalhos de campo e com as análises laboratoriais na UFRJ.

Aos amigos que adquiri nesses anos de convivência no LAGESOLOS, Stella Mendes, Hugo, Luana, Luiz Lima, Sara, Luiz Fernando, Urubatan, Isabel, Raphael Lima, Pillar, Guilherme Hissa, Frederico e Renato.

Ao Prof. Renato Campelo da UFF, Dr. Daniel Loureiro, e em especial a Ilene e a Tarssíla, pela grande ajuda com as análises laboratoriais na UFF.

À Tatiana Guerra e Thiago pelo grande apoio prestado.

À Andréa de Souza Nogueira, que sempre me incentivou durante a realização do mestrado, e que, tenho certeza, fez parte desta conquista.

Aos amigos do Núcleo de Defesa dos Direitos Humanos da Defensoria Pública do Rio de Janeiro.

A todos os outros, não citados, que de alguma forma contribuíram nesta caminhada.

RESUMO

LIMA, Fábio da Silva. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança – Nova Friburgo (RJ). Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2010.

A presente dissertação estuda e analisa a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, localizada no Município de Nova Friburgo – RJ. Partindo da apresentação e discussão dos conceitos de suscetibilidade, vulnerabilidade, fragilidade, perigo e risco, em especial, relacionados aos processos erosivos acarretados pela água durante o escoamento superficial. Em seguida são abordadas as questões geotecnológicas, apresentadas cronologicamente, desde a aquisição dos dados primários e das bases temáticas, passando pelo sensoriamento remoto, georreferenciamento, interpretação das imagens e modelagens, acrescidas dos dados obtidos em campo das coletas de solo e da análise das mesmas, realizadas nos laboratórios da Universidade Federal do Rio de Janeiro e na Universidade Federal Fluminense. Trata-se de um estudo que correlaciona os fatores topográficos, de uso da terra e da caracterização do solo através do geoprocessamento com o objetivo de classificar as áreas da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, segundo o critério hierárquico da fragilidade ambiental. Os resultados obtidos pretendem contribuir para o planejamento e para a gestão ambiental das bacias hidrográficas, através de uma metodologia que visa servir de subsídio a outros estudos sobre essa temática. Cabe salientar que a área de estudo é objeto de grande preocupação, em função dos seus diferentes usos da terra e dos vários graus de ocupação humana, devido ao fato desta área estar inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) Macaé de Cima e fazer parte do corredor ecológico do Muriqui, que visa unir o Parque Estadual Desengano e o Parque Estadual Três Picos.

Palavras-chave: Erosão do Solo; Fragilidade Ambiental; Bacia Hidrográfica; Geoprocessamento; Modelagem

ABSTRACT

LIMA, Fábio da Silva. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança – Nova Friburgo (RJ). Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2010.

The present dissertation studies and analyzes the environmental fragility of Boa Esperança river basin, located in the municipality of Nova Friburgo – Rio de Janeiro State, by presenting and discussing the concepts of susceptibility, vulnerability, fragility, hazard and risk; this one in particular, when related to erosion caused by water during runoff. After that, geotechnological matters are chronologically approached: since primary data and thematic basis acquisition to remote sensing, georeferencing, images and modeling interpretation; including the data obtained in the field, through the collection and analysis of soil samples. The last procedure was performed at Rio de Janeiro Federal University and Fluminense Federal University laboratories. This is a study that correlates topographic factors, land use and soil characterization, through geoprocessing, in order to classify the areas of Boa Esperança river basin, according to the hierarchical criterion of environmental fragility. The results obtained from this research aim to contribute in planning and environmental management of river basins, using a methodology which aims to provide support to other studies on the same topic. It should be emphasized that this study area is subject to a great concern, due to its diverse land uses and human settlement levels. Furthermore, this river basin is located in Macaé de Cima Environmental Protection Area (EPA). It is also part of Muriqui Ecological Corridor, which plans to unite Desengano State Park and Três Picos State Park.

Key Words: Soil Erosion; Environmental Fragility; River Basin; Geoprocessing; Modeling.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO (RJ).	5
FIGURA 2: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO (RJ).	28
FIGURA 3: MAPA DE GEOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO (RJ)	29
FIGURA 4: MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO (RJ).	30
FIGURA 5: MAPA PEDOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO (RJ).	32
FIGURA 6: GRÁFICO DE TEMPERATURAS MÉDIAS DA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO. FONTE: CETEMA/IPRJ/UERJ, 2010.	33
FIGURA 7: GRÁFICO PLUVIOMÉTRICO DA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO. FONTE: CETEMA/IPRJ/UERJ, 2010.	34
FIGURA 8: GRÁFICO DA POPULAÇÃO RESIDENTE, NAS ÁREAS RURAIS E URBANAS, NOS DISTRITOS DE LUMIAR E SÃO PEDRO DA SERRA – NOVA FRIBURGO (RJ). FONTE: SIDRA, 2010.	36
FIGURA 9: FOTOGRAFIA AÉREA 2717-3-NE DE 2005. FONTE: IBGE, 2008.	41
FIGURA 10: FOTOGRAFIA AÉREA 2717-3-NO DE 2005. FONTE: IBGE, 2008.	41
FIGURA 11: PÁGINA INICIAL DO SOFTWARE MAPREADY 2.0.13 E A IMAGEM A SER PROCESSADA.	43
FIGURA 12: CONVERSÃO DO FORMATO CEOS PARA O FORMATO GEOTIF NO SOFTWARE MAPREADY 2.0.13.	44
FIGURA 13: LINHA DE COMANDO E O PROCESSAMENTO DA CONVERSÃO EM AMBIENTE DOS, NO SOFTWARE MAPREADY 2.0.13.	44
FIGURA 14: IMAGEM DO SENSOR AVNIR-2, BANDA 1 DO SATÉLITE ALOS (2009).	45
FIGURA 15: IMAGEM DO SENSOR AVNIR-2, BANDA 2 DO SATÉLITE ALOS (2009).	45
FIGURA 16: IMAGEM DO SENSOR AVNIR-2, BANDA 3 DO SATÉLITE ALOS (2009).	46
FIGURA 17: IMAGEM DO SENSOR AVNIR-2, INFRAVERMELHO PRÓXIMO DO SATÉLITE ALOS (2009).	46
FIGURA 18: IMAGEM DO SENSOR PRISM, SATÉLITE ALOS (2009).	47
FIGURA 19: COMPOSIÇÃO RGB DO SENSOR AVNIR-2 (2009), SATÉLITE ALOS.	47
FIGURA 20: COMPOSIÇÃO FALSA COR DO SENSOR AVNIR-2 (2009), SATÉLITE ALOS.	48
FIGURA 21: ESTAÇÃO GEODÉSICA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO. FOTO: STELLA MENDES, 2010.	49

FIGURA 22: NIVELAMENTO DO DGPS. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	50
FIGURA 23: ESTAÇÃO DGPS ITINERANTE OBTENDO O PONTO DE CONTROLE. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	51
FIGURA 24: PONTO DE CONTROLE CORRESPONDENTE NA IMAGEM PRISM.	51
FIGURA 25: RECORTE DA IMAGEM AVNIR-2 E DAS IMAGENS PRISM, QUE SERÃO GEORREFERENCIADAS, CORRESPONDENTES A MACAÉ DE CIMA (MENDES, 2010).	52
FIGURA 26: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS 16 PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS PARA GEORREFERENCIAR AS IMAGENS PRISM E AVNIR-2 EM MACAÉ DE CIMA (MENDES, 2010). .	53
FIGURA 27: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO NA BACIA DO RIO BOA ESPERANÇA.	55
FIGURA 28: ANÁLISE DA GRANULOMETRIA DOS FINOS, SILTE E ARGILA, POR PIPETAGEM, SEGUNDO O MÉTODO DA EMBRAPA (1997). FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	57
FIGURA 29: ANÁLISE DA GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO SEGUNDO O MÉTODO DA EMBRAPA (1997). FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	58
FIGURA 30: AMOSTRAS NO DISPERSANTE QUÍMICO E NO AGITADOR. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	59
FIGURA 31: GRANULÔMETRO CILAS 1064. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	59
FIGURA 32 TRIÂNGULO TEXTURAL DE SOLO DE ACORDO COM LEMOS E SANTOS, 1996 E BASEADO NO TRIÂNGULO TEXTURAL DA USDA, 1993 (USDA, 1993; IBGE, 2003; EMBRAPA, 2006).	61
FIGURA 33: EQUIPAMENTO FORNO MUFLA UTILIZADO PARA A QUEIMA DA MATÉRIA ORGÂNICA A 500°C. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	63
FIGURA 34: AMOSTRAS DE SOLO ACONDICIONADAS NOS CADINHOS PARA DEFINIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E DO CARBONO ORGÂNICO. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	64
FIGURA 35: VISÃO PANORÂMICA DE PARTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	69
FIGURA 36: TRECHO DE FLORESTA OMBRÓFILA DENSA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	70
FIGURA 37: TRECHO DE FLORESTA OMBRÓFILA DENSA, ÁREA DE PASTAGEM E AGRICULTURA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010. .	70
FIGURA 38: ÁREA DE PASTAGEM SOBRE A ATUAÇÃO DA EROSÃO, LAMINAR E POR RAVINAS, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	71
FIGURA 39: ÁREA DE PASTAGEM SOBRE A ATUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	71
FIGURA 40: COLETA DE SOLO EM ÁREA DE PASTAGEM, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO. FOTO: FÁBIO LIMA, 2010.	72

FIGURA 41: EXECUÇÃO DO PROCESSO DE DELIMITAÇÃO DOS POLÍGONOS NO SOFTWARE ARCGIS 9.3 PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO.....	73
FIGURA 42: EXECUÇÃO DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍGONOS NO SOFTWARE ARCGIS 9.3 PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO.....	73
FIGURA 43: EXECUÇÃO DOS PROCESSOS DE SEGMENTAÇÃO E TREINAMENTO POR REGIÕES PARA A CLASSIFICAÇÃO NO SOFTWARE SPRING 5.1.4 PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO.	75
FIGURA 44: EXECUÇÃO DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO NO SOFTWARE SPRING 5.1.4 PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO.	75
FIGURA 45: EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA CALCULAR O GRAU DE DECLIVIDADE E O PERCENTUAL DE DECLIVIDADE DO RELEVO. FONTE: ADAPTADO DE USDA, 1993; BURROUGH E McDONELL, 1998; ESRI, 2010.....	76
FIGURA 46: ELABORAÇÃO DO MAPA DO GRAU DE DECLIVIDADE NO SOFTWARE ARCGIS 9.3.....	78
FIGURA 47: APRESENTA A EQUAÇÃO E O DIAGRAMA DA CURVATURA COM OS VALORES DE ELEVAÇÃO DE CADA CÉLULA, PARA A OBTENÇÃO DOS NOVE VALORES QUE COMPLETAM A FÓRMULA. FONTE: ESRI, 2010; ZEVEBERGEN, <i>ET AL.</i> , 1987; MOORE, <i>ET AL.</i> , 1991.	79
FIGURA 48: ELABORAÇÃO DO MAPA DE CONVERGÊNCIA E DIVERGÊNCIA DE FLUXO ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DA FERRAMENTA DE CURVATURA NO SOFTWARE ARCGIS 9.3.	80
FIGURA 49: ELABORAÇÃO DO MAPA DE ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DA FERRAMENTA DE ASPECTO NO SOFTWARE ARCGIS 9.3.....	82
FIGURA 50: EXECUÇÃO DO PROCESSO DE MODELAGEM, PIXEL A PIXEL, PARA A CLASSIFICAÇÃO TEXTURA NO SOFTWARE ARCGIS 9.3.	84
FIGURA 51: ELABORAÇÃO DO MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA, PARA O MAPA DE SUSCETIBILIDADE, ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DO INTERPOLADOR <i>SPLINE</i> COM BARREIRAS NO SOFTWARE ARCGIS 9.3.....	85
FIGURA 52: RECLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DE ACORDO COM AS NOTAS NO SOFTWARE ARCGIS 9.3., NOTA-SE OS TRECHOS DE AFLORAMENTO ROCHOSO NÃO FORAM PROCESSADOS.	87
FIGURA 53: RESULTADO RECLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DE ACORDO COM AS NOTAS NO SOFTWARE ARCGIS 9.3., NOTA-SE OS TRECHOS DE AFLORAMENTO ROCHOSO NÃO FORAM PROCESSADOS. .	87
FIGURA 54: MODELO DO LAYOUT DOS MAPAS TEMÁTICOS PROJETADO PARA A UTILIZAÇÃO NO SOFTWARE ARCGIS 9.3.....	90
FIGURA 55: GRÁFICOS ILUSTRATIVOS DA CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS DEZ PONTOS DE COLETA DO SOLO (A – PROFUNDIDADE DE 0-20 CM E B - PROFUNDIDADE DE 20-40 CM).....	94
FIGURA 56: GRÁFICO DA CURVA GRANULOMÉTRICA DOS DEZ PONTOS DE COLETA DO SOLO (PROFUNDIDADE DE 0-20 CM).....	95

FIGURA 57: GRÁFICO DA CURVA GRANULOMÉTRICA DOS DEZ PONTOS DE COLETA DO SOLO (PROFUNDIDADE DE 20-40 CM).....	95
FIGURA 58: MAPA DE USO DA TERRA BASEADO NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS DE 2005 (IBGE, 2008).	104
FIGURA 59: MAPA DE USO DA TERRA BASEADO NAS IMAGENS AVNIR DE 2009 (ALOS, 2009).....	105
FIGURA 60: MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	106
FIGURA 61: MAPA DE DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	108
FIGURA 62: MAPA DE FORMA DA ENCOSTA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	110
FIGURA 63: MAPA DE ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	112
FIGURA 64: MAPA DE SUSCETIBILIDADE DO SOLO A EROÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	114
FIGURA 65: MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	116

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: QUADRO DE IDENTIFICAÇÃO DAS BASES CARTOGRÁFICA E TEMÁTICA, PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA.....	39
TABELA 2: QUADRO DE IDENTIFICAÇÃO DAS IMAGENS DO SATÉLITE ALOS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA.....	40
TABELA 3: QUADRO DE IDENTIFICAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS UTILIZADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA.....	42
TABELA 4: QUADRO DA CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS EM FUNÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS.....	56
TABELA 5: QUADRO DA CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA. FONTE: ADAPTADO USDA, 1993.....	61
TABELA 6: QUADRO DA CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA, CONTINUAÇÃO. FONTE: ADAPTADO USDA, 1993.....	62
TABELA 7: QUADRO SIMPLIFICADO DA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA. FONTE: ADAPTADO USDA, 1993 E IBGE, 2003.....	62
TABELA 8: QUADRO SÍNTESE DAS CLASSES UTILIZADAS PARA A ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE USO DA TERRA.....	69
TABELA 9: QUADRO DOS VÉRTICES LIMITES DO POLÍGONO DA ÁREA DE ENTORNO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA.....	74
TABELA 10: QUADRO DE EXEMPLOS DA CORRELAÇÃO ENTRE OS VALORES DO GRAU DE DECLIVIDADE E DA DECLIVIDADE PERCENTUAL.....	77
TABELA 11: QUADRO DE VALORES DO GRAU DE DECLIVIDADE (ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA ENCOSTA).....	78
TABELA 12: QUADRO DE CARACTERIZAÇÃO DA ENCOSTA EM FUNÇÃO DO CÁLCULO DA CURVATURA OBTIDO PELO POLINÔMIO DE QUARTA ORDEM.....	80
TABELA 13: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA EM FUNÇÃO DO NORTE GEOGRÁFICO.....	81
TABELA 14: QUADRO DE CORRELAÇÃO ENTRE A CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA E AS CLASSES DE VULNERABILIDADE DO SOLO A EROÇÃO.....	83
TABELA 15: QUADRO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES DE SOLO E AS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE DO SOLO A EROÇÃO.....	85
TABELA 16: QUADRO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES DE SOLO E AS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE DO SOLO À EROÇÃO.....	86

TABELA 17: QUADRO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES DE SOLO E AS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE DO SOLO A EROÇÃO.	86
TABELA 18: QUADRO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES DE SOLO E AS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE DO SOLO A EROÇÃO.	86
TABELA 19: QUADRO DE CRITÉRIOS DE ATRIBUIÇÃO DE NOTAS PARA O FATOR SOLO (MAPA DE SUSCETIBILIDADE).....	88
TABELA 20: QUADRO DE CRITÉRIOS DE ATRIBUIÇÃO DE NOTAS PARA O FATOR USO DA TERRA (MAPA DE VULNERABILIDADE).	88
TABELA 21: QUADRO DE CRITÉRIOS DE ATRIBUIÇÃO DE NOTAS PARA O FATOR TOPOGRÁFICO.....	89
TABELA 22: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS (0-20 CM E 20-40 CM DE PROFUNDIDADE).....	93
TABELA 23: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS (0-20 CM E 20-40 CM DE PROFUNDIDADE).	96
TABELA 24: QUADRO DA RELAÇÃO ENTRE AS FRAÇÕES SILTE E ARGILA DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS (0-20 CM E 20-40 CM DE PROFUNDIDADE).....	97
TABELA 25: QUADRO DO PERCENTUAL DE MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO ORGÂNICO PRESENTE NAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS (0-20 CM E 20-40 CM DE PROFUNDIDADE).....	99
TABELA 26: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DAS DENSIDADES E DA POROSIDADE DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS (0-20 CM DE PROFUNDIDADE).	100
TABELA 27: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ, LIMITE DE PLASTICIDADE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS (0-20 CM E 20-40 CM DE PROFUNDIDADE).	101
TABELA 28: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA OBTIDO ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS DO ANO DE 2005.	103
TABELA 29: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA OBTIDO ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM AVNIR-ALOS DO ANO DE 2009.	103
TABELA 30: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE OBTIDO ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DO MAPA DE USO DA TERRA BASEADO NA IMAGEM AVNIR-ALOS DO ANO DE 2009.	103
TABELA 31: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.	107
TABELA 32: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DA FORMA DA ENCOSTA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.	109
TABELA 33: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.	111

TABELA 34: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DO SOLO A EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	113
TABELA 35: QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA ESPERANÇA, NOVA FRIBURGO-RJ.....	115

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. Objetivo Geral.....	8
2.2. Objetivos Específicos	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1. O conceito de Mata Atlântica	9
3.2. O conceito de Paisagem.....	11
3.3. O conceito de Sistema.....	15
3.4. O conceito de Vulnerabilidade, Suscetibilidade, Fragilidade Ambiental e Sensibilidade da Paisagem, Impacto Ambiental.	17
3.5. O conceito de Perigo e Risco.....	22
3.6. Processos Erosivos Causados Pela Água.....	25
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
5. METODOLOGIA.....	37
5.1. Aquisição de dados e processamento inicial.....	38
5.1.1. Aquisição da base cartográfica e base temática.....	38
5.1.2. Aquisição das imagens do satélite ALOS (AVNIR-PRISM)	40
5.1.3. Aquisição das fotografias aéreas.....	41
5.1.4. Processamento das imagens do satélite ALOS (AVNIR-2 / PRISM).....	43
5.2. Georreferenciamento das imagens do satélite ALOS.....	49
5.2.1. Realização de atividades de campo para georreferenciamento das imagens do satélite ALOS (AVNIR-2 / PRISM)	49

5.2.2. Processamento de dados das atividades de campo e de georreferenciamento	54
5.3. Coleta de amostras de solo.....	55
5.4. Análise de solo.....	56
5.5. Elaboração dos mapas temáticos	66
5.5.1. Critérios de elaboração dos mapas.....	66
5.5.2. Elaboração do mapa de uso da terra com base nas fotografias aéreas (2005) e das imagens AVNIR-2 (2009).....	68
5.5.3. Elaboração do mapa de declividade.....	76
5.5.4. Elaboração do mapa de convergência e divergência de fluxo	79
5.5.5. Elaboração do mapa de orientação da encosta.....	81
5.5.6. Elaboração do mapa de vulnerabilidade do solo.....	83
5.5.7. Elaboração do mapa de susceptibilidade do solo a erosão.....	84
5.6. Definição dos critérios para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental.....	88
5.7. Definição do layout dos mapas temáticos.....	90
6. RESULTADOS	91
6.1. Resultados das análises dos solos -.....	92
6.2. Mapa de uso da terra e vulnerabilidade do solo.....	102
6.3. Mapa de Declividade	107
6.4. Mapa de forma da encosta	109
6.5. Mapa de orientação da encosta	111
6.6. Mapa de susceptibilidade do solo a erosão	113
6.7. Mapa síntese de fragilidade ambiental.....	115
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
8. BIBLIOGRAFIA	118

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um bioma que se estende por toda a região litorânea do país, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, adentra algumas centenas de quilômetros para o interior do Brasil, atingindo a Argentina e o Uruguai, com uma área original de aproximadamente 1.300.000 km² (IBGE, 2008; MMA, 2010).

A degradação da Mata Atlântica vem ocorrendo desde o início da colonização portuguesa, tendo sido objeto das principais ações humanas que viabilizaram o processo de ocupação do Brasil, já que os primeiros espaços territoriais ocupados localizavam-se próximos à região costeira, e a primeira atividade econômica desempenhada na época era a exploração do pau-brasil.

Nessa época foi criada a primeira legislação florestal brasileira, o regimento do pau-brasil, de 1605, essa norma visava reger o acesso e a exploração do pau-brasil, mas com uma visão mercantilista, ou seja, a natureza tratada como mercadoria, o que praticamente levou à extinção do pau-brasil, através de uma extração predatória. O regimento do pau-brasil não tinha nenhum motivo de proteção das árvores, apesar de punir com rigor (pena de morte) os contrabandistas de madeira, o importante era proteger a madeira, que atendia o interesse dos portugueses no Brasil, frente aos holandeses e franceses (Miranda, 2004; Dean, 2007; Rodrigues *et al.*, 2009).

No século XVI, o processo de ocupação começa a se intensificar, surgem as primeiras vilas, o que motiva a primeira expansão agrícola que adotava o regime de derrubada e queimada, posteriormente, com a inserção do gado bovino o mesmo sistema motivou um avanço espacial para áreas localizadas após os limites das vilas. A pecuária bovina na região do Rio de Janeiro expandiu-se para leste, ao longo da costa, chegando até a foz do rio Paraíba do Sul (Dean, 2007, MMA, 2010).

A rápida expansão da área ocupada no século XVII indicou uma impiedosa dilapidação dos recursos florestais e degradação das terras utilizadas para a agricultura e para a pecuária, o que na época motivou os donatários a solicitarem novas terras para desempenharem suas atividades em novas áreas, pois as mesmas não eram mais produtivas, após uma média de uso de vinte anos (Dean, 2007).

As grandes descobertas de ouro, e de diamante, no Brasil no século XVIII foram responsáveis por mais uma grande degradação na Mata Atlântica, em função de uma invasão ampla e permanente, marcando o início de uma tendência irreversível e cumulativa de exploração. A degradação causada pela mineração foi mais intensa nas planícies aluviais, nos fundos dos rios e em sopés de montanhas.

Os impactos dos diferentes ciclos de culturas de exploração, do tipo *plantation*, vieram como o da cana-de-açúcar e, posteriormente, o do café, e também foram responsáveis pela degradação de grandes áreas de Mata Atlântica, através da derrubada e queimada de grandes áreas de floresta (MMA, 2010).

No decorrer do século XX, com o início do processo de transição do Brasil de um modelo econômico que era eminentemente agrário-exportador para um modelo urbano-industrial, motivou o aumento da pressão sobre os recursos naturais nas áreas ocupadas, em função de um novo patamar no processo de desenvolvimento brasileiro. O surgimento desse novo modelo de desenvolvimento e de integração nacional motivou o processo de industrialização e, conseqüentemente, de urbanização, com as principais cidades e metrópoles brasileiras assentadas hoje em uma área originalmente ocupada pela Mata Atlântica, que desde o século XIX, fundamentadas na doutrina higienista fizeram com que a vegetação natural fosse reduzida drasticamente (Benjamin, 2001; Rocha e Feldmann, 2006; Dean, 2007).

A Mata Atlântica vem, ao longo das últimas décadas do século XX, mobilizando diversos setores da sociedade, dentre os quais se destacam o incremento de instrumentos jurídicos, de planejamento e de gestão, para esse importante bioma brasileiro, que na história do nosso país, foi objeto das principais ações humanas responsáveis pelo processo de ocupação (Rocha e Feldmann, 2006; Dean, 2007).

Atualmente, o percentual de área Mata Atlântica original preservada corresponde a aproximadamente 8% (11,41% se forem somados os fragmentos com mais de 3 hectares), entretanto, para o Ministério do Meio Ambiente o percentual de área de Mata Atlântica preservada corresponde a aproximadamente 27%. Cabe ressaltar, que a base de referência da Fundação SOS Mata Atlântica, em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE, não contabiliza os pequenos fragmentos isolados. Já o levantamento realizado pelo Ministério da Meio Ambiente leva em consideração esses fragmentos (Rocha, 2006; PROBIO/MMA, 2007; SOS Mata Atlântica, 2010).

A partir da segunda metade do século XX o modo de enxergar a natureza vem sendo radicalmente alterado, com o avanço do desenvolvimento científico e profundas mudanças culturais, descobrimos que a natureza no teatro da vida somente opera como Sistema, isto é, como um todo holístico, integrado por elementos bióticos e abióticos (Benjamin, 2001; Rocha e Feldmann, 2006).

As atividades humanas estão, permanentemente, pondo em perigo a biodiversidade do planeta e a sobrevivência das espécies, o maior desses perigos é, sem dúvida, a degradação dos habitats por ações humanas, as mais variadas, especialmente aquelas dedicadas a dar aos solos usos “economicamente produtivos”, como na agricultura, pecuária, exploração de madeira, expansão urbana e especulação imobiliária. (Benjamin, 2001; Rocha e Feldmann, 2006).

Há muito tempo, o depauperamento dos solos causados pelas atividades humanas preocupa os cientistas, os políticos e os agricultores mais conscienciosos. Em muitos casos o homem se empenha em acelerar o empobrecimento das terras, como acontece, historicamente, na Mata Atlântica, através da derrubada da floresta, das queimadas desordenadas, da utilização de encostas íngremes para agricultura, muitas vezes aradas na direção de maior declividade, superpastoreio e terras cultivadas submetidas à monocultura (Lepsch, 2002).

A aceleração no ritmo da erosão produz condições anormais bastante claras, onde podemos destacar as ravinas, as voçorocas, pequenos movimentos de massa em estradas, perda da camada superficial do solo (argila e matéria orgânica), assoreamento de rios e inundação de cidades ribeirinhas e outras não tão claras, mas muito importantes, como a perda gradual da fertilidade do solo e a erosão laminar (Guerra, 1999 e Lepsch, 2002).

Nessa perspectiva, Boardman (2006) apresenta as limitações nas aproximações atuais em determinar a erosão do solo. Ele aponta que até agora os cientistas falharam ao explicar algumas questões sobre a erosão, como por exemplo: Onde a erosão está ocorrendo? Por que está acontecendo? Quem é responsável? Qual o grau de seriedade? Quem está sendo afetado? Qual deve ser a resposta? Nós podemos impedi-la? Quais são os custos da erosão? Nossa inabilidade ou relutância em responder tais perguntas, prejudica a nossa credibilidade e quando existe uma tentativa de respondê-las geralmente são baseadas em aproximações gerais, em escalas espaciais e temporais que necessitam de muita pesquisa (Boardman, 2006).

A tentativa histórica em responder tais questões, motivaram a elaboração de modelos para estimar a quantidade de material erodido, das quais podemos destacar, Equação

Universal da Perda de Solo - USLE (Wischmeier e Smith, 1978), a versão revisada Equação Universal da Perda de Solo - RUSLE (Renard *et al.*, 1997), Modelo de Erosão Para as Regiões do Mediterrâneo - SEMMED (De Jong, 1994), Projeto de Predição da Erosão da Água - WEPP (Gronsten & Lundekvam, 2006), alguns estudos ambientais utilizaram como ferramenta o Geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográfica – SIG, através da criação de modelos com o objetivo de identificar áreas com alto potencial erosivo (Le Bissonnais, *et al.*, 2001, Fugihara, 2002, Kheir, 2006 e Holmes, 2007), existem outros modelos que tem como objetivo identificar áreas de alto risco de ocorrência de movimentos de massa (Schulz, 2004; Van Westen, *et al.*, 2005 e Van Westen, *et al.*, 2008).

Cabe ressaltar, que nós temos dificuldade no reconhecimento, descrição e quantificação da erosão. Os modelos existentes provaram ser de valor limitado na realidade, ao contrário do mundo acadêmico, em ambos os casos por causa dos problemas com a confiabilidade de seus resultados, e em dificuldades (custos elevados) de adquirir dados apropriados.

Mas, existem alguns sinais positivos, os modelos que estão sendo desenvolvidos agora, para diversas finalidades, incluem os impactos do uso da terra fora do local onde são gerados (idéia de conectividade), utilizam métodos mais baratos e confiáveis, mas também necessitam técnicas mais simples de avaliação da erosão em campo.

De acordo com estas definições, o resultado da erosão se processa através da interação de numerosos fatores. Modelar é difícil por causa da complexidade destas interações, mas uma constante é que quatro fatores devem ser considerados como fundamentais, são eles, os solos, a topografia, o uso da terra e o clima.

Lepsch (2002) e Guerra (1999) reforçam a idéia de que a suscetibilidade do solo à erosão hídrica depende de uma série de fatores, dos quais os mesmos destacam o clima da região, o tipo de solo, o grau de declividade do terreno e o uso e manejo do solo (Guerra, 1999; Lepsch, 2002; Araújo *et al.*, 2005).

Duas etapas devem ser distinguidas na modelagem dos processos e dos riscos da erosão. A primeira compreende a seleção dos fatores e dos parâmetros representativos para estes fatores, já a segunda baseia-se na escolha do modelo e do procedimento a ser seguido, mas ambas as etapas são dependentes (Boardman, 2006).

Com o advento das geotecnologias e com o aprimoramento das técnicas de análise espacial, diversos estudos começaram a seguir essa trajetória, trabalhos como (Bonham-

Carter, 1994, Meneses, 2000 e 2002, Kheir, 2006; Van Westen, *et. al.*, 2008) mostram que a modelagem constitui um procedimento teórico, que envolve um conjunto de técnicas com a finalidade de compor um quadro simplificado e inteligível do mundo, como atividade de reação do homem em face à complexidade aparente do mundo que o envolve.

Essa dissertação apresenta uma metodologia que busca espacializar a problemática resultante da erosão do solo, relacionando os parâmetros em um modelo que utilizará técnicas de geoprocessamento, para correlacionar as variáveis.

A bacia piloto, bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, está localizada, no município de Nova Friburgo, que segundo a fundação SOS Mata Atlântica (2010), conta com 44% de sua área com remanescentes florestais da Mata Atlântica, essa bacia é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Macaé (Figura 01).



Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo (RJ).

Os modelos são claramente facilitadores da análise espacial, mas exigem um desenvolvimento contínuo. Através dos modelos, podemos determinar as áreas em que as taxas da erosão excedem algum ponto, gerando um grande risco, ou estimar as taxas da erosão

nos lugares onde nós não temos nenhum dado de erosão, ou prever as taxas de erosão para o futuro alterando algumas circunstâncias, como o uso da terra ou o clima (Christofoletti, 2004; Boardman, 2006).

Cabe ressaltar, que não devemos esperar que os modelos reproduzam a realidade, pois a função de um modelo é simplificar a realidade e podem, no melhor dos casos, simplesmente fornecer estimativas sobre um determinado processo.

Nesse sentido, os modelos têm que ser baseados em dados da boa qualidade, no conhecimento e na utilização precisa dos conceitos de vulnerabilidade, suscetibilidade, perigo e riscos, assim como no reconhecimento dos impactos ambientais gerados fora do local, em função da sensibilidade da paisagem.

Dessa forma, para explicar o problema da erosão do solo ou mais amplamente, a degradação da terra, o estudo será baseado na interação de dois componentes, a paisagem e os seres humanos. Entretanto, quando estudamos a paisagem dita natural verificamos que a mesma é transformada, tanto por intervenções humanas, quanto pelas forças da natureza (Boardman, 2006).

O desafio é generalizar e simplificar sem perder de vista a base observacional, para a elaboração de um mapa síntese que expresse a característica da área de estudo, no caso, a fragilidade ambiental à erosão.

Diante desse panorama histórico de degradação da Mata Atlântica e depauperamento dos solos, acarretado pelo processo de ocupação brasileira, essa dissertação visa analisar e identificar as áreas de maior fragilidade ambiental aos processos erosivos, causados pela água durante o escoamento superficial, sobre a perspectiva de responder algumas das perguntas levantadas por Boardman (2006).

Na última década, a bacia hidrográfica do rio Macaé vem sendo analisada por diversos estudos do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos – LAGESOLOS da UFRJ, dos quais podemos destacar os trabalhos de Moté (2008), que definiu e caracterizou as unidades de paisagem, através da correlação entre o uso da terra e a geomorfologia como fator de delimitação, Assumpção (2009) que mapeou e analisou as alterações ocorridas nos canais fluviais, para dois períodos 1968 e 2000, e discutiu as implicações dessas modificações na dinâmica hidrossedimentológica na bacia hidrográfica, Lima (2009) que avaliou a suscetibilidade dos solos do alto e médio curso da bacia do rio Macaé em relação aos processos erosivos superficiais, Lima (2010) que avaliou a

conectividade dos ambientes fluviais e as suas respectivas implicações no sistema de drenagem da bacia, e Mendes (2010) que avaliou a dinâmica da paisagem em unidades de conservação, realizando um estudo na Área de Proteção Ambiental Macaé de Cima (Moté, 2008; Assumpção, 2009; Lima, 2009; Lima, 2010 e Mendes, 2010).

O presente trabalho tem como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, que vem sofrendo um processo de pressão com um aumento da área urbanizada, assim como, a identificação de novas áreas de agricultura, algumas ainda utilizando a prática da queimada para “limpeza” do terreno e pastagens em processo de degradação pelos limiares da erosão.

Nesse sentido, a dissertação apresenta uma revisão conceitual, através da definição dos termos utilizados nessa análise ambiental, Mata Atlântica, Paisagem, Vulnerabilidade, Suscetibilidade, Riscos e Perigo, também apresenta uma caracterização da área de estudo sob a perspectiva da análise integrada fundamentada na visão sistêmica e na concepção holística, apresenta também a caracterização dos solos através da variação e distribuição dos parâmetros físicos e em função da classificação utilizada.

Cabe ressaltar que a dissertação será concluída com a análise da fragilidade ambiental em função dos processos causados pela água durante o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança através da utilização do geoprocessamento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral da dissertação é identificar a problemática gerada pelas atividades exercidas pela sociedade no desencadeamento dos processos erosivos, causados pela água durante o escoamento superficial, através da correlação espacial de mapas temáticos, de trabalho de campo e de análises em laboratório, utilizando o geoprocessamento, como ferramenta importante para uma análise espacial de uma bacia hidrográfica piloto.

2.2. Objetivos Específicos

Elaborar mapas temáticos que contribuirão para a análise das variáveis que influenciam os processos erosivos causados pela água, através de uma correlação espacial.

Utilizar as técnicas de sensoriamento remoto para adquirir, manipular e gerar dados a serem relacionados no sistema de informações geográficas – SIG.

Utilizar as técnicas de geoprocessamento para adquirir, manipular, interpolar e gerar dados a serem relacionados no sistema de informações geográficas – SIG.

Elaborar um diagnóstico da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, avaliando a susceptibilidade à erosão, através de análises físicas dos solos.

Elaborar um mapa síntese de áreas com maior fragilidade ambiental, relacionando a textura do solo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997 e 2006) e Lemos e Santos (1996) no Manual de Pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2003), ambas baseadas na classificação da *United States Department of Agriculture* – USDA (1993).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O conceito de Mata Atlântica

A expressão Mata Atlântica, que corresponde ao Bioma Mata Atlântica, abrange “um conjunto de formações florestais, além de campos naturais, restingas, manguezais, outros tipos de vegetação, que formam paisagens diferentes, belas e biodiversas”. Cabe salientar que originariamente, as formações fisionômicas e ecossistemas associados que compõe o Bioma Mata Atlântica abrangiam, total ou parcialmente, 17 estados brasileiros, com uma área total de aproximadamente 1.300.000 km² (MMA, 2010).

Esse bioma vem ao longo das últimas décadas do século XX mobilizando diversos setores da sociedade, dentre os quais destacam-se o incremento de instrumentos jurídicos, de planejamento e de gestão, para esse importante Bioma brasileiro. Dos quais podemos destacar o artigo 225, § 4, da Constituição da República Federativa do Brasil, a lei 11.428/2006 (Lei da Mata Atlântica), artigo 2º, que remeteu ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a incumbência de elaboração do Mapa, delimitando as formações florestais e ecossistemas associados passíveis de aplicação da Lei, conforme regulamentação, assim como inúmeras resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Atendendo ao disposto nas normas legais o IBGE elaborou o “Mapa da Área de Aplicação da Lei no 11.428, de 2006” que teve como base técnica o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004) e o Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação (IBGE, 2004), esse mapa foi elaborado na escala 1:5.000.000 e mostra a cobertura vegetal conforme sua configuração original e a apresenta a distribuição das distintas tipologias que integram a área passível de aplicação da Lei.

A localização dos remanescentes de vegetação nativa das diferentes tipologias vegetais, a identificação dos seus respectivos estágios sucessionais, a identificação da vegetação primária e da vegetação secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração deverá ser feito em observância com os dispositivos legais.

Dessa forma, o decreto de regulamentação nº. 6.660/2008, que foi baseado na caracterização do IBGE (2004), define a Mata Atlântica como uma área que:

“contempla a configuração original das seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; campos de altitude; áreas das formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais; refúgios vegetacionais; áreas de tensão ecológica; brejos interioranos e encraves florestais, representados por disjunções de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual; áreas de estepe, savana e savana-estépica; e vegetação nativa das ilhas costeiras e oceânicas”.

Cabe salientar que atualmente esse bioma apresenta-se bem reduzido, segundo a informação do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, elaborado pelo SOS Mata Atlântica em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (SOS/INPE, 2008) apontem para uma área remanescente de aproximadamente 8,8%, os dados do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica do Ministério do Meio Ambiente (PROBIO/MMA, 2006) são mais otimistas e apontam para uma área remanescente de 27 %. Embora, os dados estatísticos sejam diferentes, podem ser explicados em função das questões metodológicas, dos critérios de caracterização e de elaboração dos mesmos (PROBIO/MMA, 2006, SOS/INPE, 2008; MMA, 2010).

Cabe ressaltar que apesar dessa variação os dois estudos convergem no aspecto da importância desse bioma, pois nos fragmentos e/ou nos remanescentes do Bioma Mata Atlântica ainda são encontrados altos índices de biodiversidade de fauna e de flora, assim como a prestação de serviços ambientais de grande importância, tais como, a proteção dos mananciais hídricos, a regulação dos fluxos hídricos, a contenção das encostas, a redução dos processos erosivos e redução do assoreamento (Pagiola *et al.*, 2005; SOS Mata Atlântica, 2008; MMA, 2010).

3.2. O conceito de Paisagem

O conceito de paisagem está sendo revalorizado na geografia, mas a primeira concepção desse conceito baseava-se no aspecto estético, ligado às artes em especial às pinturas da época medieval, posteriormente, no século XVI, o trabalho humano como modificador do espaço passa a ser expresso nos quadros e a noção do homem como modificador da natureza rompe essa visão medieval. Atualmente, o conceito de paisagem passa a ter um arbítrio de composição, que de maneira geral, corresponde à escolha de um recorte, no qual é possível incluir ou excluir coisas, de acordo com o objeto que vai ser demonstrado, mas para isso você terá que explicar exatamente o que está sendo colocado, pois só assim você possibilitará que os outros verifiquem o “seu ponto de vista” e a subjetividade empregada na questão em função dos elementos que entraram na análise (Bólos, 1981; Berque, 1985; Christofolletti, 1999; Mateo, 2004; Guerra e Marçal, 2009).

Mateo (2004), baseado nos trabalhos de Rougerie e Beroutchatchvili (1991) aprofunda esse panorama geral e detalha as etapas de evolução do conceito de paisagem em diversos períodos, o primeiro compreendido entre os anos de 1850 e 1920, corresponde ao surgimento das primeiras idéias físico-geográficas e de interações entre os fenômenos, assim como, as primeiras formulações de paisagem como noção científica, introduzidas por Alexander von Humboldt (1812 e 1848) e posteriormente Richthofen (1886).

Segundo Gomes (2003), Humboldt em cada parte de sua obra consegue correlacionar os dados obtidos nas ciências experimentais demonstrando que a ciência moderna não significava uma simples justaposição de conhecimentos, pois todo o seu trabalho era dirigido para um esforço de síntese e integração ao sistema geral que ele chamava de “física do mundo” (Gomes, 2003; Mateo, 2004).

Para Christofolletti (1999), a partir do século XIX o termo paisagem passou a receber diversas conotações científicas, associadas a características de lugar ou de território e se expande pelos países europeus, dos quais podemos destacar a França, a Alemanha e a Antiga União Soviética, assim como nos Estados Unidos da América, mas nem sempre esse termo apresentava o mesmo significado (Christofolletti, 1999; Guerra e Marçal, 2009).

Cabe ressaltar que para Christofolletti (1999), em especial, “na virada do século XIX, a conceituação de paisagem apresenta suas bases estabelecidas como Ciência da Paisagem, a

partir de uma ótica territorial, como expressões espaciais submetidas às leis científicas” (Christofoletti, 1999; Guerra e Marçal, 2009).

Christofoletti (1999) destaca que no início do século XX a descrição dos aspectos físicos da paisagem era uma tendência, que era superior aos aspectos das atividades socioeconômicas.

O segundo período apontado por Mateo (2004) está compreendido entre os anos de 1920 e 1930, que é caracterizado pelo desenvolvimento biogeomorfológico que foi responsável por inserir as noções de interação entre os componentes da paisagem. Carl Sauer, em 1925, define o termo paisagem como um organismo complexo, constituído através da associação das formas e da análise morfológica, baseada na interdependência entre os diversos fatores constituintes (Guerra e Marçal, 2009).

Na década de 1950, a Ecologia da Paisagem proposta por Carls Troll tentou reagrupar os elementos da paisagem sem esquecer-se do ser humano, ou seja, enfatiza a interação entre modelos espaciais e processos ecológicos, através da determinação da causa e consequência estabelecida pela heterogeneidade espacial (Caseti, 2005; Guerra e Marçal, 2009).

Nesse sentido, Caseti (2005) explica que “Carls Troll sintetiza a paisagem como uma combinação dinâmica dos elementos físicos e humanos, conferindo ao território uma fisionomia própria, com habitual repetição de determinados traços”.

Cabe ressaltar que Mateo (2004) caracteriza o período compreendido entre 1930 e 1955, ao desenvolvimento das concepções físico-geográficas, dos conceitos e da diferenciação das escalas de análise das paisagens, principalmente em função dos trabalhos de Tuxem, no início da década de 30 do século XX, que utilizaram a abordagem geossistêmica no estudo da paisagem, e os trabalhos de Budell, nas décadas de 50 e 60 do século XX, que baseado nas relações climatogenéticas apresentaram estudos de geocologia para a ordenação ambiental do espaço (Mateo, 2004; Caseti, 2005).

Mateo (2004) explica ainda que o período compreendido entre 1955 e 1970 marcou o início da análise estrutural-morfológica que tinha como característica a hierarquização taxonômica em diferentes escalas espaciais, seja a nível regional, seja a nível local. Mas a partir da década de 1970 houve a introdução dos métodos sistêmicos e quantitativos no estudo da paisagem, através de uma análise funcional, esse período foi responsável pelo desenvolvimento da ecologia da paisagem (Mateo, 2004; Caseti, 2005).

Nesse mesmo período, de acordo com Bertrand (1971), a análise da paisagem deve ser

a combinação dos elementos sob uma perspectiva sistêmica, não só a simples soma das partes e sim a combinação dos elementos físicos, biológicos e antropicos, e as suas respectivas inter-relações. Esse autor apresenta ainda a idéia de organização por unidades articuladas por níveis denominadas unidades geográficas globais, que eram constituídas por interações complexas que participam de uma dinâmica comum.

Mateo (2004) complementa essa idéia explicando que a análise da Paisagem para a Geografia da Paisagem, baseia-se em um enfoque geográfico físico complexo, no qual a regionalização, tipologia e limite espacial das unidades são objetos de estudo. Já para a Geoecologia da Paisagem, que teve seu desenvolvimento após 1985, a atenção volta-se para a inter-relação dos aspectos estrutural-espacial e dinâmico-funcional das paisagens, integrando as concepções biológicas e geográficas sobre as paisagens.

Para Bólos (1981), o objetivo do estudo da geografia e da paisagem deve ser visto como uma realidade integrada, onde os elementos abióticos, bióticos e antrópicos aparecem associados de tal maneira, que os conjuntos podem ser trabalhados como um modelo de sistema (Guerra e Marçal, 2009).

A “paisagem”, segundo Mateo (2004), pode ser definida como um conjunto inter-relacionado de formações naturais e antroponaturais, na qual a mesma pode ser considerada como um sistema que contém e reproduz recursos que podem ser influenciadas pelas atividades humanas. A paisagem pode ser caracterizada através na homogeneidade na composição dos elementos que a integram, e o caráter de suas interações e inter-relações, do caráter sistêmico e complexo de sua formação, pelos fluxos de substâncias, energia e informação que determinam o seu funcionamento e da homogeneidade em função da relação espacial das paisagens.

Cavalcanti e Mateo (1997) definem que a ciência da paisagem, apesar dos esforços integradores da noção de paisagem, apresenta três diferentes direções, das quais se destacam a Geografia da Paisagem, a Ecologia da Paisagem e a Geoecologia da Paisagem. Cabe salientar que muitos autores identificam similaridades de concepção entre a Ecologia da Paisagem e a Geoecologia da Paisagem. Cabe salientar que três aspectos devem estar presentes na discussão do conceito de paisagem, o aspecto estético, a transformação da natureza e a escolha dos elementos que serão analisados.

Dessa forma, a abordagem que será utilizada nessa dissertação, em função da incorporação da dimensão ambiental ao processo de desenvolvimento, planejamento e gestão,

é baseada na relação objeto-sujeito e nos métodos de análise geossistêmica sobre a perspectiva holística, será a Geoecologia da Paisagem ou Ecologia da Paisagem.

3.3. O conceito de Sistema

A palavra da língua portuguesa sistema corresponde à junção do advérbio *sýn* - todos juntos, com o verbo *hístêmi*, colocar, significando o conjunto construído. Cabe ressaltar que esse termo, no grego clássico, significava a idéia de uma totalidade construída, composta de várias partes, sempre nessa ampla conotação originária de conglomerado (Abbagnano, 2003; Pena, 2007).

A partir do século XVII, a maioria das definições de sistema é baseada em duas características, a inter-relação dos elementos e a unidade constituída pelos elementos em inter-relação. Cabe ressaltar que Emmanuel Kant defendia a noção de sistema como um modelo orgânico, segundo essa concepção o sistema era entendido como algo que iria além da mera soma de seus elementos (Ferraz, 2003).

De acordo com Georg Wilhelm Friedrich Hegel, no início do século XIX, o termo sistema passa a ser reivindicado, com muita ênfase, e de certa forma, com uma significativa exclusividade pela filosofia, cabe salientar que essa reivindicação pregava o abandono com a ciência (Ferraz, 2003; Pena, 2007).

A partir do século XIX “a idéia de sistema percorreu todos os campos da ciência, penetrou no senso comum, fez-se presente na linguagem cotidiana e alcançou os meios de comunicação de massa.” Atualmente, o conceito de sistema “corresponde ao conjunto integrado de elementos interdependentes, estruturado de tal forma que esses possam relacionar-se para a execução de determinada função” (Fitz, 2008).

Dessa forma, através do desenvolvimento técnico e tecnológico que se deu, especialmente nos domínios da computação, da automação e da cibernética, somado à busca da máxima eficiência com o menor custo, atribuiu ao olhar a percepção do fenômeno da complexidade. Não só porque os elementos produtivos e os produtos vão se tornando cada vez mais complexos, mas também porque passam a suscitar novos problemas, que exigem soluções diferentes das anteriormente encontradas (Pena, 2007).

O enfoque se desloca para as relações e interações a olhar deixam de abordar cada componente de forma separada, ou seja, de maneira fragmentada, passando a abordar o conjunto. “A abordagem sistemática impõe ao conjunto a expressão, ao mesmo tempo, de unidade e multiplicidade, totalidade e diversidade, organização e complexidade.” (Benjamin, 2001; Fitz, 2008).

Nesse sentido, a palavra sistema remete à noção de um todo composto de partes entre si relacionadas, que compreendem duas dimensões: (i) conjunto de elementos interconectados ou inter-relacionados formando um todo complexo e (ii) conjunto de regras ou princípios sobre uma matéria racionalmente ligados entre si (Christofolletti, 1999; Pena, 2007).

“A percepção ou concepção contemporânea da idéia de sistema encontra fundamento no reconhecimento da complexidade da realidade e na constatação da insuficiência da sobreposição, a essa realidade, de uma visão estática, analítica ou cartesiana, segundo a imposição estanque de rijos recortes de partes para exposição a diferentes e autônomas disciplinas de abordagem” (Pena, 2007).

A compreensão dessa concepção pressupõe a aproximação, não pelos elementos constituintes ou substâncias básicas de um fenômeno, processo ou fato, mas pelos princípios organizativos desse mesmo sistema, natural ou não: a idéia de sistema compreende unidades totalizantes constituídas por elementos básicos inter-relacionados de tal forma que, em e por suas relações, compõem uma realidade que ultrapassa a mera soma das partes. Assim, a identidade e a singularidade de um sistema podem ser encontradas em seus princípios de conformação e união, transcendendo, portanto, os seus elementos componentes (Pena, 2007).

A idéia de sistema expressa à descrição do funcionamento de processos que não podem ser adequadamente analisados por meio de seus distintos elementos constituintes, pois nem mesmo a natureza de cada elemento é uma propriedade separada e independente de outros elementos, ao revés, é uma propriedade que surge, ao menos em parte, do próprio relacionamento entre os elementos (Ferraz, 2003).

O novo paradigma da Teoria Geral dos Sistemas abriu novas e inúmeras possibilidades, das quais se destacam dois ramos principais: o primeiro refere-se à idéia de unidade do conhecimento, ou seja, percebe os estudos sobre sistemas fundados na idéia de que o modelo sistemático pode ser aplicado a qualquer campo do conhecimento; e o segundo concebe o conceito do sistema sob o prisma da complexidade, substituindo o foco num conjunto de elementos pela óptica da interação entre os elementos, ou seja, através de uma abordagem holística (Benjamim, 2001; Fitz, 2008).

3.4. O conceito de Vulnerabilidade, Suscetibilidade, Fragilidade Ambiental e Sensibilidade da Paisagem, Impacto Ambiental.

Os termos que serão apresentados neste item, assim como seus conceitos básicos ainda não possuem definições unânimes entre os seus usuários. Cabe ressaltar que tais conceitos são utilizados na análise ambiental por diferentes áreas do conhecimento, como por exemplo, na geografia, geologia, biologia, oceanografia, engenharia florestal e engenharia ambiental.

A palavra vulnerável corresponde ao lado fraco de um assunto ou uma questão ou do ponto por onde algo pode ser atacado (Weiszflog, 2007; Ferreira, 2008). Já a expressão vulnerabilidade ambiental consiste em qualquer conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que, diante das atividades ocorrentes, ou que venham a se manifestar, poderá sofrer adversidades e afetar, de forma vital, total, ou parcial, a estabilidade ecológica da região em que ocorre (Macedo, 1995). Entendem-se como fatores ambientais todo e qualquer elemento constituinte da estrutura de um ecossistema, que se relaciona de maneira isolada com os outros fatores, ou de forma integrada e abrangente com o ecossistema da qual o elemento constituinte faz parte (Macedo, 1995).

Dessa forma, a expressão vulnerabilidade ambiental indica o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma área passível de ser afetada por um fenômeno, ou por um determinado processo (Brasil, 2007a).

Marandola e Hogan (2004) explicam que o termo vulnerabilidade nas diferentes abordagens científicas está correlacionado, simultaneamente, com o conceito de risco. Para esses autores “Isto se deve pelo fato da vulnerabilidade aparecer no contexto dos estudos sobre risco, num primeiro momento em sua dimensão ambiental e só mais tarde no contexto socioeconômico” (Marandola e Hogan, 2004)

A dimensão ambiental da vulnerabilidade está correlacionada às abordagens que apresentam uma forte orientação empírica, as preocupações diretas sobre a interação espaço-temporal específicas, assim como a problemática relacionada ao planejamento e à gestão (Marandola e Hogan, 2004).

Cutter (1996) explica que existem três posições ou tendências sobre a vulnerabilidade; são elas:

I - vista como uma condição pré-existente – essa posição é caracterizada em estudos que tem como objetivo “focar a distribuição da condição perigosa, da ocupação humana em

zonas perigosas (áreas costeiras, zonas sísmicas, planícies inundáveis) e o grau de perdas (de vida e propriedade) associado com a ocorrência de um evento particular (inundação, furacão, terremoto). Cabe salientar que os estudos sobre a vulnerabilidade de acordo com essa concepção são aferidos e consideram “a magnitude, duração, impacto, frequência e as características biofísicas gerais e da exposição ao fenômeno”;

II - vista como uma resposta controlada - essa posição está baseada nas respostas da sociedade, incluindo a resistência e resiliência social para com os perigos (hazards), portanto, esta tendência concentra-se na construção social da vulnerabilidade, e em seus fatores culturais, econômicos, políticos e sociais, condicionantes das respostas individuais e coletivas

III - vista como um perigo existente em um determinado lugar – essa posição, que a autora defende, é atualmente a concepção predominante e mais geograficamente centrada, pois o perigo de um determinado lugar é uma perspectiva mais conjuntiva.

Cabe ressaltar que a vulnerabilidade vista como perigo, ou diferentes perigos, incorpora e mensura “o risco biofísico (ambiental), a produção social do risco e as capacidades de resposta, tanto da sociedade (grupos sociais) quanto dos indivíduos” (Marandola e Hogan, 2004).

Harold Brookfield (1999) propõe, dessa forma, que o estudo sobre a vulnerabilidade seja focado na resistência e sensibilidade do ambiente e não partindo da causa social da vulnerabilidade, pois uma abordagem assim, em sua opinião, pode acabar mascarando as causas naturais envolvidas no processo.

Cutter (1996) explica ainda que as relações existentes entre o risco, as ações de mitigação (respostas e ajustamentos) e a vulnerabilidade do lugar, quando os elementos são devidamente definidos e correlacionados permitem uma análise aprofundada.

“Os vários elementos que constituem a vulnerabilidade interagem para produzir a vulnerabilidade de lugares específicos e dos habitantes desses lugares (parte superior). Esta vulnerabilidade pode mudar ao longo do tempo (parte inferior) com mudanças no risco, mitigação e contextos dentro dos quais perigos ambientais ocorrem.” (Cutter, 1996)

Nesse sentido, com base no exemplo da autora podemos ter a seguinte questão: com o aumento das ações mitigadoras em um determinado lugar e em um determinado tempo ($T - 0$), que poderá significar a diminuição do risco e, conseqüentemente, implicar na diminuição da vulnerabilidade do lugar ($T - n$), pois o lugar passará a ser mais protegido e menos exposto.

A expressão suscetibilidade ambiental refere-se à probabilidade de que um processo natural pode afetar uma área com uma determinada intensidade. Deste modo, a expressão suscetibilidade ambiental indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência (Brasil, 2007).

Entretanto, apesar de muitos autores apontarem a vulnerabilidade e a suscetibilidade como expressões semelhantes existem diferenças que são significativas para o entendimento dos processos erosivos. Pois algo que é suscetível é passível de receber modificações, não sendo necessariamente vulneráveis, que indica uma área de menor resistência ou um ponto que pode ser atacado.

O termo fragilidade corresponde a uma instabilidade, um ponto de fraqueza e a falta de resistência derivam do termo frágil e da necessidade de cuidados para se conservar. Já o termo potencialidade sob o ponto de vista gramatical deriva da palavra potencial, que serve para designar a possibilidade de execução baseadas no conjunto dos recursos de que uma determinada atividade dispõe, na capacidade de execução de um determinado trabalho, da produção e da ação envolvida no processo (Weiszflog, 2007; Ferreira, 2008).

Cabe salientar que os termos potencialidade e fragilidade são inversamente proporcionais, quando uma área tem uma alta fragilidade a determinado fator, a potencialidade é baixa, pois o risco é maior.

Dessa forma, a expressão fragilidade ambiental corresponde à hierarquização de áreas de acordo com seus diferentes níveis de suscetibilidade à degradação e, por meio dessa hierarquização, é possível apontar as áreas onde os graus de fragilidades são mais baixos, ou onde os graus de potencialidade são mais elevados, possibilitando usos mais intensivos, assim como áreas mais frágeis, onde são necessárias ações mais cautelosas e de baixo impacto (Franco, 2008).

Ross (1994) estabelece a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais, ou dos ambientes sobre forte influência antrópica (antropizados), compreendendo a fragilidade

potencial, que relaciona os fatores naturais da paisagem e a fragilidade emergente, relacionando a fragilidade potencial com a cobertura do solo e as intervenções antrópicas. Dessa forma, Ross propõe uma taxonomia dos ambientes fundada no grau de estabilidade ou instabilidade da morfodinâmica atual. (Ross, 1994; Franco, 2008).

Já expressão sensibilidade da paisagem ou sensibilidade ambiental, pode ser empregada de várias formas, mas sempre é uma resposta à influência de agentes externos, os quais podem ser bastante variados, tanto incluindo fenômenos naturais, quanto àqueles induzidos pelas atividades humanas. Esse termo consiste em analisar as suscetibilidades de uma determinada área, em função das atividades ocorrentes ou que venham a se manifestar em outra área, alterando a qualidade dos ecossistemas, geralmente, afetados por uma ação antrópica que se manifestem em uma determinada área, afetando de forma vital, ou total, ou parcial, a estabilidade ecológica de outra área (Thomas e Allison, 1993; Brandt, 2000).

O termo impacto corresponde a uma a ação ou efeito de impactar o meio em que vivemos ou em que estamos que corresponde ao ambiente social e ao ambiente físico, que inclui os fatores, como por exemplo, o solo, clima, relevo, vegetação (Weiszflog, 2007; Ferreira, 2008).

O conceito de impacto ambiental pode ser caracterizado como a alteração no meio ambiente, ou em algum de seus componentes, por determinada ação ou atividade. Estas alterações precisam ser quantificadas, pois apresentam variações relativas, podendo ser positivas ou negativas, grandes ou pequenas, dependendo da intervenção ou atividade desenvolvida.

Como definição técnica, pode-se considerar impacto ambiental como o conjunto das repercussões conseqüentes da alteração da qualidade e da quantidade do meio ambiente. Cabe salientar que para o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA,

“considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais” (CONAMA, 1986).

Segundo Custódio (1995), a avaliação de impacto ambiental, está direta ou indiretamente relacionada à preservação do meio ambiente e é um importante instrumento para a utilização dos meios naturais e o uso do solo, sem a destruição do mesmo.

Os impactos ambientais podem ser agrupados em dois grandes grupos: os impactos ambientais locais *onsite*, são áreas que sofreram impactos diretos oriundos dos fenômenos (processos erosivos) decorrentes de alterações ambientais; já os impactos ambientais *offsite*, ou seja, os impactos que afetam áreas fora do local de origem da degradação, consistem em áreas afastadas dos fenômenos (processos erosivos) que mesmo distantes sofrem os impactos do mesmo (Macedo, 1995; Talk *et al.*, 1995; Abdon; 2004).

Os impactos *onsite* são efeitos referentes à degradação do ambiente pela atuação dos processos erosivos no local, onde podemos destacar a remoção da cobertura vegetal, a diminuição do teor de matéria orgânica e da fertilidade do solo que diminuem a resistência, favorecendo a ação do impacto das gotas da chuva e o início dos processos erosivos (Macedo, 1995; Talk *et al.*, 1995; Abdon; 2004).

Os impactos *offsite* são efeitos referentes à degradação do ambiente pela atuação dos processos erosivos fora do local, onde podemos destacar a deposição dos sedimentos erodidos, que causam, por exemplo, o assoreamento de rios, lagos e reservatórios (Macedo, 1995; Talk *et al.*, 1995; Abdon; 2004).

3.5. O conceito de Perigo e Risco

A geografia se interessa pelos riscos, cuja percepção e gestão são acompanhadas de uma dimensão espacial. O conceito de risco geralmente está associado à possibilidade de ocorrência de um determinado fato que influencie um indivíduo, ou um grupo social, assim como as atividades econômicas, e dependem da maneira como as sociedades percebem a ocorrência de uma catástrofe ou de uma crise em seu cotidiano.

Segundo o Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil (2008) e os trabalhos de Egler (1996 e 2005) e Castro *et. al.* (2005) os riscos podem ser agrupados, de forma simplificada, em três grupos, os riscos naturais, os riscos tecnológicos e os riscos sociais. Entretanto, baseado na concepção de riscos de Veyret (2007) e de perigo de Van Westen (2008) esses três grupos poderiam ser reagrupados, em quatro grandes grupos, da seguinte forma:

O perigo é caracterizado pelos processos ligados às causas físicas que ocorrem em áreas “naturais”, sem intervenções antrópicas, como estradas, áreas ocupadas por habitações ou por atividades agropecuárias. Dessa forma, a utilização do conceito de perigo é mais adequada quando os danos não gerem perdas de vidas ou perdas econômicas. Entretanto, quanto aos processos naturais, essa concepção de perigo é indiretamente influenciada pela ação humana, como por exemplo, o aquecimento global e as mudanças climáticas (Van Westen, 2008).

Os riscos ambientais resultam dos riscos decorrentes de processos naturais que podem ser de origem litosférica, como: terremotos, desmoronamento e erupções vulcânicas, ou de origem hidroclimática, como: ciclones, tempestades, chuvas fortes e secas, geralmente agravados pela atividade humana e pela ocupação do território. Esse conceito tem sido muito discutido e questionado, pois o risco é necessariamente construído pela sociedade (Veyret, 2007).

Os riscos decorrentes de processos naturais, agravados pela atividade humana e pela ocupação do território são aqueles ligados diretamente aos impactos das intervenções humanas no território. Como é o caso da erosão acelerada dos solos, desertificação, incêndios e poluição das águas e dos solos pelas atividades agrícolas. Tais processos são induzidos ou intensificados pelo homem, através da deterioração da vegetação, dos solos e das águas, provocando uma diminuição ou destruição irreversível do potencial biológico.

Os riscos tecnológicos e industriais estão inseridos no âmbito dos processos produtivos e da atividade industrial. O risco tecnológico pode ser definido como o potencial de ocorrência de eventos danosos à vida, a curto, médio e longo prazo, em consequência das decisões de investimento na estrutura produtiva. Os riscos industriais estão associados às atividades de produtos tóxicos, à produção e ao transporte de materiais perigosos. Dessa forma, esses riscos envolvem uma avaliação tanto na probabilidade de eventos críticos de curta duração com amplas consequências, como explosões, vazamentos, ou derramamentos de produtos tóxicos, além da contaminação em longo prazo dos sistemas naturais por lançamento e deposição de resíduos do processo produtivo (Egler, 1996; Castro *et. al.* 2005; Veyret, 2007).

Os riscos sociais, econômicos e geopolíticos compõem uma categoria que pode ser analisada e desenvolvida por vieses distintos. Onde podemos destacar o viés proposto por Egler (1996), em que o risco social é visto como resultante das carências sociais ao pleno desenvolvimento humano, as quais contribuem para a degradação das condições de vida. Sua manifestação mais aparente está nas condições de habitabilidade, expressa no acesso aos serviços básicos, tais como o acesso à água tratada, a rede de esgotamento e coleta de lixo. No entanto, em uma visão de longo prazo pode atingir as condições de emprego, renda e capacitação técnica da população local, como elementos fundamentais ao pleno desenvolvimento humano sustentável.

Em termos econômicos, os riscos são assumidos em vários momentos e podem estar associados à agricultura, através da escolha efetuada pelo agricultor ao cultivar essa ou aquela cultura, ao adotar tal cadeia produtiva, ou ao se engajar em um processo de transformação técnica. Os riscos econômicos também são assumidos pelas empresas em função da concorrência, das escolhas nacionais ou mundiais, as quais também dependem das redes de venda e produção. As consequências podem ser a implantação ou o fechamento de fábricas, com efeitos diretos sobre o emprego e a economia local (Veyret, 2007).

Em termos geopolíticos, estão relacionados à partilha e o acesso a certos recursos renováveis, ou não geram riscos que podem se traduzir em conflitos latentes ou abertos, como por exemplo, os relacionados às reservas de petróleo e de água. Dessa forma, um país ou uma região marcada pela escassez de recursos renováveis ou não, podem ver suas condições deteriorarem-se, a produção alimentar estagnar, ou decrescer, e a população empobrecer.

A tipologia aqui apresentada é necessariamente esquemática, pois os diferentes fatores de risco evocados interagem uns com os outros, de modo que alguns riscos pertencem simultaneamente a diversas categorias.

3.6. Processos Erosivos Causados Pela Água.

Dentre os principais fatores que influenciam os processos erosivos causados pela água podemos destacar a erosividade da chuva, que está ligada à sua força cinética (intensidade da chuva) e é responsável pela remoção e pelo transporte dos sedimentos, e a erodibilidade dos solos, que está ligada às propriedades dos solos a serem erodidos, ou seja, a suscetibilidade dos solos à erosão (Salomão, 1999; Guerra, 1999; Quiquerez, *et al.*, 2008).

As propriedades dos solos são fundamentais para o entendimento do início, da evolução e até mesmo para a recuperação das áreas erodidas. Dessa forma, os processos erosivos causados pela água, durante o escoamento superficial, são influenciados pela textura do solo, pelo teor de matéria orgânica, pela estabilidade dos agregados e pela densidade dos solos (densidade real, aparente e porosidade) (Lemos e Santos, 1996; Embrapa, 1997; Guerra, 1999; Morgam, 2005).

A textura, que é caracterizada pelo tamanho dos grãos do solo, é responsável por determinar a maior ou a menor facilidade de destacamento e de transporte das partículas do solo (grãos), onde de acordo com a predominância de uma fração em um determinado solo, pode ser estabelecido o seu grau de suscetibilidade a erosão (Lemos e Santos, 1996; Embrapa, 1997; Lepsch, 2002;).

A erosão é o processo de desprendimento e arraste de partículas do solo, onde seus principais agentes são: a água e o vento, especialmente onde as formas de relevo são ligeiramente mais elevadas e o comprimento da rampa é maior. Áreas de maior vulnerabilidade à erosão são as que possuem relevo ondulado, ou fortemente ondulado, com a vegetação degradada e sobre solos derivados de rochas sedimentares pouco consolidadas, onde os processos de morfogênese são mais atuantes, ou seja, prevalecem aos processos de pedogênese (Selby, 1993; Le Bissonnais *et al.*, 1993; Guerra, 1999; Poesen, *et al.*, 2003; Bacellar e Sobreira, 2004; Fullen e Catt, 2004; Guerra e Mendonça, 2004; Araújo, *et al.*, 2005; Morgam, 2005).

A forma mais comum de erosão é a perda da camada superficial do solo pela ação da água e/ou vento. O escoamento superficial da água carrega a camada superior do solo. Os riscos de erosão dependem tanto das condições naturais, quanto dos modelos de uso da terra. O clima (especialmente a intensidade da chuva), as características das encostas, a cobertura vegetal e a natureza dos solos também são importantes. Com respeito ao uso da terra,

qualquer atividade humana que exija a remoção da cobertura vegetal protetora (florestas, arbustos, forragens etc.) promove a erosão, o mesmo ocorrendo com medidas impróprias, como arar morro acima (Selby, 1993; Le Bissonnais *et al.*, 1993; Guerra, 1999; Salomão, 1999; Lepsch, 2002; Araújo, *et al.*, 2005; Morgam, 2005).

A erosão hídrica se manifesta de diversas maneiras, começando com o impacto (splash) da gota da chuva, podendo progredir finalmente para a formação de voçorocas. As características mais importantes dos diferentes tipos de erosão hídrica são: o efeito splash que resulta do impacto das gotas da chuva sobre as partículas de solo expostas, ou finas superfícies de água cobrindo o solo; a erosão laminar que é a remoção de solo de uma área inclinada em camadas finas; a erosão por ravinamento, que é a remoção de solo pela água por canais visíveis ou canaletas muito pequenas, mas bem definidas, onde há concentração do fluxo sobre o solo. Este processo erosivo é mais sério onde ocorrem chuvas intensas, em bacias hidrográficas ou em locais com características de alta produção de escoamento superficial e a camada superficial do solo solta e a erosão por voçorocas, que são canais d'água intermitentes, maiores que as ravinas (Selby, 1993; Le Bissonnais *et al.*, 1993; Guerra, 1999; Lepsch, 2002; Guerra, 2005; Araújo, *et al.*, 2005; Morgam, 2005; Quiquerez, *et al.*, 2008).

Os autores explicam que as voçorocas tendem a se formar onde grandes volumes de escoamento superficial são concentrados e descarregados em encostas com solos muito suscetíveis à erosão, sendo comuns em pastagens e é, provavelmente, a principal forma de erosão em bacias hidrográficas (Selby, 1993; Guerra, 1999; Lepsch, 2002; Guerra, 2005; Araújo, *et al.*, 2005; Morgam, 2005).

O teor de matéria orgânica é um fator responsável pela estabilidade dos agregados, ou seja, em solos com teores de matéria orgânica maiores que 3 % associados com argila formam agregados estáveis, tornando os solos menos suscetíveis a erosão. Já em solos com teor de matéria orgânica menor do que 2 % e com um teor elevado de silte e areia fina, geralmente não formam agregados, mas quando formam são agregados altamente instáveis (Selby, 1993; Lemos e Santos, 1996; Lepsch, 2002; Morgam, 2005).

A densidade aparente é outro fator controlador e refere-se à maior ou menor compactação dos solos e esta pode correlacionar-se com o teor de matéria orgânica, uma vez que visto que à medida que o teor de matéria orgânica diminui no solo, aumenta a ruptura dos

agregados e crostas se formam na sua sub-superfície, aumentando a sua compactação (Fullen e Catt, 2004; Morgam, 2005).

A densidade real, ou densidade de partículas, reflete a mineralogia do solo, já a porosidade é inversamente proporcional à densidade aparente, pois um solo compactado é menos poroso e vice versa; nesse sentido porosidade pode ser determinada através da relação entre a densidade aparente e densidade real sendo representada em porcentagem (EMBRAPA, 1997).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Boa Esperança está localizada no município de Nova Friburgo, região serrana do estado do Rio de Janeiro e inserida na Bacia hidrográfica do rio Macaé. A bacia possui uma área de 52,63 km², e seus principais cursos d'água são: o rio Boa Esperança, que possui aproximadamente 8,7 km de extensão, o rio São Pedro, que possui aproximadamente 7,3 km de extensão, além dos córregos: Tapera, da Pedra Vermelha, Boa Vista, São Domingos, Sibéria e Benfica (Figura 02).

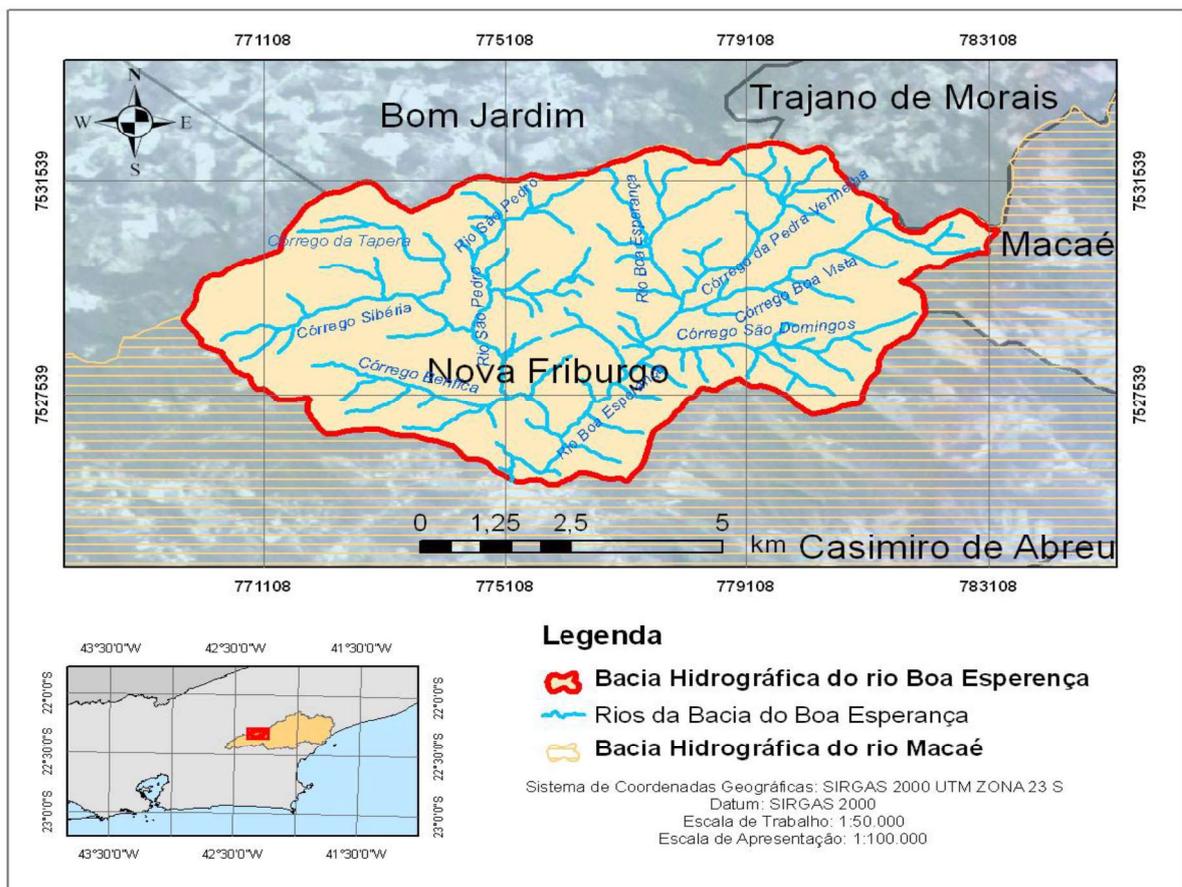


Figura 2: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo (RJ).

O arcabouço geológico da bacia caracteriza-se por diferentes aspectos litológicos de formação, sendo a maior parte da área formada por rochas do Proterozóico (Meso/Neoproterozóico) denominadas Complexo Paraíba do Sul. Cabe salientar que essa unidade estratigráfica sofreu grandes modificações estratigráficas, petrográficas e tectônicas. As rochas desse complexo são constituídas essencialmente por metassedimentos detríticos,

pelito-grauvaqueanos, dos quais podemos destacar a granada-biotita-(sillimanita), gnaisses, quartzo-feldspáticos (metagrauvacas), com ocorrência generalizada de bolsões e veios de leucossomas graníticos derivados de fusão parcial (Silva & Cunha, 2001; Winge, *et. al.*, 2001). O restante da área é composta por granitóides pós-tectônicos formados por (Hornblenda)-biotita, esses granitóides do tipo-I, possuem granulação de fina a média, textura equigranular a porfírica com foliação de fluxo magmático preservado (Silva & Cunha, 2001) (Figura 03).

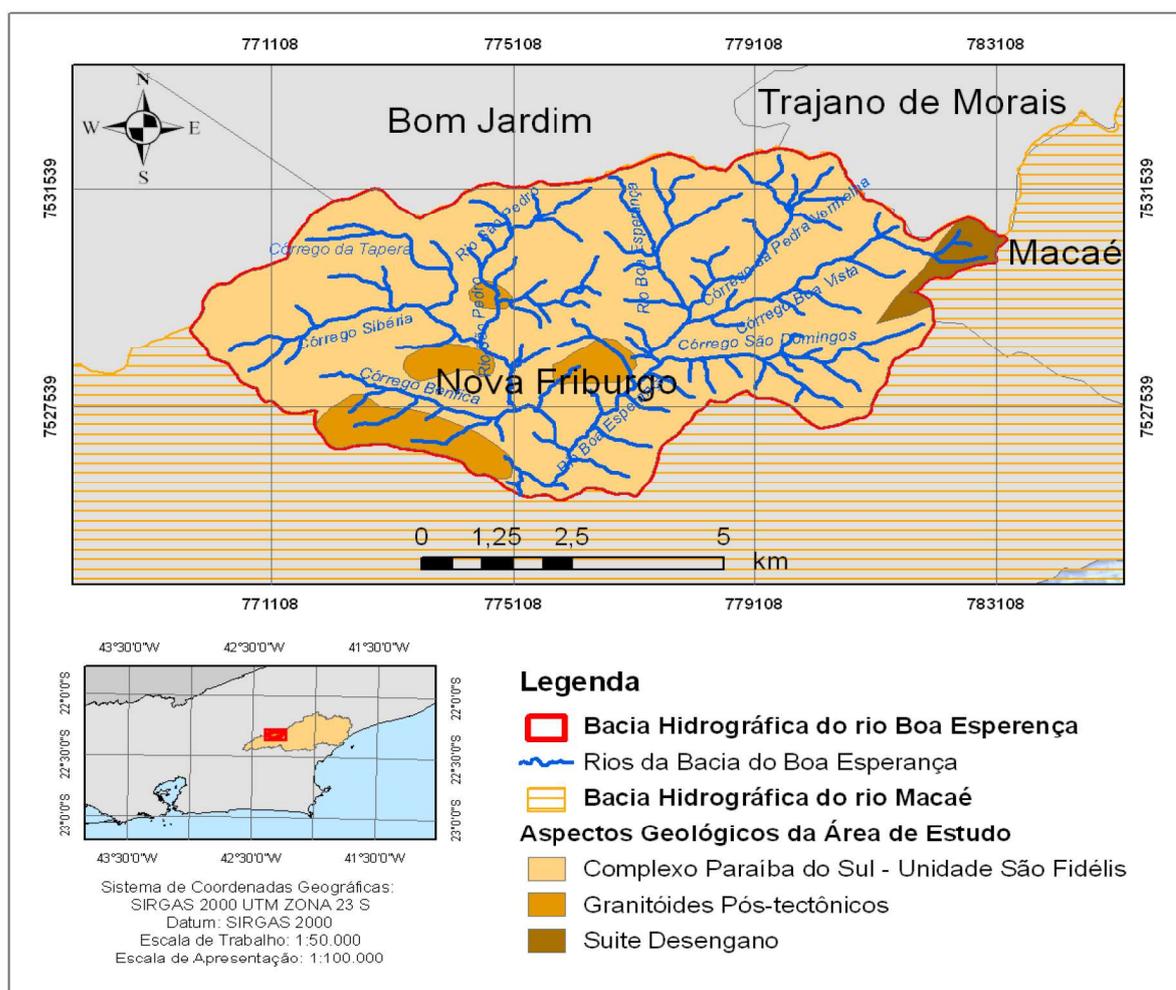


Figura 3: Mapa de Geológico da Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo (RJ)

A bacia do rio Boa Esperança, apresenta grandes zonas de falhamento, compressão e deformação que podem estar associadas a movimentos tangenciais sobre as falhas principais. Esses falhamentos são responsáveis pelo padrão de drenagem da área, que segundo o padrão de drenagem de Bigarella (1979), adaptado de Howard (1967) e Christofolletti (1974),

corresponde ao dendrídico e, segundo a classificação de Strahler (1957), corresponde a uma bacia hidrográfica de 5ª ordem (Figura 04).

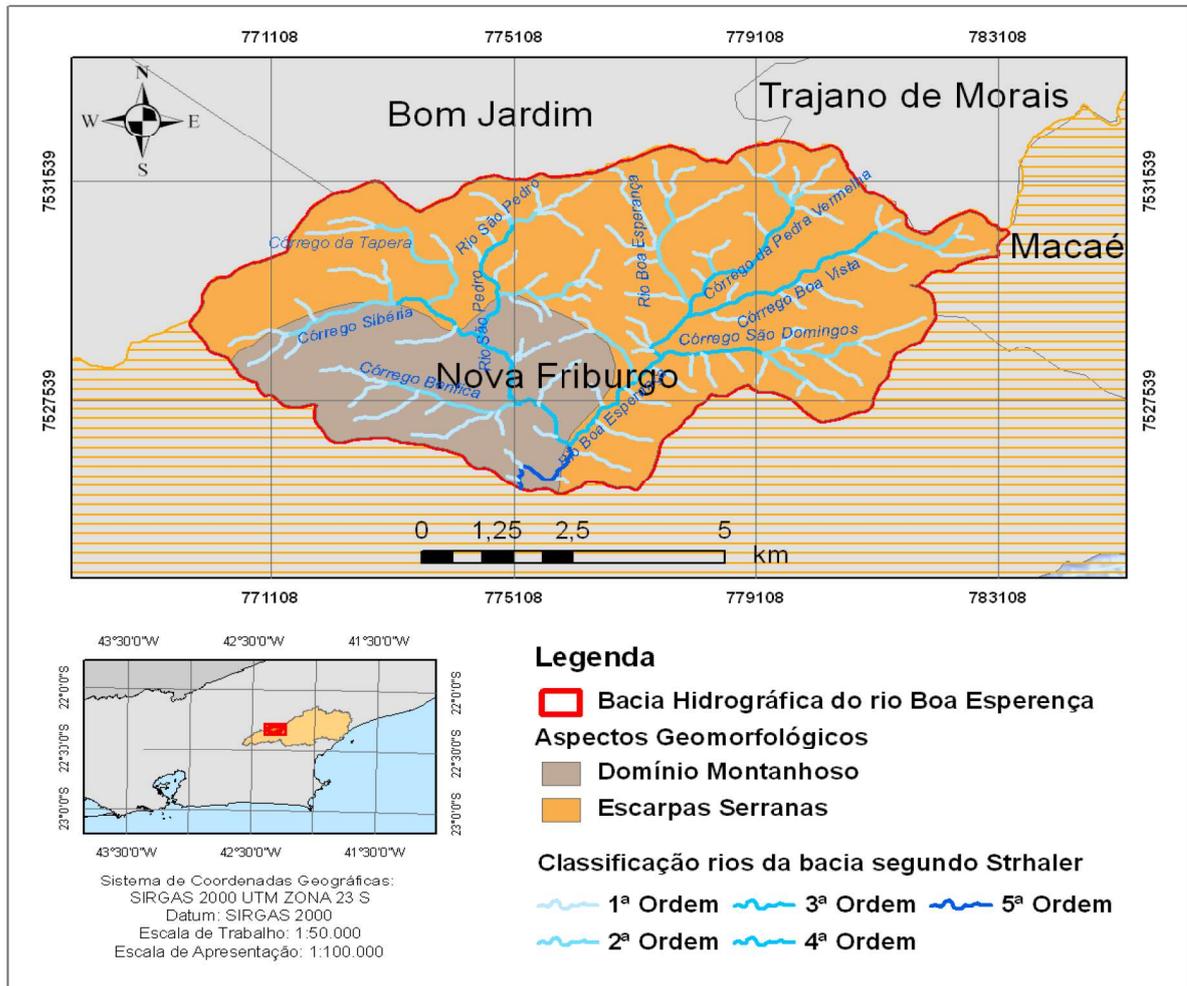


Figura 4: Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo (RJ).

Os aspectos geomorfológicos resultantes dessa evolução geológica foram responsáveis por gerar um relevo mais movimentado no local, onde podemos destacar a predominância das escarpas serranas na área da bacia. Segundo Dantas (2001), essa classificação engloba o relevo montanhoso, extremamente acidentado de transição entre dois sistemas de relevo, onde são geralmente encontradas vertentes retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. A amplitude topográfica na bacia, desde o ponto de confluência do rio Boa Esperança com o rio Macaé, até o ponto mais elevado do divisor topográfico é superior a 1000 m, o que caracteriza um gradiente muito elevado, com

ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha, no sopé dessas elevações (Dantas, 2001) (Figura 04).

Na parte central, a sul e a sudoeste da bacia, o relevo caracteriza-se como o de Domínio Montanhoso, que também é caracterizado por ser um relevo extremamente acidentado, localizado ao reverso da escarpa da Serra do Mar. Esse relevo apresenta vertentes de retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, onde podem ocorrer colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha (Dantas, 2001).

Essas unidades apresentam um alto potencial de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa. Tais eventos geralmente não são expressivos, devido à preservação da área, à manutenção da cobertura florestal, principalmente nos terrenos mais íngremes e elevados. Todavia, através do processo histórico de degradação da Mata Atlântica, o freqüente processo de desmatamento e devido à expansão das atividades agropastoris a vulnerabilidade dessas áreas vem aumentando (Lima, 2008).

Os solos que se desenvolveram nesse modelado, foram influenciados pelo clima tropical (mesotérmico) e por uma vegetação que originariamente era densa, o que favoreceu o processo de pedogênese. Entretanto, foram limitados pela grande grau de declividade das encostas, o que aumenta o poder de erosão. Nesse sentido, a pedogênese e o processo erosivo natural, em um sistema ambiental equilibrado, foram responsáveis pela formação dos cambissolos, em praticamente toda a área de estudo (Carvalho Filho *et al.*, 2000; Lepsch, 2002) (Figura 05).

Os cambissolos são solos que apresentam o horizonte subsuperficial submetido a pouca alteração e geralmente, apresentam minerais primários facilmente intemperizáveis, entretanto, com baixo grau de intemperização e teores elevados de silte. Segundo a Embrapa (1999), esses solos deveriam ser destinados à preservação permanente, pois se encontram em relevos mais íngremes (Embrapa, 1999; Carvalho Filho *et al.*, 2000).

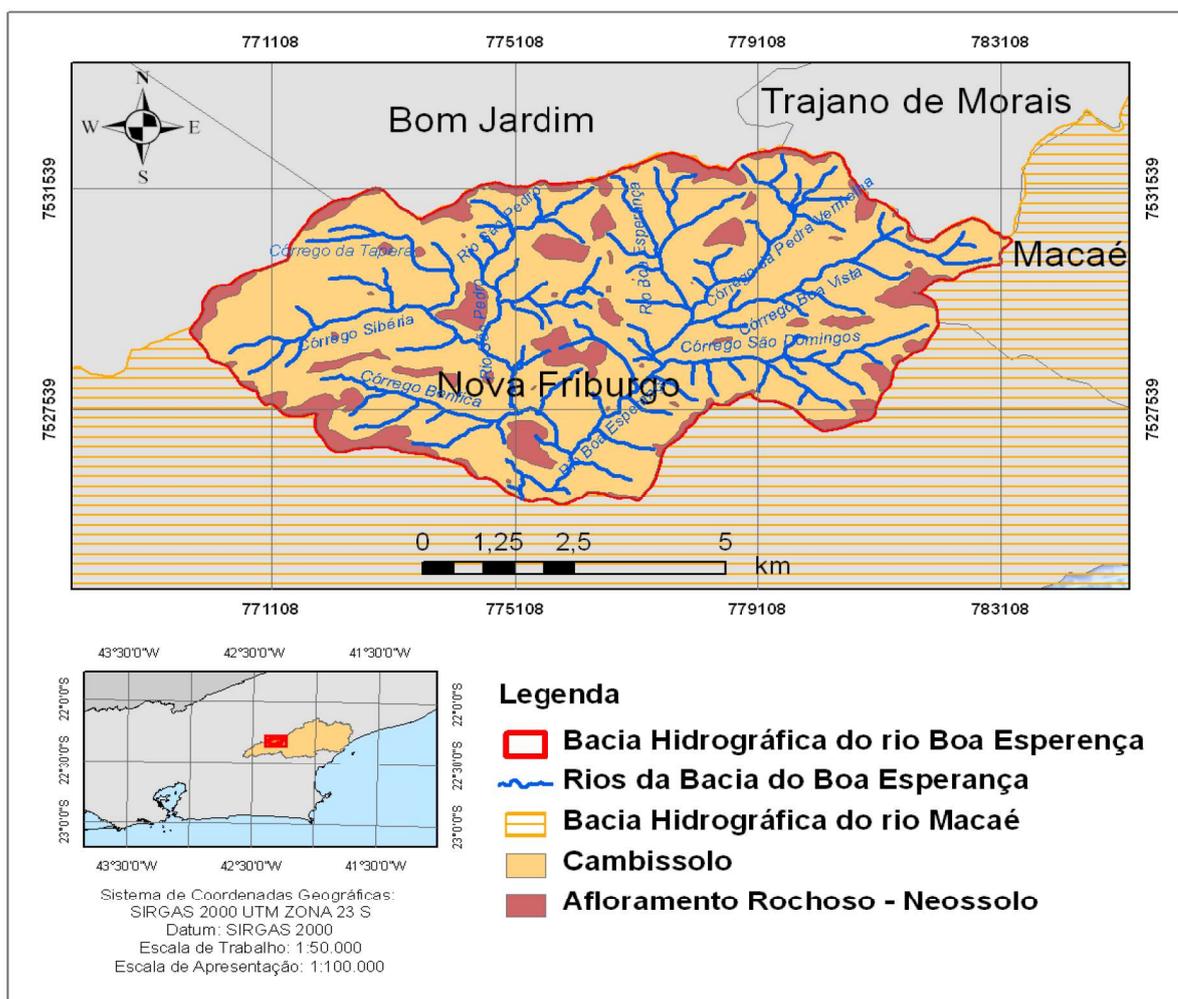


Figura 5: Mapa Pedológico da Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo (RJ).

Cabe ressaltar, que em alguns trechos próximos aos afloramentos rochosos e em encostas com grau de declividade superior a 60° foram identificados os Neossolos Litólicos. Já nos trechos onde a grau de declividade da encosta é mais suave, e onde o processo de pedogênese é superior aos processos erosivos, são encontrados solos bem desenvolvidos, como os Latossolos. Nas áreas próximas aos cursos d'água e nas planícies de inundação são encontrados alguns trechos de Neossolos Flúvicos e de Gleissolos (Carvalho Filho *et al.*, 2000; Hermuche *et. al.*, 2002; Lepsch, 2002).

Os latossolos caracterizam-se por serem profundos, muito evoluídos e em avançado estágio de intemperização, os neossolos flúvicos são solos minerais pouco evoluídos, desenvolvidos sobre depósitos aluviais recentes do quaternário, já os gleissolos são pouco desenvolvidos, geralmente encontrados nas planícies fluviais e apresentam encharcamento prolongado (Embrapa, 1999; Carvalho Filho *et al.*, 2000; Lepsch, 2002).

O clima da área de estudo é caracterizado como mesotérmico, o que caracteriza invernos frescos e verões quentes e chuvosos. De acordo com dados da Estação CETEMA/IPRJ/UERJ (2010), localizada em Nova Friburgo, a temperatura média anual fica em torno de 18°C; os meses mais frios são junho, julho e agosto, que registram temperatura média em torno de 15°C, e com uma temperatura média mínima de 14,3°C. Já os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro, que registram temperatura média em torno de 21,5°C, com temperatura média máxima em torno de 30°C (Figura 06).

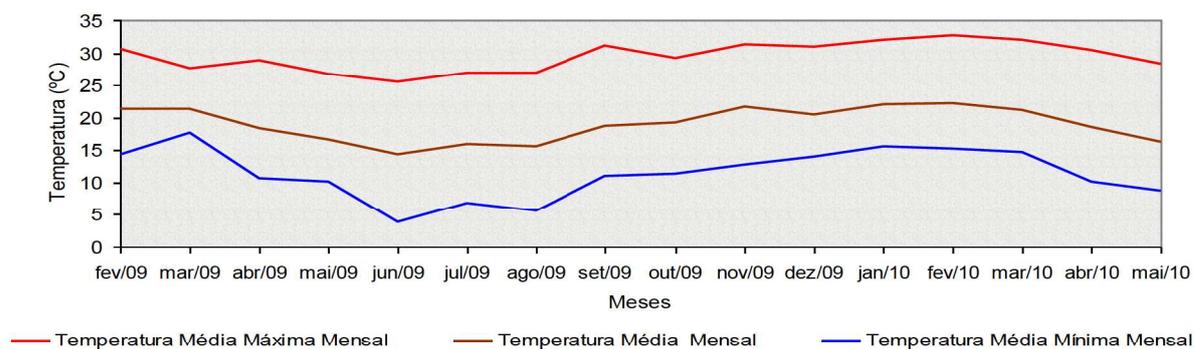


Figura 6: Gráfico de temperaturas médias da estação climatológica localizada no Município de Nova Friburgo. Fonte: CETEMA/IPRJ/UERJ, 2010.

A pluviosidade anual fica em torno de 1.290 mm, de acordo com dados da Estação CETEMA/IPRJ/UERJ (2010), localizada em Nova Friburgo, para o período compreendido entre os meses de fevereiro de 2009 e maio de 2010. Os meses de maior índice pluviométrico para esse período foram novembro e dezembro de 2009, com 338mm e 393mm, respectivamente; cabe ressaltar que o mês de dezembro contou com 25 dias de chuva. Nesse sentido, esses dados comprovam que a altitude, ou seja, o relevo é responsável por influenciar as temperaturas e o regime de chuvas na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança (Figura 07).

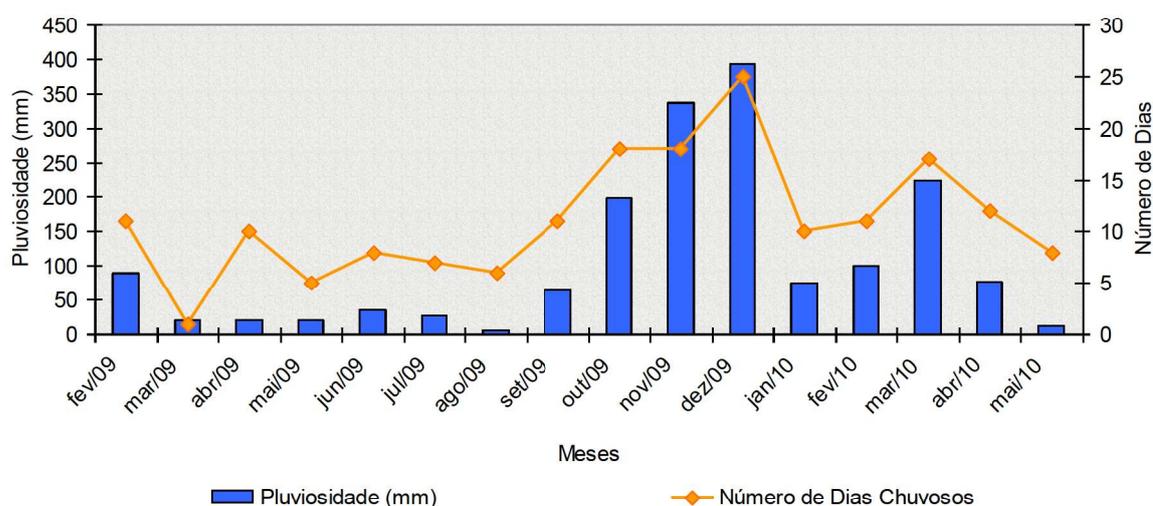


Figura 7: Gráfico pluviométrico da estação climatológica localizada no Município de Nova Friburgo.
Fonte: CETEMA/IPRJ/UERJ, 2010.

A vegetação nativa da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança é objeto de grande preocupação em função dos seus diferentes usos da terra e dos vários graus de ocupação humana, devido ao fato desta área estar inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) Macaé de Cima e fazer parte do corredor ecológico do Muriqui, que visa unir o Parque Estadual Desengano e o Parque Estadual Três Picos. Cabe salientar que a expressão “corredor ecológico” refere-se especificamente a trechos delimitados de vegetação nativa, que conectam fragmentos florestais a unidades de conservação e correspondem a uma estratégia de gestão da paisagem definidas a partir de critérios biológicos para fins de planejamento e conservação (Brasil, 2006; Rodrigues 2009). Ressalta-se que o município de Nova Friburgo, que tem grande parte do seu território nesse corredor ecológico possui 44% de sua área territorial coberta com vegetação de Mata Atlântica nativa preservada (SOS Mata Atlântica, 2010).

A fisionomia vegetal original da área de estudo corresponde a Floresta Ombrófila Densa, que é uma floresta tropical pluvial, cuja vegetação está correlacionada aos fatores climáticos, onde podemos destacar a temperatura média em torno de 25°C e a precipitação que é bem distribuída durante o ano, com poucos períodos efetivamente secos, não ultrapassando quatro meses. Desenvolvem-se em relevos com altitudes superiores a 500m e a estrutura florestal se mantém até os relevos dissecados, escarpados. Essa vegetação está situada sobre cambissolos desenvolvidos sobre rochas graníticas e gnaisses (IBGE, 1992; IBGE, 1994; SOS Mata Atlântica, 2010).

Na área são encontrados trechos de Floresta Estacional Semidecidual, que corresponde a uma floresta tropical subcaducifólia, e tem como característica uma dupla estacionalidade climática, um período de chuvas intensas de verão, entre os meses de novembro e março, e um período de frio no inverno com três meses de temperaturas médias próximas a 15°C (IBGE, 1992 e 2004).

Em função do histórico de ocupação, também são encontrados trechos de vegetação secundária, que tem como característica a forte intervenção humana que é responsável pela descaracterização da vegetação primária, que quando abandonadas começam o processo de sucessão da vegetação e sofrem influência direta do processo de degradação do solo (cambissolos), com as perdas de matéria orgânica, pelas queimadas, e dos elementos químicos pela lixiviação e pela erosão (IBGE, 1992 e 2004).

Nesse sentido, a vegetação secundária na área de estudo está relacionada ao abandono de áreas onde se desenvolveram atividades agropecuárias, que foram abandonadas pelo mau uso do solo ou pela perda da fertilidade do mesmo e está sofrendo um processo de sucessão natural. Entretanto, a vegetação que surge reflete, de maneira muito uniforme, os parâmetros ecológicos do ambiente (IBGE, 1992).

A degradação da terra, principalmente, em função da perda da fertilidade do solo e da utilização de técnicas agrícolas inadequadas é responsável pela diminuição da produção local, que no caso é a oleicultura, principalmente hortaliças e tubérculos, a pecuária, que se caracteriza como extensiva de baixa produtividade, e a fruticultura, em especial com a plantação de bananas. A grande maioria dessas atividades é desenvolvida em pequenas propriedades, o que pode motivar o êxodo rural e o aumento da população nas áreas urbanas.

A bacia hidrográfica do rio Boa Esperança abrange dois distritos do Município de Nova Friburgo, Lumiar e São Pedro da Serra e, de acordo com os dados dos censos do IBGE 1991 e 2000 (SIDRA, 2010), o distrito de Lumiar apresentou um aumento da população na área urbana, que passou de 14,6% para 23,7%, e uma diminuição no número da população total residente de 1,1%. Já o distrito de São Pedro da Serra apresentou um aumento da população na área urbana, que passou de 24,47% para 32,84%, e um aumento no número da população total residente de 0,9 % (Figura 08).

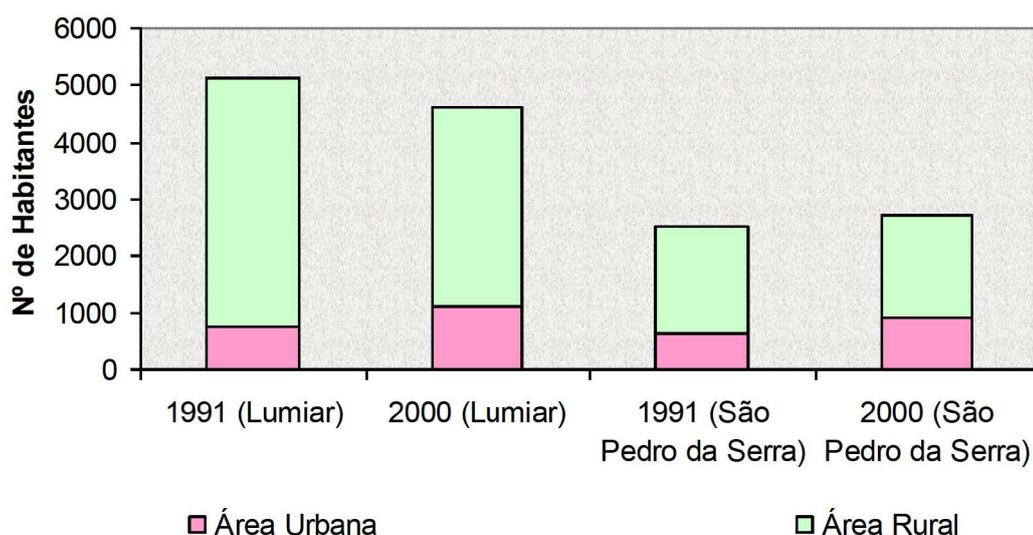


Figura 8: Gráfico da população residente, nas áreas rurais e urbanas, nos distritos de Lumiar e São Pedro da Serra – Nova Friburgo (RJ). Fonte: SIDRA, 2010.

Cabe ressaltar que a população residente nas áreas urbanas e rurais dos distritos de Lumiar e São Pedro da Serra, Nova Friburgo-RJ, aproveita os atrativos relacionados à beleza cênica da região, ao clima ameno e ao aspecto histórico da colonização suíça da região, e desempenham como a principal atividade econômica o turismo, que é realizada nas áreas urbanas, em função dos restaurantes e pousadas localizados na região.

5. METODOLOGIA

O primeiro passo metodológico da dissertação foi definir qual seria a área de estudo e o motivo da escolha. A área de estudo, a bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, foi escolhida em função do grau de degradação da vegetação nativa de Mata Atlântica e do solo da área influenciada pelo histórico de ocupação e de uso inadequado da terra. A bacia hidrográfica está inserida na APA Macaé de Cima e faz parte do corredor ecológico do Muriqui, e os distritos inseridos nessa bacia, Lumiar e São Pedro da Serra, no município de Nova Friburgo, tem como principais atividades econômicas o turismo e a horticultura.

Cabe salientar, que diversos estudos apontam que o uso e o manejo inadequado do solo são responsáveis por gerar impactos ambientais negativos tanto no local, ou seja, na área da bacia, quanto fora da área de estudo, o que Schumm (1977) já classificava e diferenciava como zona de produção de sedimentos e zona de deposição de sedimentos.

O segundo passo da metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica para definir claramente os conceitos, a diferença entre os conceitos adotados, a maneira na qual os mesmos serão interpretados e utilizados na dissertação.

O terceiro passo consistiu na organização da metodologia e na apresentação cronológica de elaboração do estudo, que será apresentado em etapas que envolvem atividades de campo, laboratório e gabinete. Dessa forma, para analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, em especial em relação aos processos erosivos superficiais, serão necessários dados de coleta e análise de solo, sensoriamento remoto, georreferenciamento, modelagem matemática e utilização de algoritmos interpoladores, analisados sob uma perspectiva conceitual.

Cabe salientar que a correlação entre dos dados dessas atividades será realizado através do geoprocessamento, o que segundo Fitz (2008) corresponde ao relacionamento da Ciência Geografia, que pode ser considerada como a fornecedora da teoria e da metodologia, com as Geotecnologias, que são determinadas pelo avanço tecnológico.

5.1. Aquisição de dados e processamento inicial

Essa primeira etapa da metodologia consistiu na aquisição das bases temáticas existentes nas diferentes escalas, aquisição das imagens do satélite ALOS, sensores AVNIR e PRISM, aquisição das fotografias aéreas ortorretificadas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e processamento inicial das imagens do satélite ALOS.

5.1.1. Aquisição da base cartográfica e base temática

A base topográfica foi obtida diretamente em meio digital tendo como objetivo a obtenção de informações sobre a hidrografia, planimetria, altimetria, a aquisição dessas informações foram baseadas nas cartas topográficas, na escala de 1:50.000, normatizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, juntamente com a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército – DSG.

Cabe salientar que as bases temáticas também foram adquiridas e serão utilizadas como subsídio para a pesquisa, pois as mesmas são compostas por mapas ou cartas, que apresentam informações sobre a geologia, geomorfologia, solos e vegetação. A escolha do material básico para confecção da base cartográfica e da base temática levaram em consideração a escala de trabalho 1:50.000, Dessa forma, algumas bases só serão utilizadas para uma caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Boa esperança, não podendo ser utilizadas para a análise e execução das modelagens.

A escala das cartas foi obtida por processos cartográficos que lhes facultam boa precisão, entretanto, nos dias atuais, boa parte delas apresenta considerável grau de desatualização, em função do tempo decorrido desde sua elaboração, assim como em função da modificação das drenagens, expansão das cidades e das estradas, como pode ser observado no trabalho de Assunção (2009), principalmente, no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Macaé.

Para o levantamento preliminar realizado, a principal base cartográfica utilizada foi a carta topográfica Quartéis SF-23-ZB-III-3 (1985), escala 1:50.000. Essa carta foi elaborada a partir do processo estereofotogramétrico topográfico regular, cujas fotografias aéreas foram obtidas em 1969. O Sistema de Projeção da mesma é o Universal Transversal de Mercator –

UTM (Fuso 23), Datum vertical definido pelo marégrafo de Imbituba localizado em Santa Catarina e Datum Horizontal Córrego Alegre em Minas Gerais. Dessa carta topográfica foram extraídas a hidrografia, que inclui os cursos d'água naturais e/ou artificiais; a altimetria, que representa o relevo através de convenções cartográficas, das quais podemos destacar os pontos cotados e as curvas de nível; e a vegetação.

Complementando esse levantamento preliminar, foram analisadas as bases temáticas do Projeto Rio de Janeiro do Serviço Geológico Brasileiro – CPRM, mapa geomorfológico (Dantas, 2001), mapa geológico (CPRM, 2000), do RADAMBRASIL (1983), mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa exploratório de solos e mapa de vegetação e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, mapa de vegetação e biomas brasileiros, apesar de suas escalas serem maiores do que as da carta topográfica, consistiram em um importante complemento para a caracterização da área de estudo.

Cabe ressaltar que as bases cartográficas e topográficas obtidas são apresentadas de maneira objetiva na Tabela 1, onde são caracterizados: I - o tipo de dado, II - o formato, III – o ano de publicação, IV - a fonte, e V - a escala cartográfica.

Tabela 1: Quadro de identificação das bases cartográfica e temática, para a bacia hidrográfica do rio Boa Esperança.

TIPO DE DADO	FORMATO	ANO	FONTE	ESCALA
MAPA GEOMORFOLÓGICO	PDF	1983	RADAMBRASIL	1:1.000.000
MAPA GEOLÓGICO	PDF	1983	RADAMBRASIL	1:1.000.000
MAPA EXPLORATÓRIO DE SOLOS	PDF	1983	RADAMBRASIL	1:1.000.000
MAPA DE VEGETAÇÃO	PDF	1983	RADAMBRASIL	1:1.000.000
CARTA TOPOGRÁFICA QUARTÉIS	CAD / TIF	1985	IBGE	1:50.000
MAPA GEOLÓGICO	PDF	2000	CPRM	1:400.000
MAPA GEOMORFOLÓGICO	PDF	2001	CPRM (Dantas)	1:250.000
MAPA DE UNIDADES DE PAISAGEM PARA A BACIA DO RIO MACAÉ	PDF	2008	MOTÉ	1:50.000
MAPA DE UNIDADES DE PAISAGEM PARA A APA MACAÉ DE CIMA	PDF / SHAPE FILE	2010	MENDES	1:25.000

5.1.2. Aquisição das imagens do satélite ALOS (AVNIR-PRISM)

O satélite ALOS que foi lançado pela Agência Espacial Japonesa (JAXA), em 2006, possui três sensores: o AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2*), o PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) e o PAISAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*). Sua órbita é circular heliossíncrona a 692 km de altitude, com um tempo de revisita de 46 dias.

As imagens do satélite ALOS utilizadas nesta dissertação foram as do sensor AVNIR-2, que é uma imagem multiespectral de quatro bandas radiométricas (Vermelha, Verde, Azul e Infravermelho Próximo), que possuem resolução espacial de 10 metros; e a do sensor PRISM que possui um imageador pancromático de alta resolução 2,5 metros. Essa imagem é usada para analisar a cobertura da terra e na elaboração de mapas de classificação do uso da terra para monitoramentos ambientais.

As imagens dos dois sensores possuem uma resolução radiométrica de 8 bits, cujo formato do arquivo original é o CEOS. Essas imagens, tanto em função de sua resolução espacial (Tabela 2), quanto em função de sua resolução radiométrica, são indicadas para mapeamentos de uso e cobertura do solo e monitoramento ambiental.

Tabela 2: Quadro de identificação das imagens do satélite ALOS para a bacia hidrográfica do rio Boa Esperança.

IMAGEM	SENSOR	FORMATO	FAIXA IMAGEADA	ANO	RESOLUÇÃO ESPACIAL
ALAV2A182114050-01B2G-BAND1	AVNIR-2	CEOS / TIF*	70 x 70 Km	2009	10 METROS
ALAV2A182114050-01B2G-BAND2	AVNIR-2	CEOS / TIF*	70 x 70 Km	2009	10 METROS
ALAV2A182114050-01B2G-BAND3	AVNIR-2	CEOS / TIF*	70 x 70 Km	2009	10 METROS
ALAV2A182114050-01B2G-BAND4	AVNIR-2	CEOS / TIF*	70 x 70 Km	2009	10 METROS
ALPSMB121724105-01B2G-UB1	PRISM	CEOS / TIF*	35 x 35 Km	2009	2,5 METROS

* Formato após a conversão e processamento.

5.1.3. Aquisição das fotografias aéreas

As fotografias aéreas ortorretificadas 2717-3-NE e 2717-3-NO (Figuras 9 e 10 e Tabela 3) disponibilizadas pelo IBGE (2008), correspondem ao ortomosaico elaborado a partir do processamento aerofotogramétrico digital, as fotografias aéreas foram obtidas em 2005, possuem uma escala de 1:30.000 e pontos de controle de campo para a escala de 1:25.000. O Sistema de Projeção é o UTM (Fuso 23), o Datum vertical corresponde ao marégrafo de Imbituba – SC e o Datum Horizontal é o SIRGAS2000.



Figura 9: Fotografia aérea 2717-3-NE de 2005. Fonte: IBGE, 2008.



Figura 10: Fotografia aérea 2717-3-NO de 2005. Fonte: IBGE, 2008.

Tabela 3: Quadro de identificação das Fotografias Aéreas utilizadas na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança.

IMAGEM	FORMATO	ANO	FONTE
2717-3-NE	GEOTIF	2005	IBGE, 2008
2717-3-NO	GEO TIF	2005	IBGE, 2008

Cabe salientar que essas fotografias aéreas cuja escala é 1:25.000, são indicadas para mapeamentos de uso e cobertura do solo e para o monitoramento ambiental, essas fotografias aéreas já estão georreferenciadas e ortoretificadas, com uma precisão Planimétrica e Altimétrica classe A, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica apresentado no artigo 9º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

“Artigo 9º - As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os seguintes critérios:

a - Classe A. **1** - Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente. **2** - Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas-de-nível.”

O Decreto nº 89.817 define a Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR, como um órgão colegiado do Ministério do Planejamento, descendente da antiga Comissão de Cartografia – COCAR, que fixa as diretrizes e bases da cartografia brasileira e dá outras providências.

5.1.4. Processamento das imagens do satélite ALOS (AVNIR-2 / PRISM)

O Processamento digital de imagens corresponde a um conjunto de técnicas de manipulação numérica de imagens digitais, utilizadas para facilitar a obtenção de dados e informações em uma imagem, permitindo melhorar o seu aspecto e fornecer subsídios para sua interpretação.

Nesse sentido, o processamento da imagem consistiu na conversão do formato CEOS para o formato GEOTIF, através da utilização do software MapReady 2.0.13 (Figuras 11, 12 e 13), que é um programa gratuito disponibilizado pela *Alaska Satellite Facility* – ASF. Este processamento foi necessário para que as imagens do satélite ALOS (AVNIR-2 e PRISM), já no formato GEOTIF (Figuras 14, 15, 16, 17 e 18) pudessem ser processadas nos softwares Spring 5.1 e ArcGis 9.3.

Cabe ressaltar que o software MapReady 2.0.13 também exporta a imagem GEOTIF em três bandas compostas, mas optou-se por realizar esse procedimento nos softwares Spring 5.1 e ArcGis 9.3.

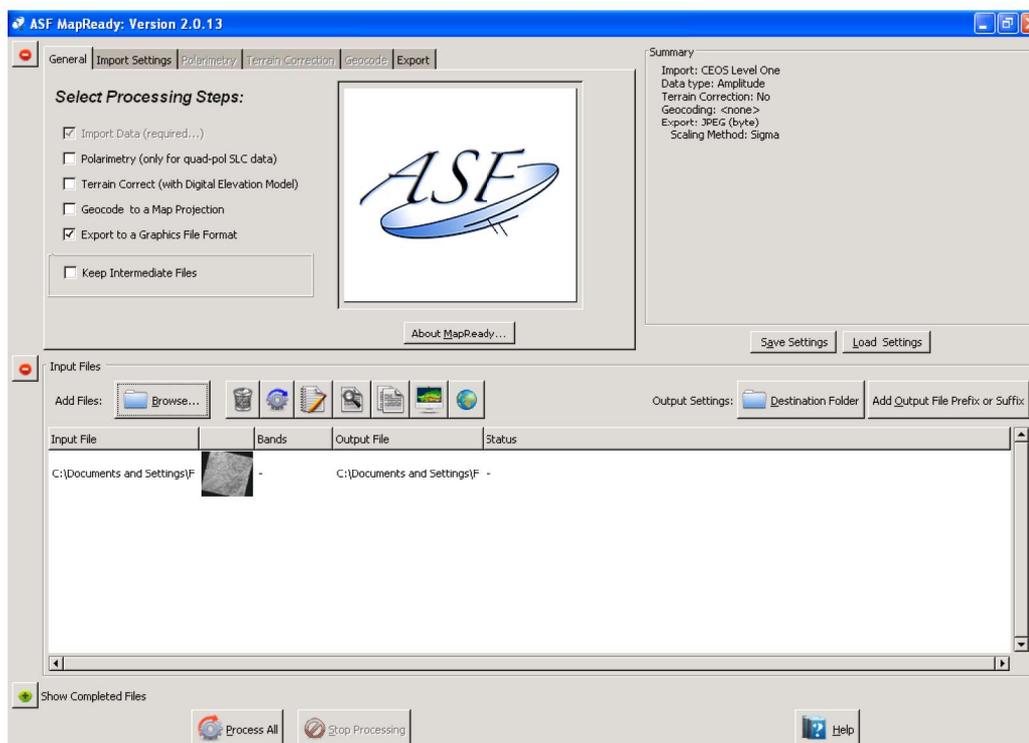


Figura 11: Apresenta a página inicial do software MapReady 2.0.13 e a imagem a ser processada.

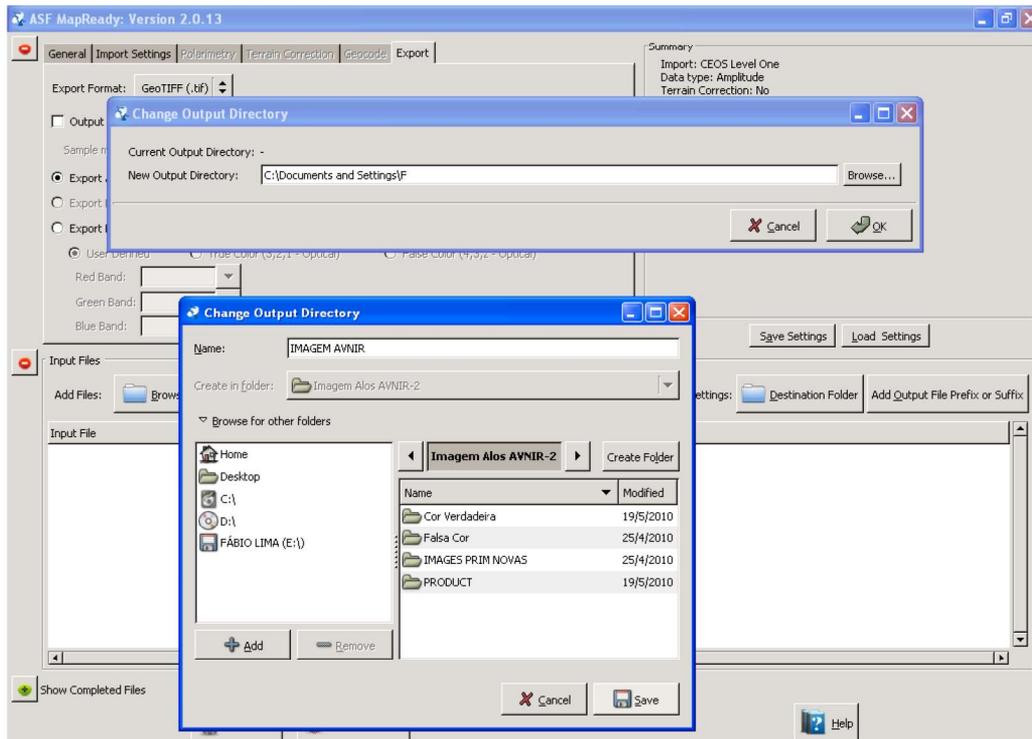


Figura 12: Apresenta a conversão do formato CEOS para o formato GEOTIF no software MapReady 2.0.13.

```

ASF MapReady
Command line:
/cygdrive/c/Arquivos de programas/ASF_Tools/MapReady 2.0/asf_mapready -log C:\Documents and Settings\Fábio\Desktop\Tudo\Imagem Alos AVNIR-2\IMAGES PRIM NOVAS\ALPSMW188824045\ALPSMB188824100-01B2G_UB-27-Jul-2010_00-53-14\ALPSMB188824100-01B2G_UB.log C:\Documents and Settings\Fábio\Desktop\Tudo\Imagem Alos AVNIR-2\IMAGES PRIM NOVAS\ALPSMW188824045\ALPSMB188824100-01B2G_UB-27-Jul-2010_00-53-14\ALPSMB188824100-01B2G_UB.cfg
Date: 27-Jul-2010, 00:53:17
PID: 1380
Version: 7740 (part of MapReady 2.0.13)

Starting at: 00:53:17
Importing: C:\Documents and Settings\Fábio\Desktop\Tudo\Imagem Alos AVNIR-2\IMAGES PRIM NOVAS\ALPSMW188824045\ALPSMB188824100-01B2G_UB
Data format: CEOS

File: C:\Documents and Settings\Fábio\Desktop\Tudo\Imagem Alos AVNIR-2\IMAGES PRIM NOVAS\ALPSMW188824045\IMG-ALPSMB188824100-01B2G_UB
Product: LEVEL_1B2G
Input data type: level two data
Output data type: geocoded amplitude image
Data type: BYTE
Processed 17243 of 17243 lines.
Import complete.
Exporting ...
Writing band '01' ...
Writing output file...
Processed 17243 of 17243 lines.
Export successful!

Generating Thumbnail image...
Processed 462 of 462 lines.
Exporting ...
Writing band '01' ...
Gathering statistics ...
Calculating min, max, and mean...
Processed 100%
Calculating standard deviation and histogram...
Processed 100%
Writing output file...
Processed 462 of 462 lines.
Export successful!

Done at: 00:56:38
Elapsed time: 3 minutes, 21 seconds.
Successful completion!

```

Figura 13: Apresenta a linha de comando e o processamento da conversão em ambiente DOS, no software MapReady 2.0.13.

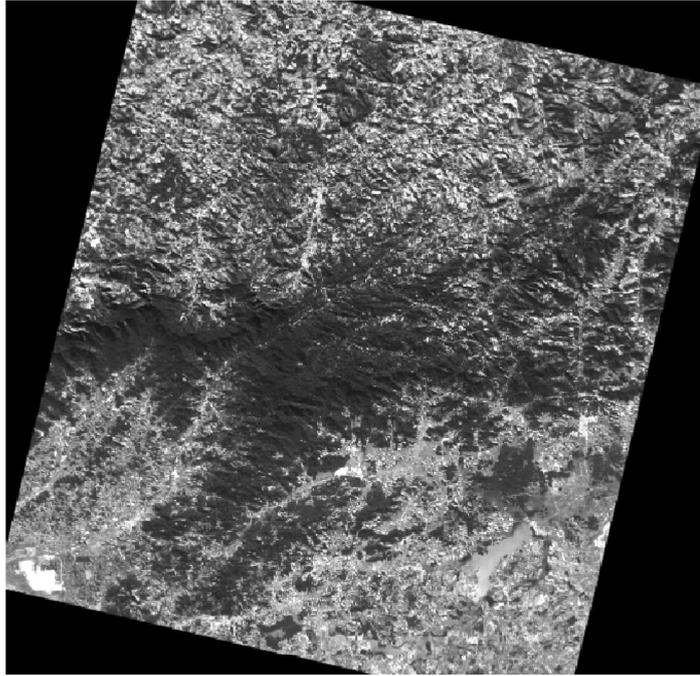


Figura 14: Imagem do sensor AVNIR-2, Banda 1 do satélite ALOS (2009).

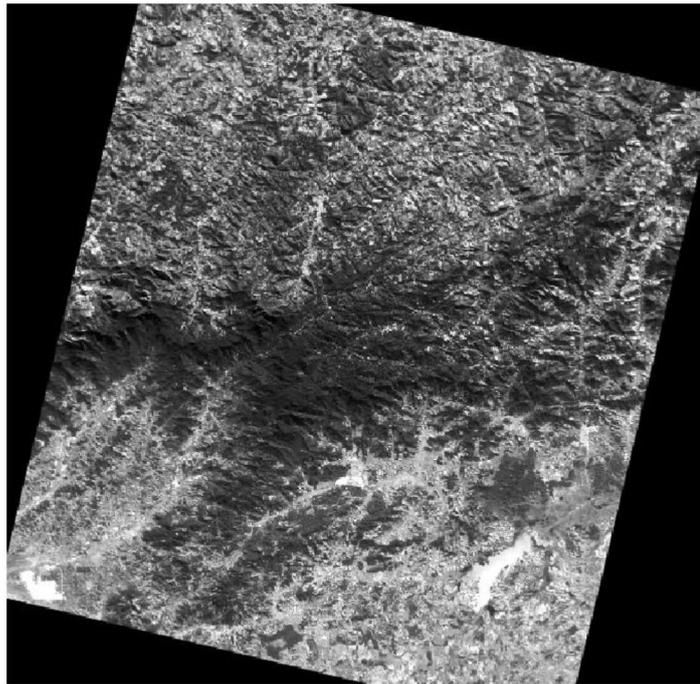


Figura 15: Imagem do sensor AVNIR-2, Banda 2 do satélite ALOS (2009).

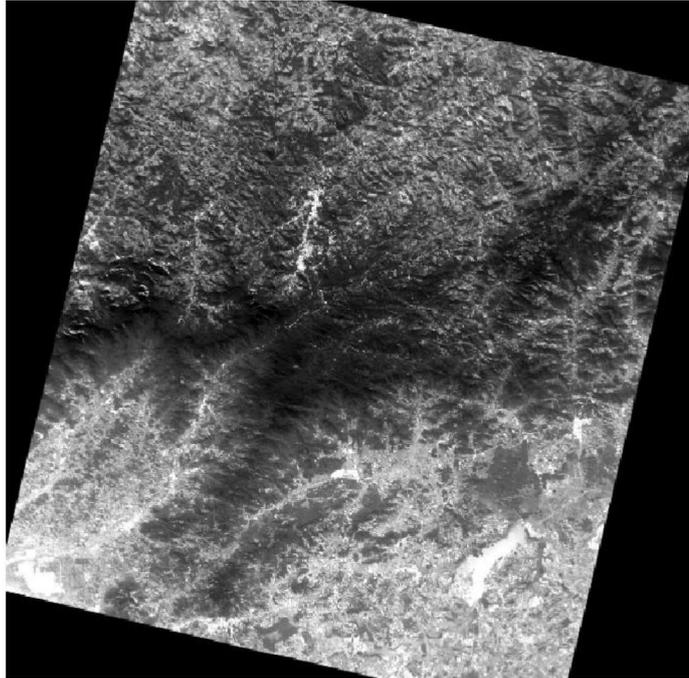


Figura 16: Imagem do sensor AVNIR-2, Banda 3 do satélite ALOS (2009).

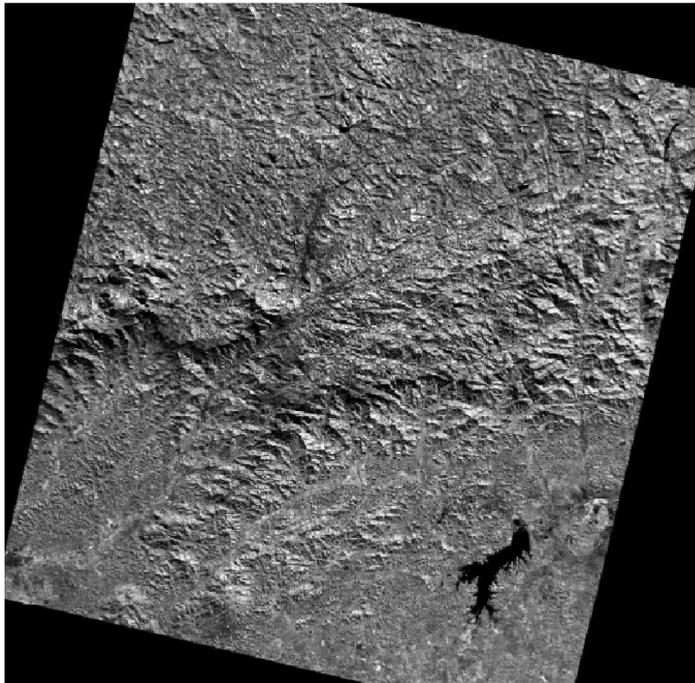


Figura 17: Imagem do sensor AVNIR-2, Infravermelho próximo do satélite ALOS (2009).

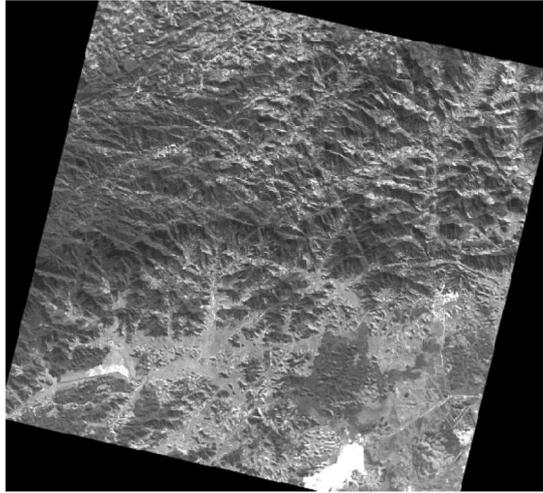


Figura 18: Imagem do sensor PRISM, satélite ALOS (2009).

A composição das bandas foi realizada no software ArcGis 9.3 e atendeu às recomendações do manual do software ASF MapReady (versão 2.3), esse procedimento tem como resultado duas composições para as imagens óticas AVNIR-2, que são, a cor verdadeira ou os tipos falsos da saída da cor. A cor verdadeira é obtida quando se atribui a banda 03 à faixa vermelha, a banda 02 à faixa verde, e a banda 01 à faixa azul (Figura 19). Já a falsa cor é obtida quando se atribui a banda 04 (Infravermelho próximo) à faixa vermelha, a banda 03 à faixa verde, e a banda 02 à faixa azul (Figura 20).

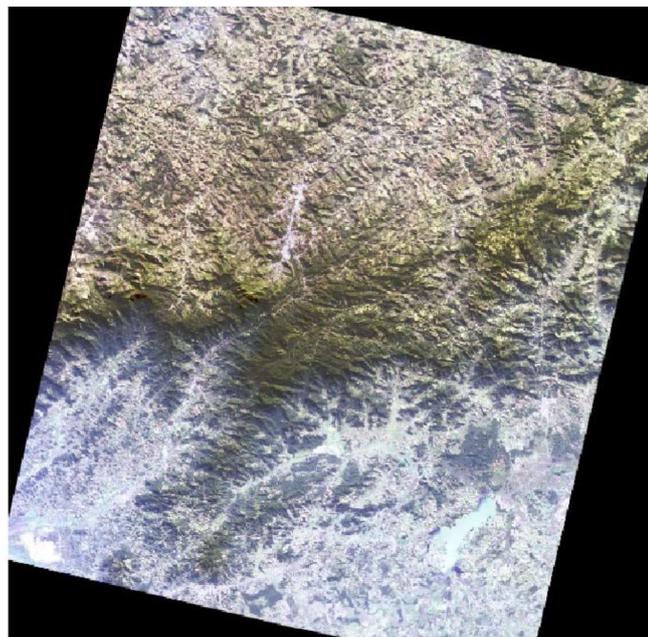


Figura 19: Composição RGB do sensor AVNIR-2 (2009), satélite ALOS.

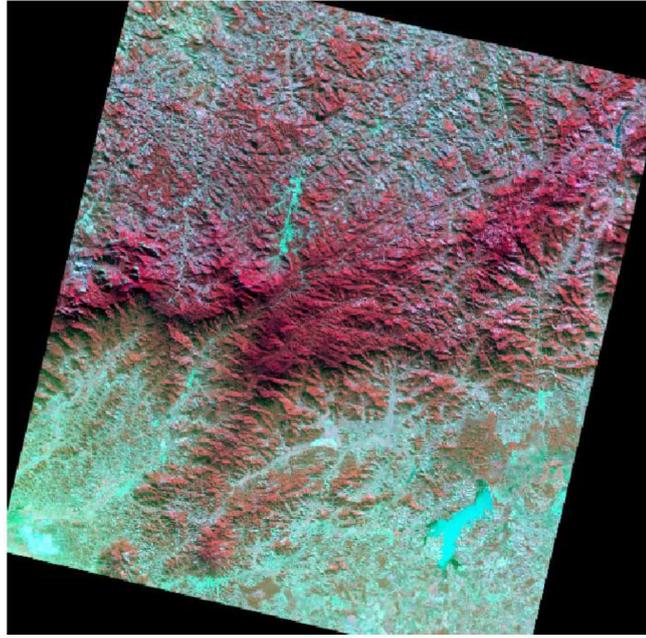


Figura 20: Composição Falsa Cor do sensor AVNIR-2 (2009), satélite ALOS.

5.2. Georreferenciamento das imagens do satélite ALOS

Essa segunda etapa consistiu na análise em gabinete das imagens e na identificação de áreas de interesse que fossem identificadas, tanto na imagem PRISM de 2,5 metros de resolução espacial, quanto na imagem de AVNIR-2 de 10 metros de resolução espacial, para que fossem selecionados os pontos de posicionamento do DGPS (*Differential Global Positioning System*) na atividade de campo.

5.2.1. Realização de atividades de campo para georreferenciamento das imagens do satélite ALOS (AVNIR-2 / PRISM)

Esta fase consistiu na realização de três atividades de campo, nos meses de dezembro de 2009 e janeiro de 2010, para a obtenção precisa das coordenadas destes pontos. A obtenção se deu a partir da utilização de dois aparelhos de DGPS, um desses aparelhos, que recebeu a denominação de base (Figuras 21 e 22), ficou situada na estação geodésica do IBGE localizada no município de Nova Friburgo, e esse mesmo equipamento, posteriormente, ficou localizado na estação geodésica do IBGE no município de Silva Jardim.



Figura 21: Estação Geodésica localizada no Município de Nova Friburgo. Foto: Stella Mendes, 2010.



Figura 22: Nivelamento do DGPS. Foto: Fábio Lima, 2010.

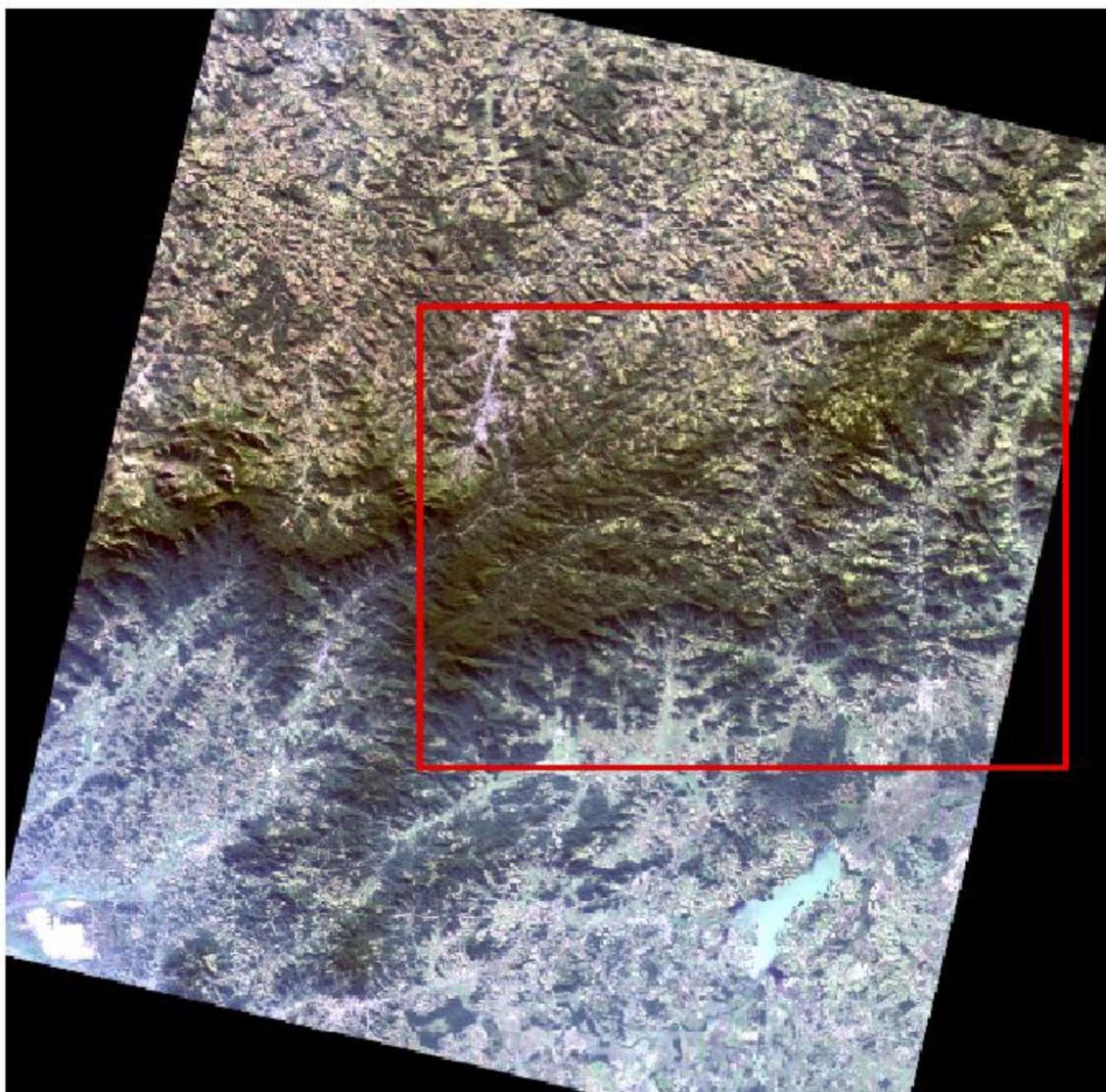
O outro aparelho DGPS (Figura 23), foi utilizado para percorrer a área de abrangência da imagem, definida em gabinete, para coletar os pontos que servirão de controle e serão utilizados para o georreferenciamento da própria imagem (Figuras 24, 25 e 26).



Figura 23: Estação DGPS itinerante obtendo o ponto de controle. Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 24: Localização do ponto de controle na Imagem PRISM.



 Área que será Georreferenciada - APA Macaé de Cima

Figura 25: Recorte da Imagem AVNIR-2 e das imagens PRISM, que serão georreferenciados, correspondentes a Macaé de Cima (Mendes, 2010).

Esse procedimento foi realizado de acordo com a metodologia proposta pelo IBGE (2009), e o critério adotado para a obtenção precisa das coordenadas, dependeu de dois fatores, distância entre os aparelhos e o tempo de permanência no local (Figura 26). Assim, quando a distância entre o DGPS base localizado na estação geodésica e o DGPS que estava percorrendo a área de estudo, fosse de até 20 km, era necessária a permanência de 40 minutos, neste mesmo local, para cada ponto identificado, já para distâncias de até 50 km, o tempo mínimo de permanência era de 120 minutos. Dessa forma, para que o tempo de 40 minutos

fosse utilizado como padrão foi necessária a utilização das duas estações geodésicas localizadas em Nova Friburgo e Silva Jardim.

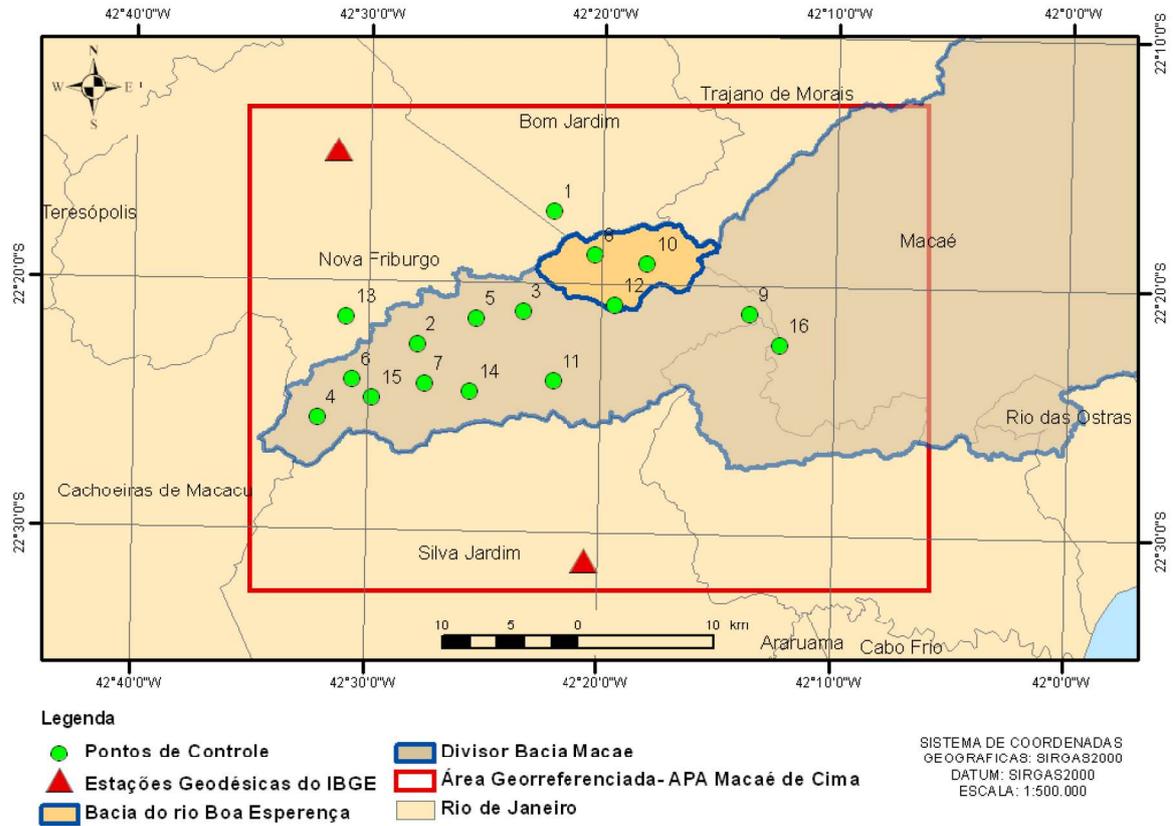


Figura 26: Mapa de localização dos 16 pontos de controle utilizados para georreferenciar as imagens PRISM e AVNIR-2 em Macaé de Cima (Mendes, 2010).

5.2.2. Processamento de dados das atividades de campo e de georreferenciamento

O georreferenciamento foi realizado através da correlação dos dados das duas estações DGPA (Base e Itinerante) no software Astech Solution, que a partir de fórmulas matemáticas entre a distância do ponto de controle e a coordenada conhecida da estação geodésica, calculou as coordenadas exatas dos pontos de controle.

O georreferenciamento foi feito no software SPRING 5.1, disponibilizado de forma gratuita pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pois o mesmo ao realizar esse processo leva em consideração a curvatura da terra. Esse procedimento, que nesse software corresponde ao registro das imagens, que foi realizado através da correlação dos pontos de controle com as coordenadas precisas identificadas em campo, com os pixels correspondentes na imagem, a primeira imagem que foi georreferenciada foi a PRISM, pois a mesma possui uma resolução espacial de 2,5 metros.

Dos 16 pontos coletados em campo, oito foram utilizados para o georreferenciamento e oito para sua validação, que foi feita também a partir da comparação do trajeto do Track Map, feito com o aparelho de GPS de mão, durante o deslocamento do segundo DGPS.

Cabe ressaltar, que o objetivo foi realizar um mapeamento de precisão para uma escala de 1:50.000, para alcançar a escala desejada, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica definido pela Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR, o erro máximo permitido é de 25 metros, o que corresponde a um erro de 10 pixels para o sensor PRISM e um erro de 2,5 pixels para o sensor AVNIR-2. No processo de registro feito, conseguiu-se obter um erro de 4,3 pixels para as imagens PRISM e de 0,97 pixels para as imagens do AVNIR-2 (Mendes, 2010).

5.3. Coleta de amostras de solo

Essa etapa consistiu na definição da malha amostral (Figura 27) para a coleta de solo, que foi prevista para 10 pontos, que envolveram coletas superficiais (profundidade de 0-20cm) e coletas sub-superficiais (profundidades de 20-40cm). Para a realização do trabalho de campo foram utilizados equipamentos e instrumentos para a retirada das amostras:

- I – GPS
- II – amostrador volumétrico de Kopeck;
- III – marreta de borracha;
- IV – trado holandês;
- V – sacos de coleta de amostras;
- VI – prancheta;
- VII – etiquetas ou pilot;
- VIII – Enxada de mão.

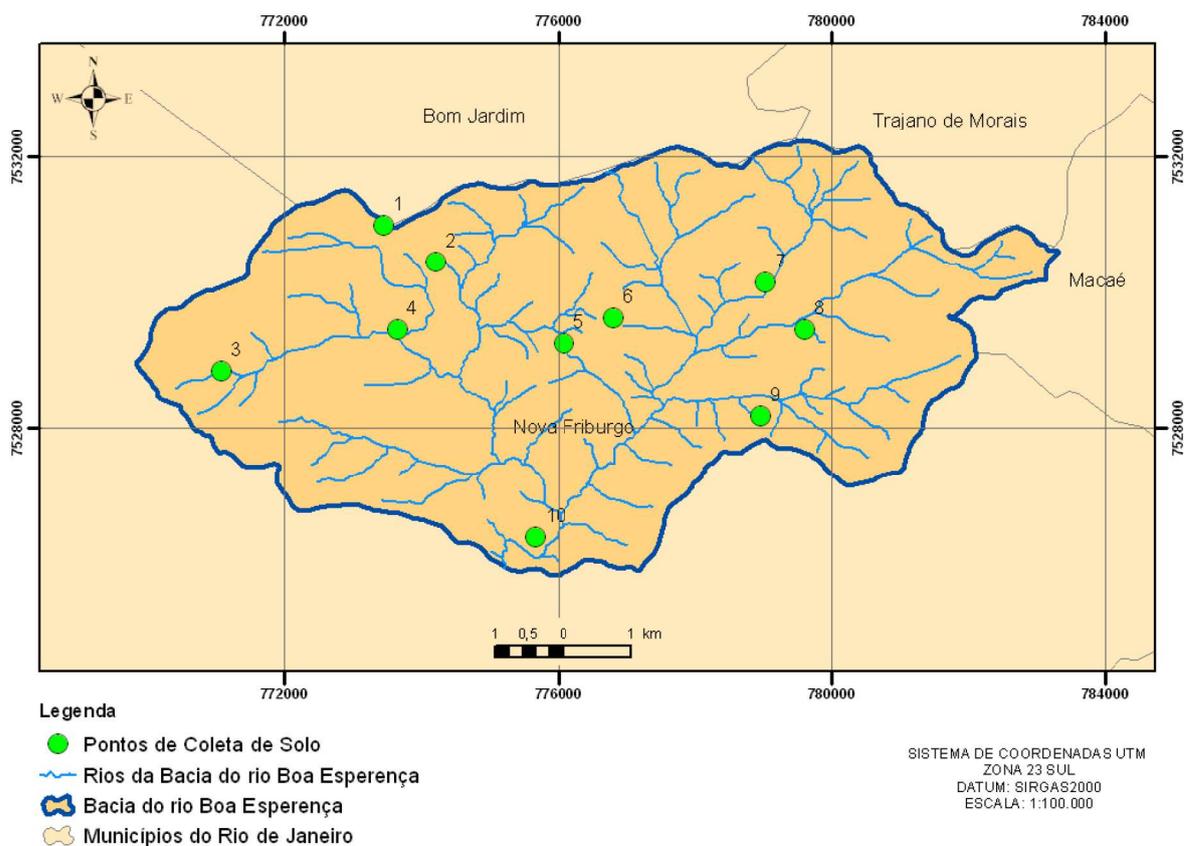


Figura 27: Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de solo na bacia do rio Boa Esperança.

5.4. Análise de solo

Essa etapa consistiu na análise dos solos da área de estudo que foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia da UFRJ e no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geoquímica da UFF e atenderam à metodologia da ABNT (1984, 1985, 1986, 1995) e da EMBRAPA (1997), onde podemos destacar, o preparo da amostra, a granulometria, o índice de plasticidade (limite de liquidez e limite de plasticidade), o teor de matéria orgânica, umidade residual, densidade aparente, densidade de partículas, porosidade total e a relação silte/argila das amostras.

De acordo com a EMBRAPA (1997), o primeiro passo consiste em deixar as amostras de solo secarem ao ar, depois o preparo da amostra através do destorroamento do solo, para a realização das demais análises físicas.

Para uma melhor caracterização granulométrica dos solos, serão adotadas as seguintes classificações (Tabela 4): EMBRAPA (1997, 1999, 2006) (2 – 0,2mm / 0,2 – 0,05mm / 0,05 – 0,002mm / <0,002mm, respectivamente, areia grossa, areia fina, silte e argila); USDA (1993 e 2010) (2 – 1,0 mm / 1,0 – 0,5 mm / 0,5 – 0,25 mm / 0,25 – 0,10 mm / 0,10 – 0,05 mm / 0,05 – 0,002 mm / < 0,002mm, respectivamente, areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila).

Tabela 4: Quadro da caracterização granulométrica dos solos em função do tamanho das partículas.

EMBRAPA		USDA	
NOMENCLATURA	TAMANHO	NOMENCLATURA	TAMANHO
AREIA GROSSA	2 – 0,2 mm	AREIA MUITO GROSSA	2,0-1,0 mm
		AREIA GROSSA	1,0-0,5 mm
		AREIA MÉDIA	0,5-0,25 mm
AREIA FINA	0,2 – 0,05 mm	AREIA FINA	0,25-0,10 mm
		AREIA MUITO FINA	0,10-0,05 mm
SILTE	0,05 – 0,002 mm	SILTE	0,05-0,002 mm
ARGILA	<0,002 mm	ARGILA	< 0,002 mm

Fonte: Embrapa (1997) e USDA (1993).

A análise da granulometria foi realizada em duas etapas, peneiramento e ensaio granulométrico a Laser. A primeira correspondeu à separação por peneiramento e decantação após a adição do dispersante químico por 24 horas, CALGON (hexametáfosfato de sódio e

carbonado de sódio anidro), de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997) (Figuras 28 e 29).

Cabe salientar a utilização do dispersante visa à determinação precisa das frações que compõe o solo, essa determinação é fundamental no processo de análise da suscetibilidade do solo a erosão.



Figura 28: Análise da granulometria dos finos, silte e argila, por pipetagem, segundo o método da EMBRAPA (1997). Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 29: Análise da granulometria por peneiramento segundo o método da EMBRAPA (1997). Foto: Fábio Lima, 2010.

A segunda consistiu no ensaio granulométrico Via Laser após a colocação das amostras no dispersante químico por um período de 24 (vinte quatro) horas, hexametáfosfato de sódio, essa análise foi realizada com o uso do Granulômetro CILAS 1064, que foi projetado com dois lasers para cobrir uma grande faixa analítica, este ensaio permite determinar a distribuição granulométrica do material analisado, variando de 0,04 a 500 microns, esse procedimento permitiu a classificação detalhada das partículas mais finas do solo, silte e argila (Figuras 30 e 31).



Figura 30: Amostras no dispersante químico e no agitador. Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 31: Granulômetro CILAS 1064. Foto: Fábio Lima, 2010.

De acordo com a metodologia apresentada pela EMBRAPA (1997), pelo IBGE (2007) e pela ABNT (1984) a determinação do limite de liquidez, consiste em identificar com quais teores de umidade o solo colocado na concha do aparelho de Casagrande fecha a ranhura nele feita. Nesse sentido, para realizar esse ensaio foi necessário o peneiramento e homogeneização da amostra, transferência para o aparelho de Casagrande, onde essa amostra é moldada, dividida em 2 (duas) partes com o cinzel e golpeada contra a base, até que a ranhura se feche dentro do intervalo de 15 a 35 golpes, procedimento que tem que ser repetido por três vezes.

Essa análise tem como objetivo determinar qual o teor de umidade que um solo reflete a mudança do estado líquido para o estado plástico, utilizando-se a energia de resistência ao cisalhamento. Já o limite de plasticidade foi determinado através do cálculo da porcentagem de umidade a partir da qual o solo começa a se fraturar, quando se tenta moldá-lo em um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento sobre uma placa de vidro esmerilhada, procedimento que é repetido durante cinco vezes. As partes fragmentadas foram pesadas e transferidas imediatamente para a estufa a 105°C, para então serem repesadas e assim obter-se o percentual de umidade (EMBRAPA, 1997).

Os trabalhos do USDA (1993), Selby (1993), Embrapa (2006), Guerra (1999), Lepsch (2002) e IBGE (2007) apontam que a textura do solo, que corresponde à proporção relativa das frações areia, silte e argila no solo podem ser determinadas de duas maneiras, a primeira em campo, que é subjetiva, consiste na verificação da diferença de tato, quando se fricciona uma amostra de solo úmido com os dedos; a segunda em laboratório, que consiste na utilização dos dados obtidos na granulometria, que podem ser agrupados com precisão no diagrama triangular, denominado triângulo textural (Figura 32), cujas nomenclaturas e os intervalos são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7.

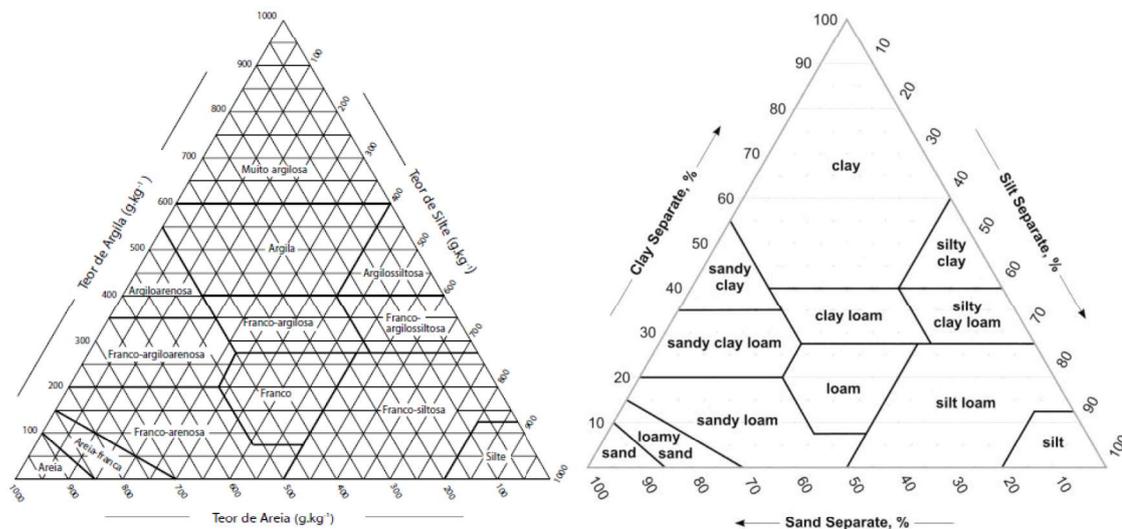


Figura 32 Triângulo textural de solo de acordo com Lemos e Santos, 1996 e baseado no Triângulo textural da USDA, 1993 (USDA, 1993; IBGE, 2003; EMBRAPA, 2006).

Tabela 5: Quadro da caracterização da textura do solo em função da granulometria. Fonte: Adaptado USDA, 1993.

NOMENCLATURA		GRANULOMETRIA						
		AREIAS					SILTE	ARGILA
PORTUGUÊS	INGLES	AREIA MUITO GROSSA	AREIA GROSSA	AREIA MÉDIA	AREIA FINA	AREIA MUITO FINA		
		2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,10 mm	0,10-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm
Areia fina franca	Fine sandy loam	-			+ 30 %	- 30 %	-	-
		De 15 a 30 %				-	-	-
		- 15 %	+ 40 %			-	-	
Areia muito fina franca	Very fine sandy loam	- 15 %	-	+ 30 %		-	-	
		- 15 %	+ 40 %			-	-	
Franca	Loam	- 52 %					De 28 a 50 %	De 7 a 27 %
Franco-siltosa	Silt loam	-					+ 50 %	De 12 a 27 %
		-					De 50 a 80 %	- 12 %
Siltosa	Silt	-					+ 80 %	- 12 %
Franco-argilo-arenosa	Sandy clay loam	+ 45 %				- 28 %	De 20 a 35 %	
Franco-argilosa	Clay loam	+ 20 a 46 %					-	De 27 a 40 %
Franco-silto-argilosa	Silty clay loam	- 20 %					-	De 27 a 40 %
Argilo-arenosa	Sandy clay	+ 45 %					-	+ 35 %
Silto-argilosa	Silty clay	-					+ 40 %	+ 40 %

Areias	Sands	+ 85 %			+ 1,5 % (sobre o teor de argila)	- 15 %
Areia grossa	Coarse sand	+ 25 %	+ 50 %		-	-
Areia	Sand	+ 25 %	- 50 %	- 50 %	-	-
Areia fina	Fine sand	-		+ 50 %	-	-
		+ 25 %	-	- 50 %	-	-
Areia muito fina	Very fine sand	-		+ 50 %	-	-
Areia franca	Loamy sands	De 70 a 91 %			+ 1,5 % (sobre o teor de argila)	+ 15
		De 70 a 91 %			- 30 %	
Areia grossa franca	Loamy coarse sand	+ 25 %	- 50 %		-	-
Areia franca	Loamy sand	+ 25 % (com um total menor de 25 % para areia muito grossa e areia grossa)		- 50 %	- 50 %	-
Argilosa	Clay	- 45 %			- 40 %	+ 40 %

Tabela 6: Quadro da caracterização da textura do solo em função da granulometria, continuação. Fonte: Adaptado USDA, 1993.

NOMENCLATURA		GRANULOMETRIA						
		AREIAS					SILTE	ARGILA
PORTUGUÊS	INGLES	AREIA MUITO GROSSA	AREIA GROSSA	AREIA MÉDIA	AREIA FINA	AREIA MUITO FINA		
		2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,10 mm	0,10-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm
Areia fina franca	Loamy fine sand	-			+ 50 %	-	-	-
		- 25 %		-	- 50 %	-	-	
Areia muito fina franca	Loamy very fine sand	-				+ 50 %	-	-
Franco-arenosas	Sandy loams	+ 52 %					+ 30 % (sobre o teor de argila)	De 7 a 20 %
		+ 43 %					- 50 %	- 7 %
Areia grossa franca	Coarse sandy loam	+ 25 %	- 50 %			-	-	
Franco-arenosa	Sandy loam	+ 30 % (com um total menor de 25 % para areia muito grossa e areia grossa)			- 30 %	- 30 %	-	-
		- 15 %		(com um total menor de 40 % para areia muito fina e areia fina)		-	-	

Tabela 7: Quadro simplificado da caracterização do solo em função da granulometria. Fonte: Adaptado USDA, 1993 e IBGE, 2003.

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	
USDA, 1993	LE MOS E SANTOS, 1996 - SBCS
NOMENCLATURA EM INGLÊS	NOMENCLATURA EM PORTUGUÊS
SAND	AREIA
LOAMY SAND	AREIA-FRANCA
SANDY LOAM	FRANCO-ARENOSA
LOAM	FRANCO
SILT LOAM	FRANCO SILTOSA
SILT	SILTE
SANDY CLAY LOAM	FRANCO-ARGILOARENOSA
CLAY LOAM	FRANCO-ARGILOSA
SILTY CLAY LOAM	FRANCO-ARGILOSILTOSA
SANDY CLAY	ARGILO-ARENOSA
SILTY CLAY	ARGILOSILTOSA
CLAY	ARGILA

Segundo o Manual de Pedologia do IBGE (2007) a determinação da matéria orgânica pode ser feita por métodos diretos e drásticos (queima a 500°C ou digestão com água oxigenada) que, entretanto, apresentam muitas limitações. O método adotado nessa dissertação corresponde ao da queima da matéria orgânica no solo, em um forno mufla, com temperatura constante de 500°C (Figuras 33 e 34).



Figura 33: Equipamento forno mufla utilizado para a queima da Matéria Orgânica a 500°C. Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 34: Amostras de solo acondicionadas nos cadinhos para definição da Matéria Orgânica e do Carbono Orgânico. Foto: Fábio Lima, 2010.

Essa análise é muito importante, pois através de uma correlação estatística, pode-se determinar o teor médio de carbono orgânico, que corresponde a 58% do valor presente na matéria orgânica humificada, que pode ser analisado através da utilização da seguinte expressão: $MO\% = C \times 1,724$, entretanto, com algumas limitações.

A umidade residual corresponde à correlação entre a porcentagem de umidade retida em uma amostra de terra fina, após preparada e seca ao ar, com uma amostra de terra fina seca na estufa a 105°C (EMBRAPA, 1997).

A análise da densidade de partículas foi realizada através da relação direta entre o volume de álcool etílico gasto para preencher um determinado volume (balão volumétrico) com uma determinada quantidade de terra fina seca ao ar (10 gramas). Já a densidade aparente foi obtida através do método do anel volumétrico de Kopecky, ou seja, através do volume conhecido do anel é determinada a densidade real do solo. A porosidade total foi obtida através da relação da densidade de partículas e da densidade aparente, essa análise é importante para se ter idéia tanto de sua permeabilidade quanto da sua capacidade de retenção de água.

O último parâmetro analisado foi a relação silte/argila, tendo como base os resultados obtidos nas análises granulométricas, através da divisão dos valores encontrados para a fração silte pelos valores encontrados para a fração argila, essa análise é um indicativo do grau de

intemperismo dos solos e permite também avaliar se há movimentação de argila entre as camadas superficiais e as sub-superficiais. Também é um dos parâmetros usados para distinguir os Latossolos (índice máximo de 0,7 para solos de textura média e 0,6 para os solos de textura argilosa) de solos mais jovens (Cambissolos).

5.5. *Elaboração dos mapas temáticos*

Essa segunda etapa consistiu na elaboração dos mapas temáticos de uso da terra, para dois períodos (2005 e 2009) e de acordo com duas metodologias, grau de declividade da encosta, convergência e divergência de fluxo, orientação da encosta, suscetibilidade do solo e da vulnerabilidade do solo. Esses mapas serão utilizados na modelagem da fragilidade ambiental aos processos erosivos gerados pelo escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança.

5.5.1. Critérios de elaboração dos mapas

Os mapeamentos dessa dissertação, foram elaborados com escala espacial de trabalho de 1:25.000, e de apresentação de 1:50.000, considerada suficiente para a identificação das principais alterações, assim como da correlação entre as mesmas através do geoprocessamento. Esta escolha foi corroborada pela consulta ao Manual Técnico de Uso da Terra desenvolvido pelo IBGE (2006), que indica que mapeamentos nesta escala são recomendados para se entender processos de ordem local.

Para a elaboração dos mapeamentos de uso da terra foram utilizadas as imagens ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), em especial, as imagem do sensor AVNIR-2, nas quais as eventuais dúvidas sobre o uso da terra foram sanadas pela correlação com a imagem PRISM, assim como as fotografias aéreas de 2005 do ortofotomosaico do Rio de Janeiro (IBGE, 2008). De acordo com o IBGE essas fotografias aéreas possuem uma escala de 1:30.000 e para a elaboração do ortofotomosaico foram realizados ajustes planialtimétricos através de pontos de controle de campo compatíveis com a escala 1:25.000, os dados finais serão apresentados em formato raster com o tamanho do pixel projetado para 25 x 25 metros.

Para os mapeamentos de grau de declividade, forma e orientação da encosta a carta topográfica Quartéis de escala 1:50.000 foi utilizada para a geração de Modelos Numéricos de Terreno – MNT, no formato matricial com o tamanho do pixel projetado para 25 x 25 metros. Segundo Fitz (2010) esses modelos são utilizados, por exemplo, para trabalhos com bacias hidrográficas, cálculo de grau de declividade (ângulo de inclinação) ou declividade percentual da encosta, mapas de orientação das vertentes e análise do relevo.

Já para o mapa de suscetibilidade dos solos serão utilizadas as coordenadas (E, N) dos pontos de coleta associadas à interpolação e correlação dos dados das análises realizadas em laboratório através do processo conhecido como interpolação. Fitz (2010) aponta que a interpolação corresponde a um método que utiliza funções matemáticas para encontrar valores de dados intermediários conhecidos entre os dois valores conhecidos. Cabe salientar que os dados interpolados correspondem a uma aproximação da realidade. Nesse sentido, quanto mais dados existirem e forem conhecidos, mais precisa será a modelagem. A modelagem da suscetibilidade dos solos a erosão, erodibilidade, será realizada em formato matricial, ou seja, os dados serão apresentados em formato *raster* com o tamanho do pixel projetado para 25 x 25 metros.

5.5.2. Elaboração do mapa de uso da terra com base nas fotografias aéreas (2005) e das imagens AVNIR-2 (2009)

A elaboração dos mapas de uso da terra foi realizada de duas maneiras, a primeira, referente às fotografias aéreas, utilizou a classificação manual através da vetorização executada no software ArcGis 9.3; a segunda, referente às imagens AVNIR-2, utilizou a classificação supervisionada, executada no software Spring 5.1, também conhecida como semi-automática. Essa classificação também permite que o usuário participe ativamente, diminuindo os possíveis equívocos no resultado final.

O primeiro passo para a realização dos mapas do uso da terra foi definir quais classes seriam empregadas no mesmo, nesse sentido, tendo como base o Manual do uso da Terra do IBGE (2006) foram definidas as seguintes classes:

I - Áreas de Vegetação Natural – essa classe compreende a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Secundária, cabe salientar que essa classe é caracterizada pela presença de árvores de grande e médio portes, além de lianas (cipós) e epífitas em abundância. Sua ocorrência está ligada ao clima tropical quente e úmido, sem período seco, com chuvas bem distribuídas durante o ano e temperaturas variando entre 22°C e 25°C.

II – Áreas Antrópicas Agrícolas – essa classe em sentido amplo compreende as áreas de Pastagem e de Agricultura, onde as áreas de pastagem correspondem a áreas destinadas ao pastoreio do gado, formadas mediante plantio de forragens perenes, vegetação de gramíneas ou leguminosas e as áreas de agricultura correspondem às áreas ocupadas por diferentes tipos de cultivos, que podem ser permanentes ou temporários.

III - Solo Exposto; quando o solo encontra-se desprovido de qualquer tipo de cobertura vegetal.

IV - Afloramento Rochoso; ocorre quando o substrato rochoso se faz visível na superfície da Terra

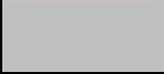
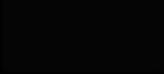
V - Sombra; ocorre quando trechos da superfície da Terra não podem ser identificados e mapeados.

VI - Área Urbana (Área Urbanizada) - compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não-agrícolas. As áreas urbanizadas podem ser contínuas, onde as áreas não-lineares de vegetação

são excepcionais, ou descontínuas, onde as áreas vegetadas ocupam superfícies mais significativas, essa segunda hipótese é a mais característica da área da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança.

Cabe salientar que as cores que foram utilizadas no mapa temático (**Tabela 8**) e na própria classificação do Projeto no SPRING 5.1., são apresentadas no quadro abaixo e buscam atender os critérios estabelecidos no Manual do uso da Terra do IBGE (2006), com pequenas adaptações em função da interpretação das imagens e do objetivo do trabalho (Figuras 36, 37, 38, 39 e 40).

Tabela 8: Quadro síntese das classes utilizadas para a elaboração dos mapas de uso da terra

CLASSE DO MAPA	TIPO	NOTA	COR (R-G-B)	AMOSTRA DA COR
Áreas de Vegetação Natural	Floresta Ombrófila Densa	1	0 - 153 - 0	
Áreas Antrópicas Agrícolas	Pastagem e Agricultura	4	204 - 255 - 51	
Solo Exposto	Solo Exposto	5	255 - 153 - 0	
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	0 (NULO)	191 - 191 - 191	
Sombra	Sombra	0 (NULO)	13 - 13 - 13	
Área Urbanizada	Área Urbana (Área Urbanizada)	2	255 - 124 - 128	

Fonte: Adaptado IBGE, 2007



Figura 35: Visão panorâmica de parte da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo. Foto: Fábio Lima, 2010.

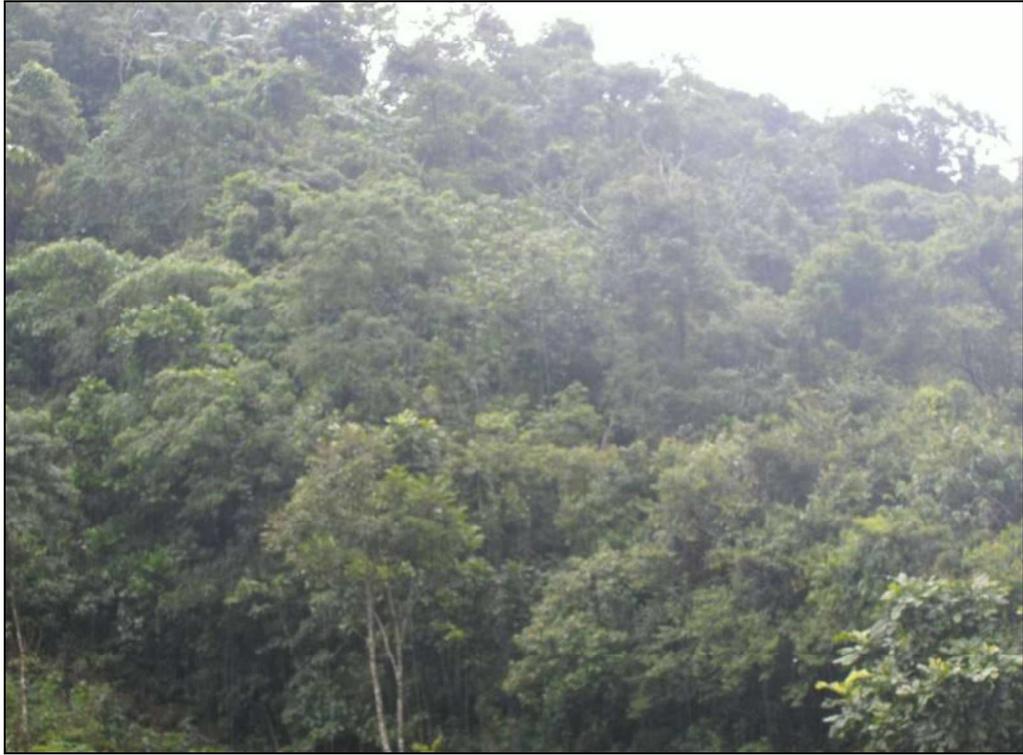


Figura 36: Trecho de Floresta Ombrófila Densa na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo. Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 37: Trecho de Floresta Ombrófila Densa, Área de Pastagem e Agricultura na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo. Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 38: Área de Pastagem sobre a atuação da erosão, laminar e por ravinas, na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo. Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 39: Área de Pastagem sobre a atuação do escoamento superficial, na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo. Foto: Fábio Lima, 2010.



Figura 40: Coleta de solo em Área de Pastagem, na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo. Foto: Fábio Lima, 2010.

Partindo da definição teórica de quais foram as classes do projeto e antes de entrar efetivamente na fase de classificação da imagem, o segundo passo foi realizar o processo de criação dos polígonos no software ArcGis 9.3, das fotografias aéreas 2717-3-NE e 2717-3-NO do ano de 2005 (Figura 41) e segmentação da imagem AVNIR-2 georreferenciada do ano de 2009 no software SPRING 5.1.4 (Figura 42).

A classificação das fotografias aéreas no software ArcGis 9.3, foi realizada na escala de trabalho de 1:25.000 objetivando um produto final na escala de 1:50.000. Cabe ressaltar que a delimitação das áreas em polígonos, e a conseqüente classificação do uso da terra, foi realizada através da vetorização.

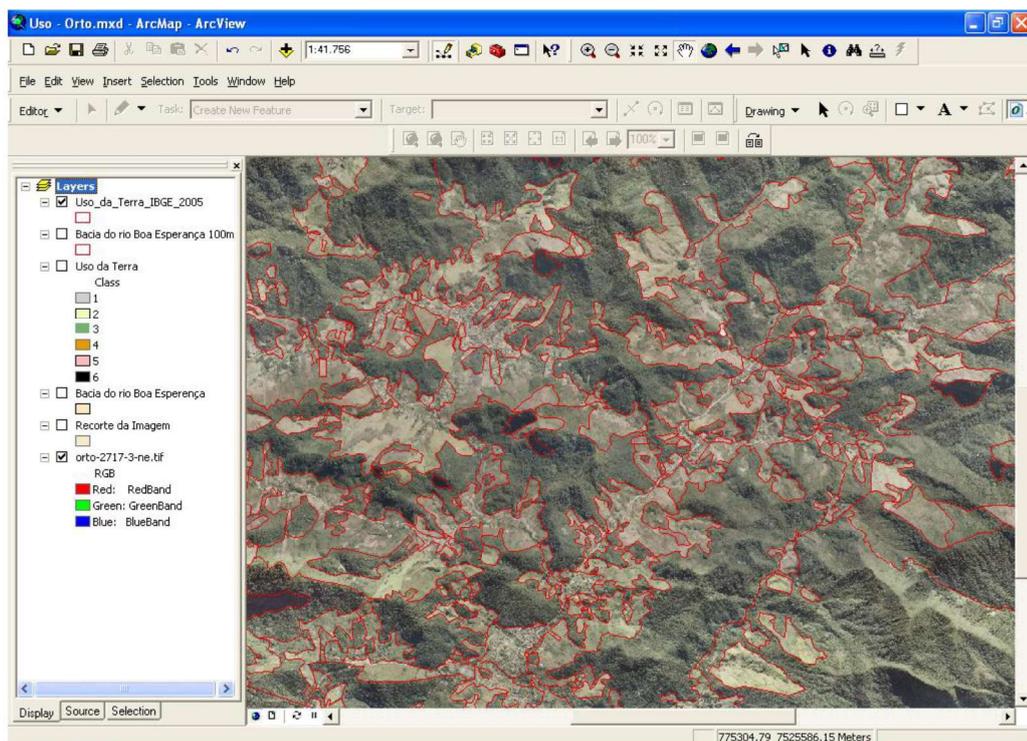


Figura 41: Execução do processo de delimitação dos polígonos no software ArcGis 9.3 para a Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo.

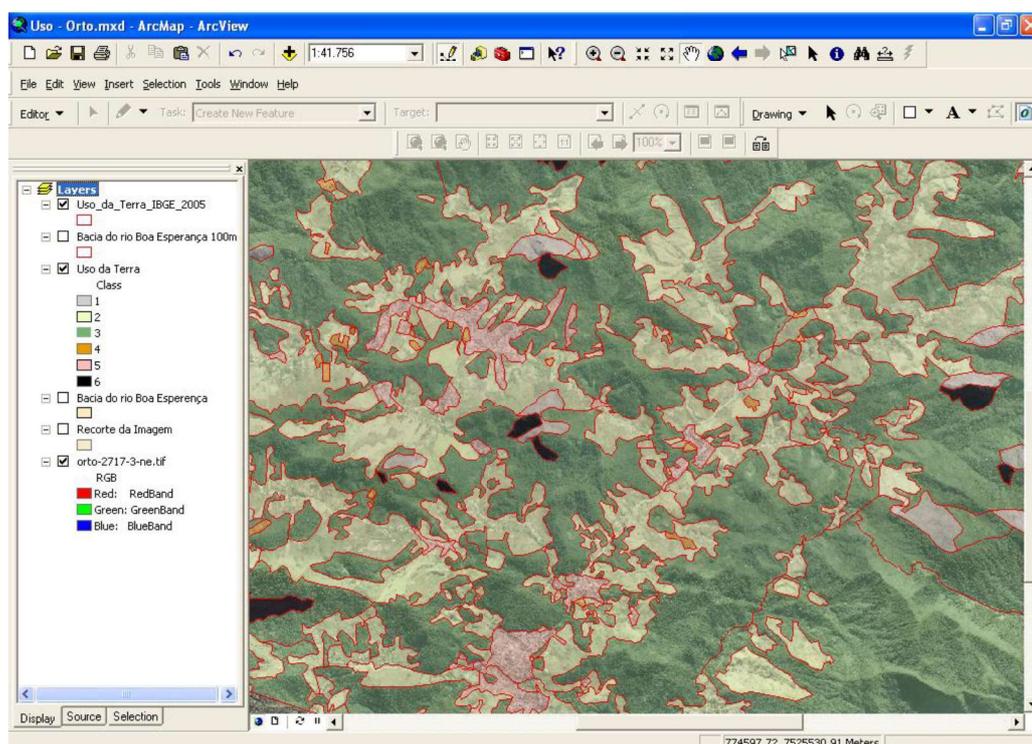


Figura 42: Execução do processo de classificação dos polígonos no software ArcGis 9.3 para a Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo.

O segundo processo consistiu na segmentação da imagem AVNIR-2, do ano de 2009, no software Spring 5.1.4. Essa segmentação teve como objetivo superar as limitações da classificação pixel a pixel, pois através desse procedimento a imagem é subdividida em regiões, conjunto de pixels contíguos, através do processo de crescimento de regiões, que corresponde a uma técnica de agrupamento de dados, nas quais só as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas.

Para agilizar o processo de segmentação, treinamento e classificação optou-se por recortar objetivando a redução da área a ser analisada, de acordo com os vértices apresentados no quadro abaixo (Tabela 9).

Tabela 9: Quadro dos vértices limites do polígono da área de entorno da Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança.

SIRGAS 2000		
VÉRTICE	E	N
1	765000	7535000
2	765000	7523500
3	787500	7523500
4	787500	7535000

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo fragmentar uma região, em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como, por exemplo, o nível de cinza dos pixels, textura e contraste (Woodcock *et al.* 1994).

Dessa forma, os valores do limiar de similaridade testados nesse estudo foram 45, 30 e 25, dos três valores testados o de similaridade 25 foi o que se obteve a melhor representação das feições presentes na imagem e gerou-se menor quantidade de polígonos indevidos (Figura 43).

A partir das áreas segmentadas a classificação foi realizada através do classificador por regiões Battacharya. Esse algoritmo mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Cabe salientar que o classificador Battacharya requer interação do usuário, através do treinamento, assim as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens (Figura 44).

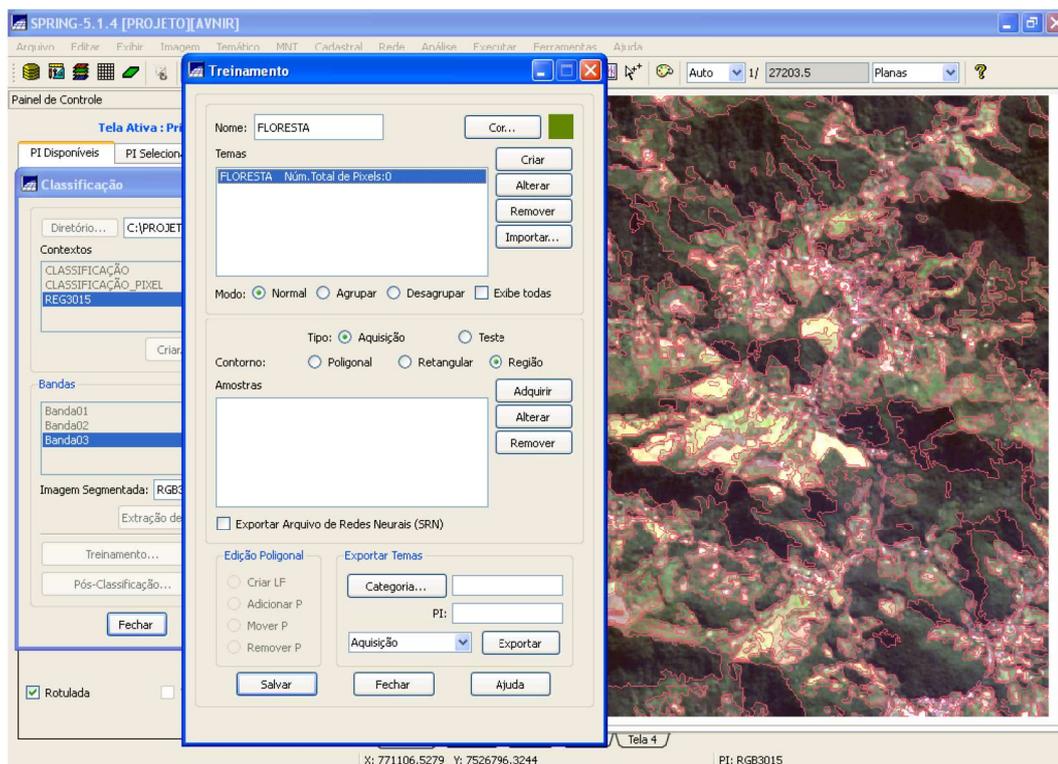
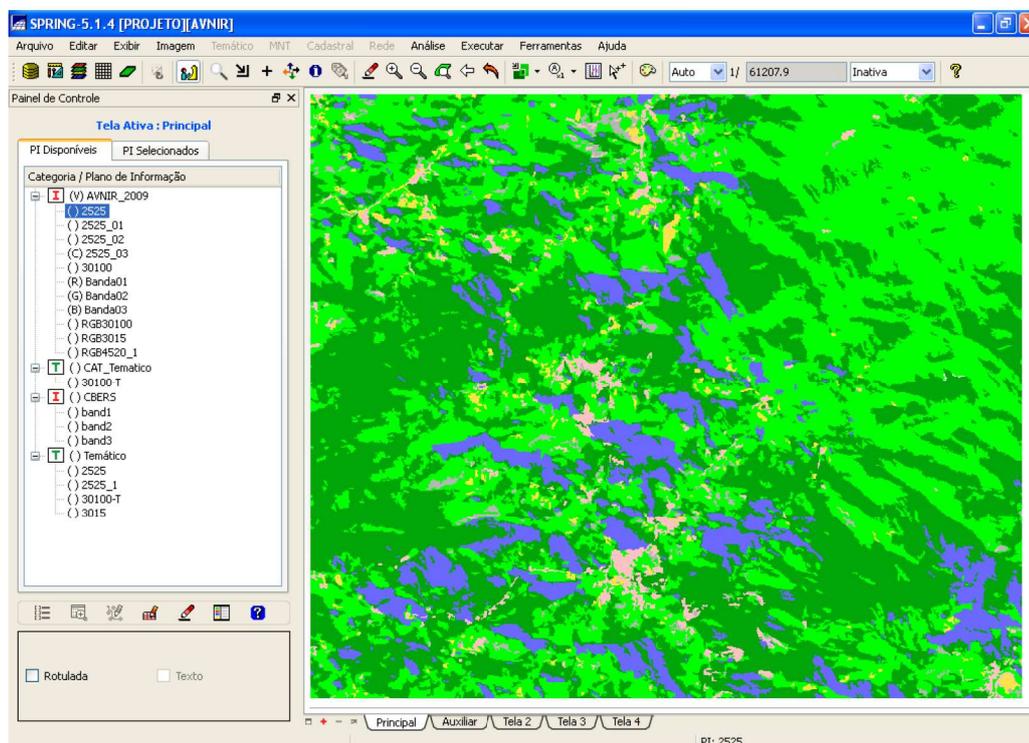


Figura 43: Execução dos processos de segmentação e treinamento por regiões para a classificação no software Spring 5.1.4 para a Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo.



* Cabe salientar que as áreas em azul correspondem a trechos não mapeados em função da sombra.

Figura 44: Execução do processo de classificação no software Spring 5.1.4 para a Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo.

5.5.3. Elaboração do mapa de declividade

O primeiro passo para a criação de um mapa de declividade é definir claramente qual unidade será utilizada, a declividade percentual ou grau de declividade, essa definição é fundamental, pois pode influenciar a análise espacial, comprometer a modelagem e o critério de atribuição de notas do mapa síntese.

A declividade percentual é obtida através da divisão entre a diferença de elevação entre dois pontos e pela distância horizontal entre eles, multiplicada por 100. Já o grau de declividade ou ângulo de inclinação da encosta, corresponde à tangente da fração entre a diferença de elevação entre dois pontos e pela distância horizontal entre eles. Dessa forma o ângulo pode ser calculado como arco tangente da divisão da diferença entre a Distância e a Elevação (USDA, 1993; Burrough e McDonell,1998; ESRI, 2010). Deste modo, a Figura 45 apresenta como calcular matematicamente tanto o grau de declividade quanto o percentual de declividade.

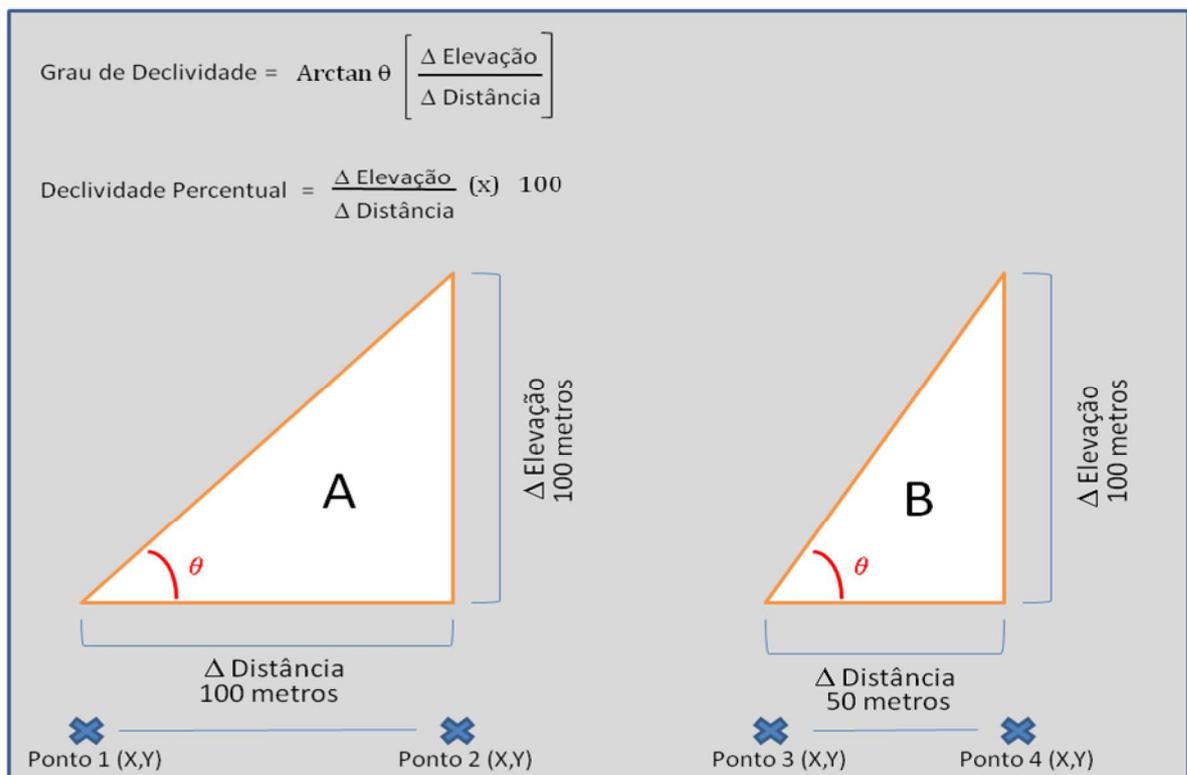


Figura 45: Equações utilizadas para calcular o grau de declividade e o percentual de declividade do relevo. Fonte: Adaptado de USDA, 1993; Burrough e McDonell,1998; ESRI, 2010.

Cabe salientar que as medidas de declividade em graus podem se aproximar de 90 graus e as medidas de declividade em percentual tendem ao infinito, os exemplos da Figura 45 são apresentados na Tabela 10 (USDA, 1993; Burrough e McDonell,1998).

Tabela 10: Quadro de exemplos da correlação entre os valores do grau de declividade e da declividade percentual.

EXEMPLO	GRAU DE DECLIVIDADE	DECLIVIDADE PERCENTUAL
A	45°	100 %
B	63°43'	200 %
C	6°	10,5 %
D	10°	17,6 %
E	15°	26,8 %
F	20°	36,4 %
G	25°	46,6%
H	26°34'	50 %
I	30°58'	60 %
J	34°59'	70 %
K	38°39'	80 %
L	40°	83,9 %
M	50°	119,2 %

Fonte: Adaptado USDA, 1993; Burrough e McDonell,1998.

Partindo dessa definição teórica a declividade adotada para a classificação foi o grau de declividade (ângulo de inclinação da encosta), e os intervalos foram baseados nos estudos de Ross (1994 e 2004) e do IBGE (2009), esse, por sua vez, foi baseado no trabalho de Jean Tricart (1977). Os intervalos e a sua conseqüente influência nos processos erosivos foram

definidas e agrupadas em cinco classes, são elas: Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte (Tabela 11). Cabe ressaltar que a classificação foi realizada no software ArcGis 9.3, em formato *raster* com o tamanho do pixel de 25 metros, objetivando um produto final na escala de 1:50.000 (Figura 46).

Tabela 11: Quadro de valores do grau de declividade (ângulo de inclinação da encosta).

CLASSIFICAÇÃO		
GRAU DE DECLIVIDADE	INFLUÊNCIA NA EROSIÃO	NOTAS
0 – 3 (GRAUS)	MUITO FRACA	1
3 – 8 (GRAUS)	FRACA	2
8 – 20 (GRAUS)	MODERADA	3
20 – 45 (GRAUS)	FORTE	4
> 45 (GRAUS)	MUITO FORTE	5

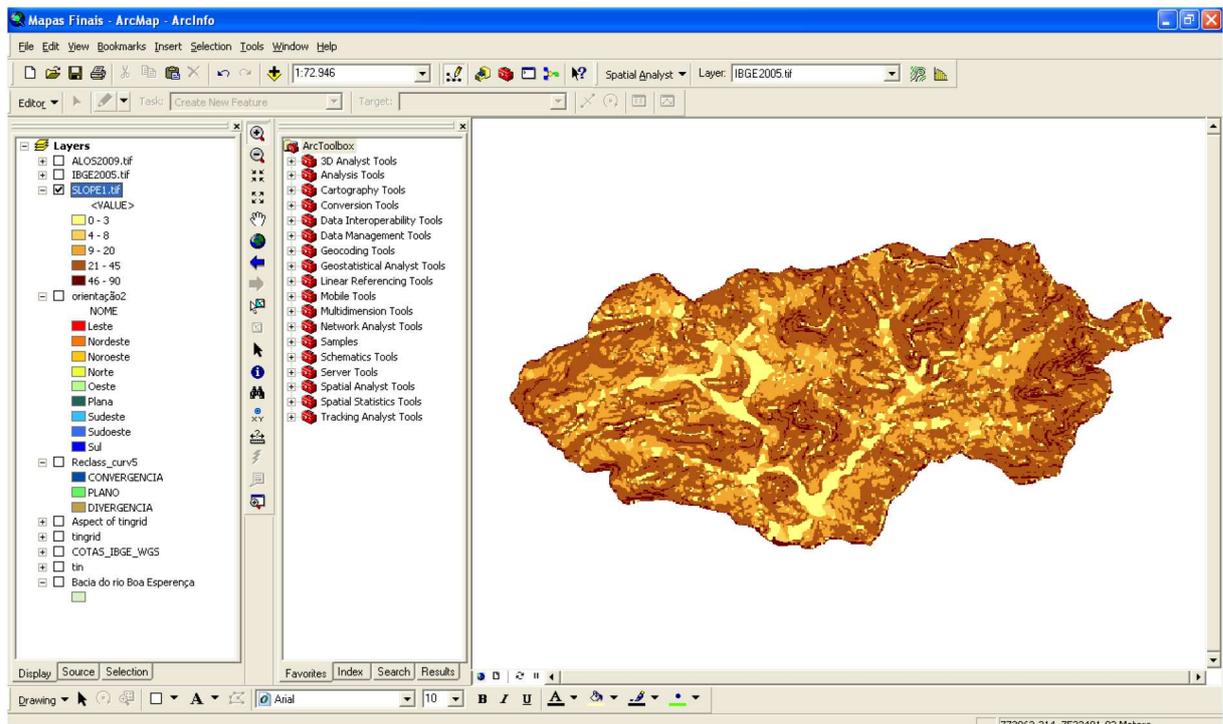


Figura 46: Elaboração do mapa do grau de declividade no software ArcGis 9.3.

5.5.4. Elaboração do mapa de convergência e divergência de fluxo

A partir da base topográfica da carta Quartéis na escala 1:50.000, foi elaborado o mapa de convergência e divergência de fluxo, através da ferramenta curvatura, no software ArcGis 9.3. Essa ferramenta utiliza um polinômio de quarta ordem para calcular, pixel a pixel, a curvatura de uma superfície. Cabe salientar que o cálculo do polinômio baseia-se em uma área de superfície de 3 x 3 pixels, com 9 valores de elevação, onde os coeficientes são calculados sucessivamente, a partir dessa superfície (Zeverbergen, *et al.*, 1987; Moore, *et al.*, 1991).

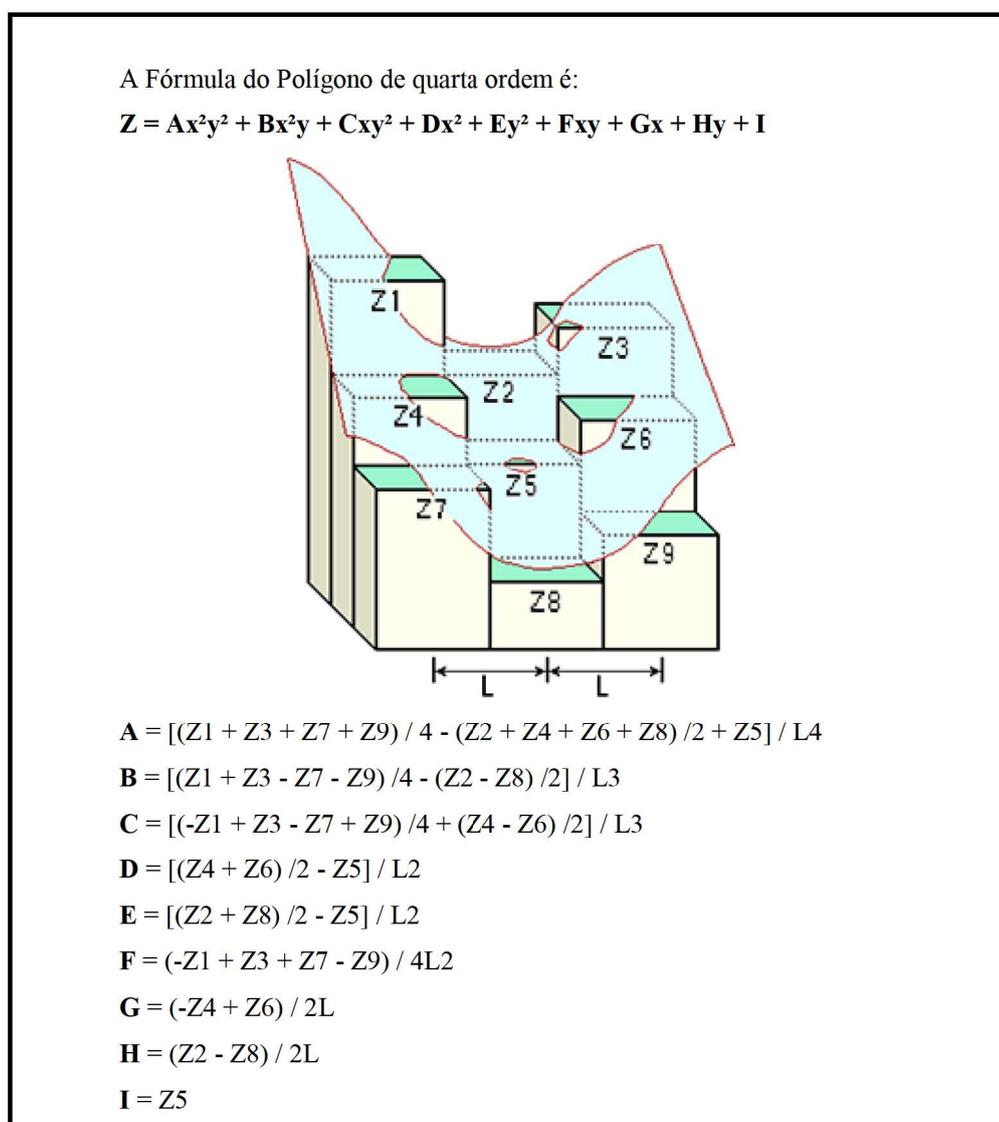


Figura 47: Apresenta a equação e o diagrama da curvatura com os valores de elevação de cada célula, para a obtenção dos nove valores que completam a fórmula. Fonte: ESRI, 2010; Zeverbergen, *et al.*, 1987; Moore, *et al.*, 1991.

A ferramenta curvatura pode ser usada para descrever as características físicas de uma bacia de drenagem, assim como pode ser utilizada para compreender os processos de erosão e de escoamento superficial, pois em função da convergência e da divergência do fluxo a curvatura é responsável por influenciar a aceleração e desaceleração do fluxo na encosta e, portanto, influencia a erosão e deposição dos sedimentos.

Após a aplicação do modelo, a validação é efetuada através da sobreposição da curvatura em formato *raster* face os contornos em formato *shape file*, tal procedimento auxilia na compreensão, interpretação e validação dos dados resultantes da execução da ferramenta de curvatura (Tabela 12 e Figura 48).

Tabela 12: Quadro de caracterização da encosta em função do calculo da curvatura obtido pelo polinômio de quarta ordem.

CLASSIFICAÇÃO DA CURVATURA DA ENCOSTA			
FLUXO	TIPO DE ENCOSTA	RESULTADO DO POLINÔMIO DE QUARTA ORDEM	NOTAS
CONVERGÊNCIA	CÔNCAVA	QUANDO O VALOR FOR NEGATIVO	5
DIVERGÊNCIA	CONVEXA	QUANDO O VALOR FOR POSITIVO	3
-	PLANA - RETILÍNEA	QUANDO O VALOR FOR IGUAL A ZERO	1

Fonte: Adaptado de Zevenbergen, *et al.*, 1987; Moore, *et al.*, 1991.

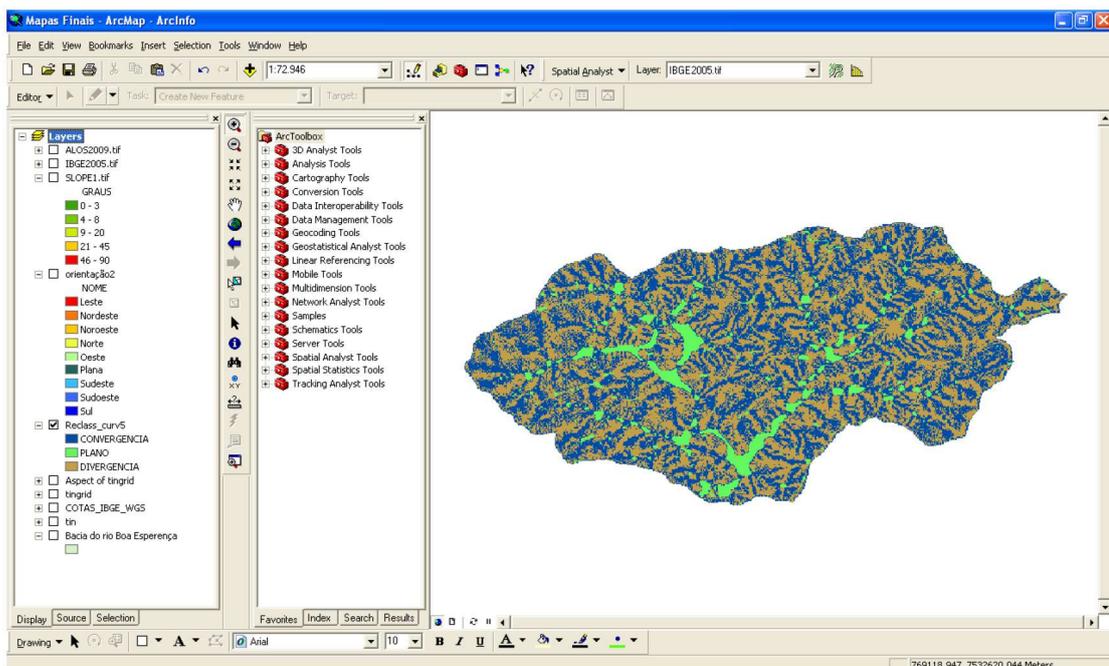


Figura 48: Elaboração do mapa de convergência e divergência de fluxo através da execução da ferramenta de curvatura no software ArcGIS 9.3.

5.5.5. Elaboração do mapa de orientação da encosta

O processo de elaboração do mapa de orientação ou direção de encosta foi embasado nos dados da base topográfica do IBGE, da carta Quartéis, na escala 1:50.000, e realizado através da ferramenta aspecto, do software ArcGis 9.3, essa ferramenta identifica a direção de declive do pixel em relação aos seus vizinhos. Os resultados obtidos compõem uma grade de orientação angular que varia de 0 (zero) a 360 (trezentos e sessenta), em direção horária voltada para o norte geográfico, tal orientação obedece ao georreferenciamento da base topográfica (Tabela 13).

Tabela 13: Quadro de classificação da orientação da encosta em função do norte Geográfico.

CLASSIFICAÇÃO		
ORIENTAÇÃO OU DIREÇÃO DE ENCOSTA	ANGULAÇÃO DE ACORDO COM O NORTE GEOGRÁFICO	NOTA
ÁREA PLANA	Valor Negativo (- 1)	1
NORTE	0° – 22,5° e 337,5° – 360°	2
NORDESTE	22,5° – 67,5°	2
LESTE	67,5° – 112,5°	3
SUDESTE	112,5° – 157,5°	3
SUL	157,5° – 202,5°	3
SUDOESTE	202,5° – 247,5°	3
OESTE	247,5° – 292,5°	2
NOROESTE	292,5 – 337,5°	2

A ferramenta aspecto do software ArcGis 9.3, baseada nos trabalhos de Burrough e McDonell (1998), pode ser usada para descrever as características físicas de uma bacia de drenagem, assim como pode ser utilizada para compreender os processos de erosão e de escoamento superficial, em função da definição da orientação da encosta e direção do fluxo na mesma.

Cabe ressaltar que a elaboração do mapa de orientação da encosta através da execução da ferramenta de aspecto no software ArcGis 9.3. foi realizada em formato *raster* com o tamanho do pixel de 25 metros, objetivando um produto final na escala de 1:50.000 (Figura 49).

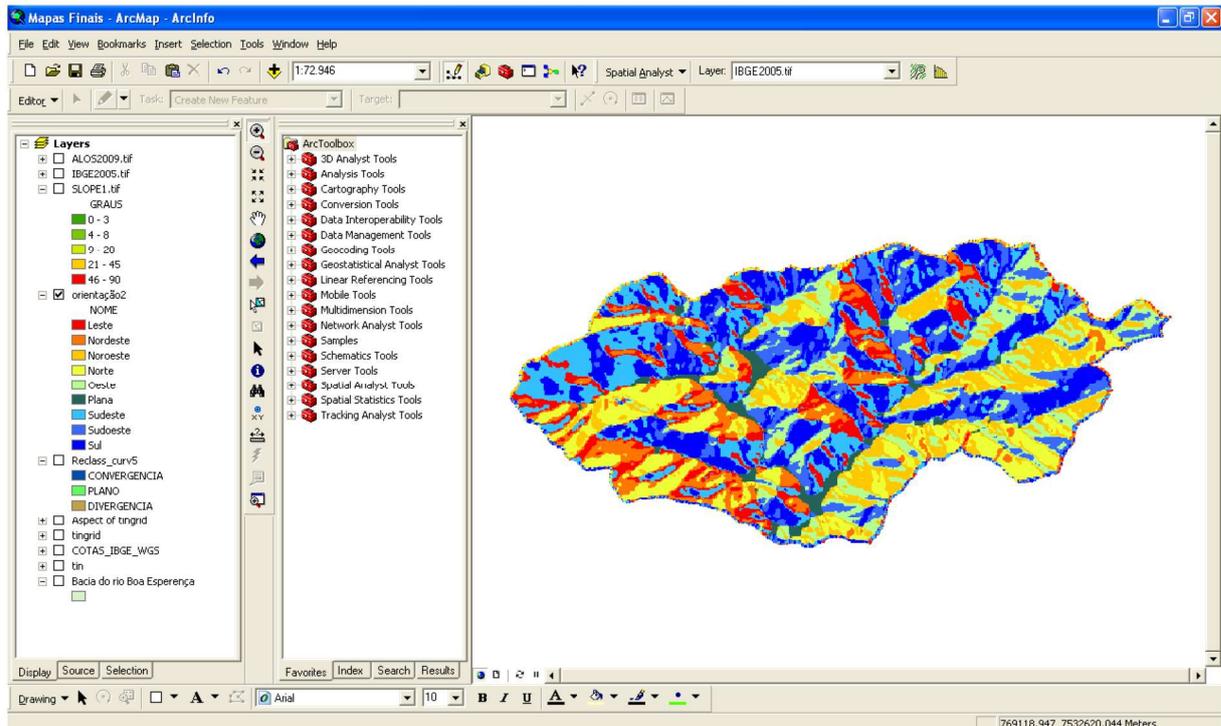


Figura 49: Elaboração do mapa de orientação da encosta através da execução da ferramenta de aspecto no software ArcGis 9.3.

5.5.6. Elaboração do mapa de vulnerabilidade do solo

O processo de elaboração do mapa de vulnerabilidade partiu do princípio que as classes de uso da terra, que atualmente correspondem ao solo exposto, áreas de pastagem e áreas de agricultura em um determinado período já foram floresta (MMA, 2010). Dessa forma, uma proteção contínua ao solo era efetuada por essa cobertura vegetal, que por sua vez era responsável por minimizar a atuação dos processos erosivos deixou de existir, deixando os solos expostos à ação das intempéries e dos processos erosivos gerados pela água durante o escoamento superficial.

A Tabela 14 apresenta a classificação do uso da terra, de acordo com o critério do IBGE (2006) e as respectivas classes de vulnerabilidade do solo. Entretanto, existem duas particularidades as classes sombra e afloramento, foram classificadas, respectivamente, como não se aplica e nula. A primeira em função da não possibilidade em reconhecer claramente um determinado uso da terra. A segunda se dá por que nos afloramentos rochosos, onde efetivamente a rocha está exposta, não existe erosão do solo, e sim intemperismo da mesma, que pode ser físico ou químico.

Tabela 14: Quadro de correlação entre a classificação do uso da terra e as classes de vulnerabilidade do solo a erosão.

CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA	VULNERABILIDADE
ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATURAL	BAIXA
ÁREAS ANTRÓPICAS AGRÍCOLAS	ALTA
SOLO EXPOSTO	MUITO ALTA
AFLORAMENTO ROCHOSO	NULA
SOMBRA	N/A
ÁREA URBANIZADA	MÉDIA

Fonte: Adaptado IBGE, 2006.

5.5.7. Elaboração do mapa de susceptibilidade do solo a erosão

O processo de elaboração do mapa de susceptibilidade do solo a erosão utilizou como embasamento os dados obtidos das análises realizadas nas amostras de solo coletadas na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança. A análise da textura foi realizada de forma indireta no software ArcGis 9.3., ou seja, foram elaborados três mapas um para cada fração (areia, silte e argila), através desta correlação foi elaborado o mapa de textura (Figura 50).

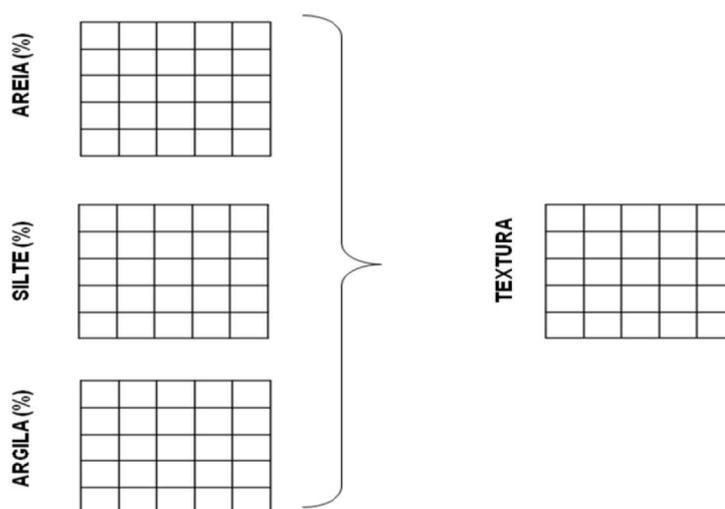


Figura 50: Execução do processo de modelagem, pixel a pixel, para a classificação de textura no software ArcGis 9.3.

Cabe salientar que para a análise da textura foi necessária a utilização dos dados de três pontos de coleta obtidos por Lima (2008) na área de entorno da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança.

A análise da matéria orgânica, em especial a definição do carbono orgânico possibilita identificar os solos que possuem maior ou menor resistência à erosão, em função do comportamento semelhante ao da argila no solo (IBGE, 2007).

Outro dado importante é a porosidade do solo, que foi obtido através da relação entre a densidade aparente e a densidade real do solo. A porosidade é um dado importante, pois possibilita a identificação dos locais onde a infiltração é maior ou menor, tanto de sua permeabilidade quanto da sua capacidade de retenção de água, nesse sentido podemos identificar os locais de maior ou menor influência de escoamento superficial (IBGE, 2007).

Dessa forma, através da análise espacial desses dados do solo é possível identificar as

áreas da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança onde os solos são mais suscetíveis à ação das intempéries e dos processos erosivos gerados pela água durante o escoamento superficial.

Cabe salientar que com os 10 pontos de coleta na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança foram elaborados os mapas de distribuição da textura, da porosidade e do carbono orgânico, para o mapa de suscetibilidade, através da execução do interpolador *spline* com barreiras no software ArcGis 9.3 (Figura 51). As tabelas 15, 16, 17 e 18 apresentam as correlações entre as análises de solo e o seu respectivo enquadramento na classificação de suscetibilidade do solo à erosão.

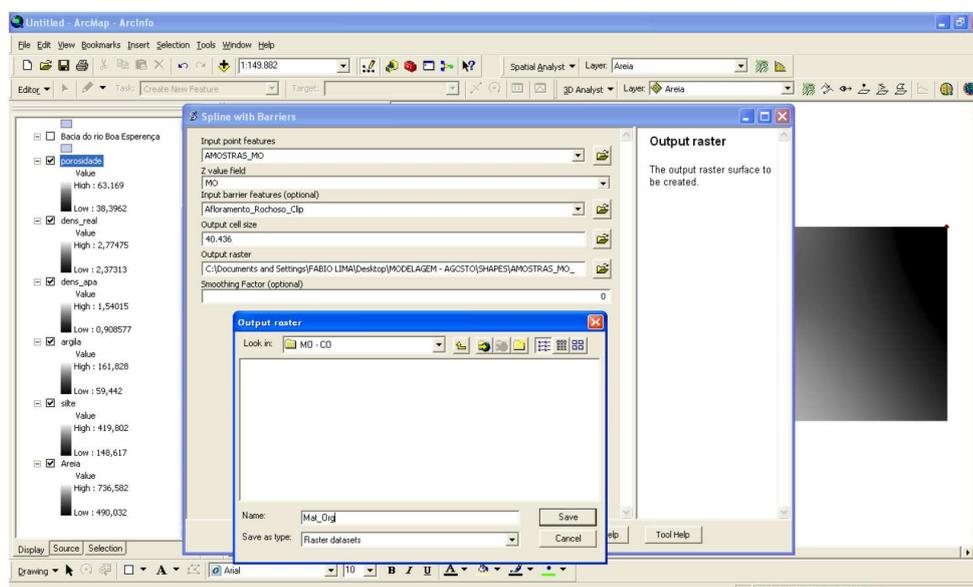


Figura 51: Elaboração do mapa de distribuição da matéria orgânica, para o mapa de suscetibilidade, através da execução do interpolador *spline* com barreiras no software ArcGis 9.3.

Tabela 15: Quadro de correlação entre as análises de solo e as classes de suscetibilidade do solo a erosão.

TEXTURA	CLASSES TEXTURAIS	CRITÉRIOS	NOTA
SILTOSA	SILTOSA	MAIS DE 65% DE SILTE; MENOS DE 15% DE AREIA E MENOS DE 35% DE ARGILA	5
MÉDIA	FRANCO-SILTOSA, FRANCO-ARGILO-SILTOSA, FRANCO, FRANCO-ARGILOSA, FRANCO-ARGILO-ARENOSA e FRANCO-ARENOSA	MENOS DE 35% DE ARGILA E MAIS DE 15% DE AREIA	4
ARENOSA	AREIA e AREIA-FRANCA	CLASSES TEXTURAIS AREIA E AREIA-FRANCA	3
ARGILOSA	ARGILOARENOSA, ARGILA e ARGILO-SILTOSA	DE 35% A 60% DE ARGILA	2
MUITO ARGILOSA	MUITO ARGILOSA	MAIS DE 60% DE ARGILA	1

Tabela 16: Quadro de correlação entre as análises de solo e as classes de suscetibilidade do solo à erosão.

POROSIDADE	CRITÉRIO	NOTA
MUITO BAIXA	> 45 %	5
BAIXA	45 – 50 %	4
MODERADA	50 – 55 %	3
ALTA	55 – 60 %	2
MUITO ALTA	> 60 %	1

Fonte: Adaptado EMBRAPA, 1997.

Tabela 17: Quadro de correlação entre as análises de solo e as classes de suscetibilidade do solo a erosão.

CARBONO ORGÂNICO	CRITÉRIOS (%)	NOTA
MUITO BAIXO	0 - 2	5
BAIXO	2 - 3	4
MODERADO	3 - 4	3
ALTO	4 - 5	2
MUITO ALTO	> 6	1

Tabela 18: Quadro de correlação entre as análises de solo e as classes de suscetibilidade do solo a erosão.

CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE	SOMATÓRIO DAS NOTAS
ALTISSIMA	13 - 15
MUITO ALTA	11 - 12
ALTA	8 - 10
MÉDIA	6 - 7
BAIXA	3 - 5

As Figuras 52 e 53 apresentam o processo de classificação do carbono orgânico em cinco classes, de acordo com a Tabela 18, para a correlação entre as análises de solo e as classes de suscetibilidade do solo a erosão, através da ferramenta *calculate raster* do software ArcGis 9.3.

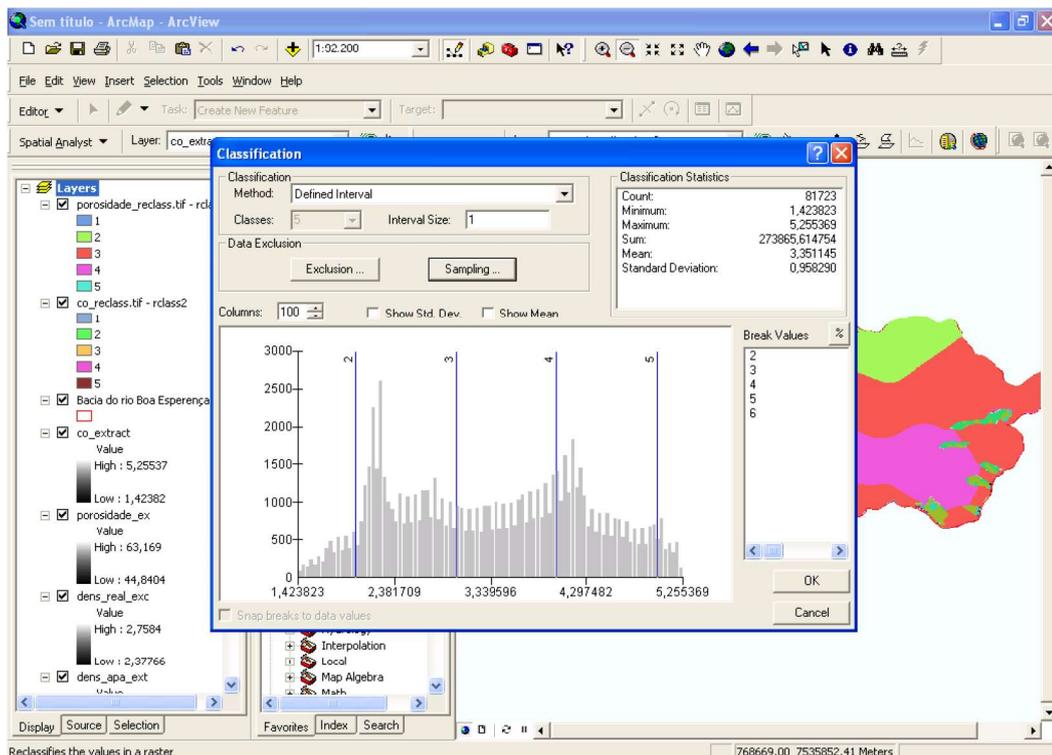


Figura 52: Reclassificação da imagem de acordo com as notas no software ArcGis 9.3., nota-se os trechos de afloramento rochoso não foram processados.

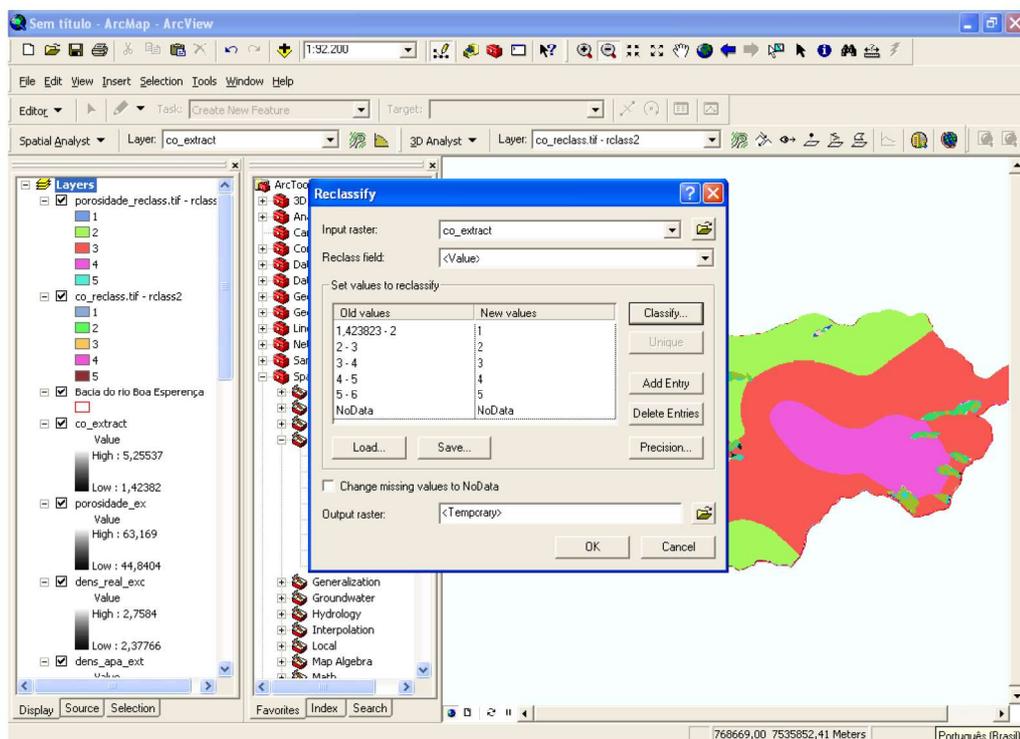


Figura 53: Resultado Reclassificação da imagem de acordo com as notas no software ArcGis 9.3., nota-se os trechos de afloramento rochoso não foram processados.

5.6. Definição dos critérios para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental

Essa etapa consistiu na definição dos critérios para a elaboração do mapa síntese de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Boa Esperança, onde foram definidos os fatores e as suas notas parciais e totais, são eles:

- Fator solo (susceptibilidade à erosão) com 30 % do peso do modelo (Tabela 19).
- Fator uso da terra (vulnerabilidade do solo) com 30 % do peso do modelo (Tabela 20).
- Fator topográfico (Inclinação da Encosta, Forma da Encosta e Orientação da Encosta), com 40 % do peso do modelo (Tabela 21).

Cabe ressaltar que para essa dissertação a pluviosidade na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança será considerada constante, tal procedimento é explicado em função da existência de apenas uma estação estar funcionando com dados atuais e satisfatórios, no Município de Nova Friburgo. Dessa forma, os dados pluviométricos obtidos serão considerados para toda a bacia hidrográfica.

Tabela 19: Quadro de critérios de atribuição de notas para o fator solo (Mapa de Susceptibilidade).

FATOR SOLO		
01 – MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE		
CLASSIFICAÇÃO	NOTA POR CLASSE	NOTA GERAL
ALTISSIMA	5	30 %
MUITO ALTA	4	
ALTA	3	
MÉDIA	2	
BAIXA	1	

Tabela 20: Quadro de critérios de atribuição de notas para o fator uso da terra (Mapa de Vulnerabilidade).

FATOR USO DA TERRA		
01 – MAPA DE USO DA TERRA / MAPA DE VULNERABILIDADE		
CLASSIFICAÇÃO	NOTA POR CLASSE	NOTA GERAL
ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATURAL	1	30 %
ÁREAS ANTRÓPICAS AGRÍCOLAS	4	
SOLO EXPOSTO	5	
AFLORAMENTO ROCHOSO	0 (NULO)	
SOMBRA	0	
ÁREA URBANIZADA	2	

Tabela 21: Quadro de critérios de atribuição de notas para o fator topográfico.

FATOR TOPOGRÁFICO		
01 – INCLINAÇÃO DA ENCOSTA – GRAU DE DECLIVIDADE		
CLASSIFICAÇÃO	NOTA POR CLASSE	NOTA GERAL
0 – 3 (GRAUS)	1	15 %
3 – 8 (GRAUS)	2	
8 – 20 (GRAUS)	3	
20 – 45 (GRAUS)	4	
> 45 (GRAUS)	5	
02 – FORMA DA ENCOSTA		
CLASSIFICAÇÃO	NOTA POR CLASSE	NOTA GERAL
CÔNCAVA (Curvatura Negativa)	5	15%
CONVEXA (Curvatura Positiva)	3	
RETILÍNEA - PLANA (Valor da Curvatura igual a Zero)	1	
03 – ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA		
CLASSIFICAÇÃO	NOTA POR CLASSE	NOTA GERAL
ÁREA PLANA (Valor Negativo)	1	10%
NORTE (337,5° – 22,5°)	2	
NORDESTE (22,5° – 67,5°)	2	
LESTE (67,5° – 112,5°)	3	
SUDESTE (112,5° – 157,5°)	3	
SUL (157,5° – 202,5°)	3	
SUDOESTE (202,5° – 247,5°)	3	
OESTE (247,5° – 292,5°)	2	
NOROESTE (292,5 – 337,5°)	2	

5.7. Definição do layout dos mapas temáticos

Essa etapa consistiu na definição dos critérios de apresentação do mapa, ou seja, o *layout* final dos mapas temáticos, que foram projetados para a área de estudo da dissertação, Bacia Hidrográfica do Rio Boa Esperança, e em formato paisagem em A3, o que corresponde a uma área de impressão de 29,7 cm de altura por 42 cm de largura (Figura 54), com as seguintes características:

- I- Norte Geográfico;
- II- Área de Estudo;
- III- Escala Gráfica (em quilômetros);
- IV- Mapa de Localização;
- V- Legenda do Mapa Temático com as Notas das Classes;
- VI- Logotipo de UFRJ;
- VII- Logotipo do Lagesolos;
- VIII- Informações do Mapa (Sistema de Coordenadas UTM – Zona 23 SUL; Datum SIRGAS2000; Escala de apresentação dos mapas temático 1:50.000; Nome do autor dos mapas temáticos); e
- IX- Afastamento de 3 cm da margem esquerda para ser utilizado na encadernação sem a perda das informações do mapa temático.

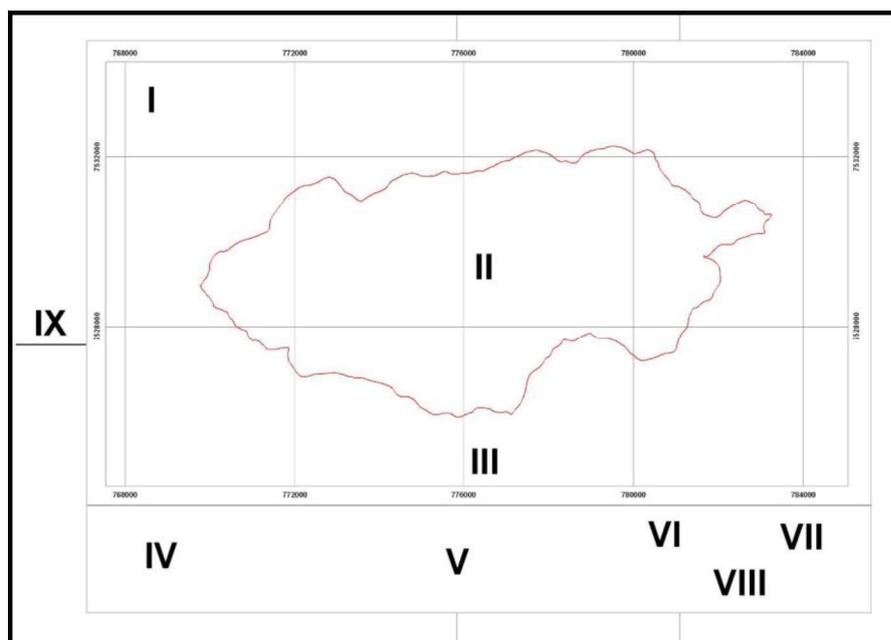


Figura 54: Modelo do Layout dos mapas temáticos projetado para a utilização no software ArcGis 9.3.

6. RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em tópicos e de acordo com cada tema descrito na metodologia, iniciando nas análises de solos realizadas nos laboratórios da Universidade Federal do Rio de Janeiro e na Universidade Federal Fluminense, abrangendo as análises texturais, do teor de matéria orgânica, densidade aparente, densidade real, porosidade e os limites de Attemberg, passando pela elaboração dos mapas temáticos e aplicação dos critérios de forma cronológica. Dessa forma, para a execução das modelagens, elaboração dos mapas temáticos e análise de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, em especial em relação aos processos erosivos superficiais, foram necessárias as seguintes etapas:

I – Elaboração e análise do mapa de uso da terra e vulnerabilidade do solo;

II – Elaboração e análise do mapa de declividade (grau de declividade ou ângulo de inclinação da encosta);

III – Elaboração e análise do mapa de forma da encosta;

IV – Elaboração e análise do mapa de orientação da encosta;

V – Elaboração e análise do mapa de susceptibilidade do solo a erosão; e

VI – Elaboração e análise do mapa da fragilidade ambiental.

O mapa síntese da fragilidade ambiental da área de estudo foi elaborado através da correlação desses mapas temáticos, tendo como base a execução de uma modelagem matemática, no formato matricial com o tamanho do pixel projetado para 25 x 25 metros, analisados sob uma perspectiva conceitual que utiliza como critério a atribuição de notas em função da influencia dos fatores que influenciam os processos erosivos causados pela água durante o escoamento superficial.

6.1. Resultados das análises dos solos -

Os resultados obtidos através das análises dos solos da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, que foram baseados em classificações granulométricas detalhadas e que são adequadas em estudos para determinação da erodibilidade dos solos. Apontaram para um alto teor de silte, com um valor médio de 47,07%, principalmente nas amostras 1, 4, 6, 7 e 9 (superficial) e 4, 6, 9 10 (sub-superficiais) que apresentaram teores superiores a 50% de silte no solo, o que caracterizam esses solos como altamente susceptíveis a erosão (Tabela 22).

Os menores valores registrados para a área de estudo foram obtidos nas amostras 3 (superficial) e 2 (sub-superficial), respectivamente com valores de 31,2%, e 32,5%, que associado as porcentagens de argila encontradas nessas amostras, 14,8% e 20,3%, as caracterizam como sendo de menor erodibilidade, ou seja, são as que apresentam um predomínio das frações de menor suscetibilidade a erosão (Tabela 22).

A média do teor de argila para as amostras analisadas foi de 12,5%, o menor valor registrado na área de estudo foi 5,1% encontrado na amostra 9 (superficial). Cabe salientar que de todas as amostras analisadas, essa amostra foi a que apresentou o resultado mais crítico, baixo teor de argila e alto teor de silte, condições essas que favorecem a atuação dos processos erosivos causados pela água durante o escoamento superficial, principalmente quando o solo está exposto o sem cobertura vegetal protetora, ou seja, vulnerável (Tabela 22).

No tocante a fração areia, a média encontrada para as amostras analisadas foi de 40,36%, o maior valor registrado na área de estudo foi 54% encontrado na amostra 3 (superficial). Já o menor valor registrado na área de estudo foi 31,8% encontrado na amostra 6 (superficial).

A caracterização e divisão das frações permitem uma classificação mais detalhada, como a fração areia muito fina apresenta um comportamento muito semelhante ao silte e em função dos resultados terem sido obtidos com maior precisão no analisador de partículas, indica que quando são somadas as frações areia muito fina e silte a amostra que apresenta uma maior suscetibilidade a erosão é a número 6 (superficial) com 67,4% da textura composta por esses valores.

A Figura 55 apresenta os gráficos ilustrativos da classificação granulométrica dos dez pontos de coleta do solo, permitem uma análise visual da distribuição do percentual de cada

fração areia, silte e argila, tanto para as amostras superficiais, coletadas na profundidade de 0-20 cm, quanto para as amostras sub-superficiais, coletadas na profundidade de 20-40 cm.

Tabela 22: Quadro de classificação granulométrica das amostras de solo coletadas (0-20 cm e 20-40 cm de profundidade).

EMBRAPA SBCS	NOMENCLATURA	AREIA GROSSA			AREIA FINA		SILTE	ARGILA
	TAMANHO	2 – 0,2 mm			0,2 – 0,05 mm		0,05 – 0,002 mm	<0,002 mm
USDA	NOMENCLATURA	AREIA MUITO GROSSA	AREIA GROSSA	AREIA MÉDIA	AREIA FINA	AREIA MUITO FINA	SILTE	ARGILA
	TAMANHO / PONTOS	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,10 mm	0,10-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm
PONTOS (0-20 cm)	1	8,3%	17,3%	0,01%	0,6%	6,3%	57,7%	9,8%
	2	7,8%	15,5%	1,3%	7,2%	12,2%	43,1%	13,0%
	3	7,8%	23,2%	4,6%	12,0%	6,5%	31,2%	14,8%
	4	7,6%	14,0%	1,6%	7,6%	11,5%	51,6%	6,1%
	5	9,6%	18,6%	1,1%	8,0%	10,8%	39,0%	12,9%
	6	4,4%	9,6%	1,9%	6,3%	9,9%	57,5%	10,6%
	7	2,6%	15,2%	1,4%	8,3%	8,6%	54,1%	9,8%
	8	7,2%	15,1%	1,7%	6,7%	7,4%	47,5%	14,4%
	9	6,7%	15,1%	1,6%	6,4%	6,4%	58,7%	5,1%
	10	4,1%	16,1%	3,1%	9,5%	5,8%	45,8%	15,7%
PONTOS (20-40 cm)	1	11,0%	17,5%	1,9%	6,2%	4,5%	49,8%	9,1%
	2	7,5%	13,9%	1,9%	14,5%	9,4%	32,5%	20,3%
	3	8,4%	16,6%	3,8%	10,2%	12,2%	35,7%	13,2%
	4	10,6%	14,2%	0,01%	1,0%	8,6%	56,2%	9,4%
	5	12,7%	18,1%	4,4%	6,0%	2,8%	37,7%	18,4%
	6	3,1%	9,6%	2,9%	8,1%	9,9%	56,1%	10,3%
	7	5,0%	16,2%	9,9%	8,4%	13,6%	37,0%	9,8%
	8	10,6%	15,8%	0,03%	0,9%	6,4%	47,4%	18,8%
	9	6,1%	10,1%	2,6%	7,0%	7,3%	51,8%	15,2%
	10	6,1%	11,5%	1,9%	7,5%	7,3%	51,0%	14,7%
ESTATÍSTICAS								
Valor Mínimo		2,60%	9,60%	0,01%	0,60%	2,80%	31,20%	5,10%
Média		7,36%	15,16%	2,38%	7,12%	8,37%	47,07%	12,57%
Valor Máximo		12,70%	23,20%	9,90%	14,50%	13,60%	58,70%	20,30%
Desvio Padrão		2,7%	3,3%	2,2%	3,4%	2,8%	8,9%	4,1%

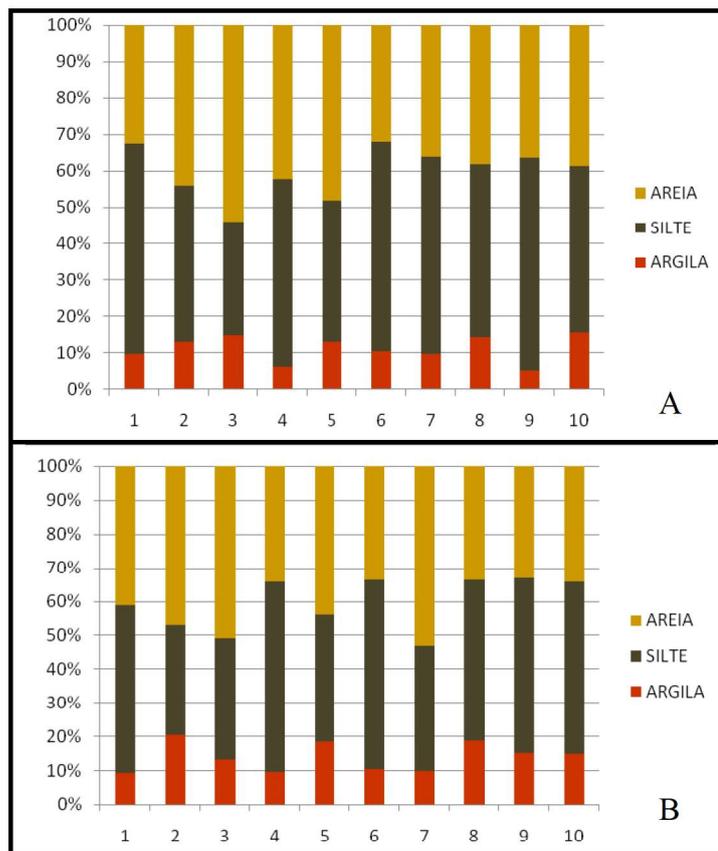


Figura 55: Gráficos ilustrativos da classificação granulométrica dos dez pontos de coleta do solo (A – profundidade de 0-20 cm e B - profundidade de 20-40 cm).

Tendo como base os dados obtidos por meio da análise granulométricas dos dez pontos de coleta do solo, superfície e subsuperfície, e das respectivas 20 amostras, foram traçados os gráficos das curvas granulométricas (Figuras 56 e 57). Cabe salientar que as análises das amostras resultaram em valores pontuais apresentados na tabela 22 e enquadrados de acordo com os seus diâmetros específicos, ou seja, nas frações granulométricas.

A curva granulométrica consiste na transformação dos valores pontuais em funções contínuas que baseiam-se no diâmetro da partícula em milímetros e a porcentagem de material que passa nas respectivas peneiras, os valores pontuais. Essa análise permite realizar um comparativo entre os resultados das amostras coletadas em superfície, assim como comparar os resultados das amostras coletadas em sub-superfície.

Tendo como base três classes granulométricas, argila, silte e areia, os resultados obtidos para as amostras superficiais, 0 a 20 cm de profundidade, indicam que a amostra 6 apresenta o menor teor de areia, cujo somatório dos valores pontuais corresponde a 32,1%, e a

amostra 3 apresenta o maior teor de areia, cujo somatório dos valores pontuais corresponde a 54,1% (Figura 56).

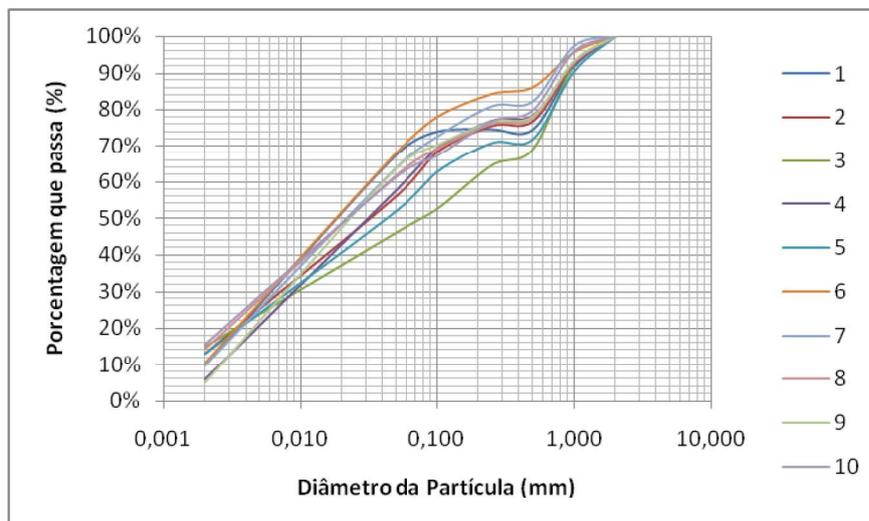


Figura 56: Gráfico da curva granulométrica dos dez pontos de coleta do solo (profundidade de 0-20 cm).

Já os resultados obtidos para as amostras sub-superficiais, 20 a 40 cm de profundidade, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), indicam que a amostra 6 apresenta o menor teor de areia grossa, cujo somatório dos valores pontuais corresponde a 15,6%, já a amostra 5 apresenta o maior teor de areia, principalmente das frações mais grosseiras, cujo somatório dos valores pontuais correspondem a 35,2% de areia grossa e 8,8% de areia fina (Figura 57).

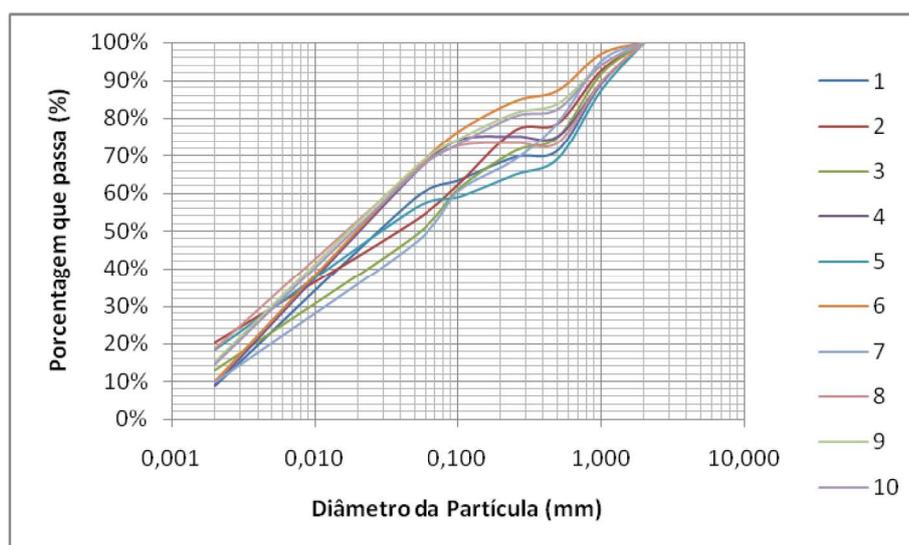


Figura 57: Gráfico da curva granulométrica dos dez pontos de coleta do solo (profundidade de 20-40 cm).

De acordo com o IBGE (2007) várias frações ocorrerem no solo, sempre em combinações as mais diversas possíveis, dessa forma se faz necessário agrupamento em classes texturais. Nesse sentido, os resultados obtidos através das análises granulométricas dos solos da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança foram enquadrados nas classes texturais correspondem a Franco, Franco-siltosa e Franco-arenosa (Tabela 23), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Lemos & Santos, 1996; USDA, 1993; EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007).

Tabela 23: Quadro de classificação textural das amostras de solo coletadas (0-20 cm e 20-40 cm de profundidade).

PONTOS	CLASSIFICAÇÃO SBCS	CLASSIFICAÇÃO USDA	PONTOS	CLASSIFICAÇÃO SBCS	CLASSIFICAÇÃO USDA
PROFUNDIDADE 0-20 cm	1	Franco-siltosa	1	Franco	Loam
	2	Franco	2	Franco	Loam
	3	Franco-arenosa	3	Franco	Loam
	4	Franco-siltosa	4	Franco-siltosa	Silt loam
	5	Franco	5	Franco	Loam
	6	Franco-siltosa	6	Franco-siltosa	Silt loam
	7	Franco-siltosa	7	Franco-arenosa	Sandy loam
	8	Franco	8	Franco	Loam
	9	Franco-siltosa	9	Franco-siltosa	Silt loam
	10	Franco	10	Franco-siltosa	Silt loam
		PROFUNDIDADE 20-40 cm			

Fonte: USDA (1993) e Embrapa (1997 e 2006).

A relação entre as frações silte e argila permite identificar o grau de intemperismo do solo, assim como a caracterização dos mesmos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007). Nesse sentido, em solos cujos valores da relação silte e argila são inferiores a 0,15, caracterizam os solos como muito intemperizados e quando os valores são superiores a 0,6 diferenciam os latossolos dos cambissolos (Tabela 24).

Os resultados obtidos através das análises dos solos da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, caracterizam os solos como cambissolos, com exceção do ponto 2 e na profundidade de 20 – 40 cm, que apresentou um valor da relação de 0,63 em função do percentual elevado de argila presente na amostra, em torno de 20%. Já nas amostras 4 e 9, na

profundidade de 0 – 20 cm, foram registrados índices que as caracterizam como muito intemperizadas e de baixo teor percentual de argila presente (Tabela 24).

Cabe salientar que a média entre as frações silte e argila encontrada na profundidade 0 – 20 cm, que corresponde a 0,24, é inferior a média entre essas frações encontrada na profundidade 20 – 40 cm, que corresponde a 0,32, esse fato pode ser explicado por duas hipóteses, a primeira indica que está havendo a perda da fração argila da camada superficial do solo em função dos processos erosivos efetuados pela água durante o escoamento superficial, os pontos que validam essa hipótese são o 2, 4, 8 e 9, que apresentam teores de argila muito maiores em subsuperfície do que em superfície; a segunda hipótese corresponde a migração da fração argila da camada superficial do solo para a camada subsuperficial (Tabela 24).

Tabela 24: Quadro da relação entre as frações silte e argila das amostras de solo coletadas (0-20 cm e 20-40 cm de profundidade).

PONTOS	SILTE	ARGILA	RELAÇÃO	PONTOS	SILTE	ARGILA	RELAÇÃO		
PROFUNDIDADE (0-20 cm)	1	57,7%	9,8%	0,17	PROFUNDIDADE (20-40 cm)	1	49,8%	9,1%	0,18
	2	43,1%	13,0%	0,30		2	32,5%	20,3%	0,63
	3	31,2%	14,8%	0,48		3	35,7%	13,2%	0,37
	4	51,6%	6,1%	0,12		4	56,2%	9,4%	0,17
	5	39,0%	12,9%	0,33		5	37,7%	18,4%	0,49
	6	57,5%	10,6%	0,18		6	56,1%	10,3%	0,18
	7	54,1%	9,8%	0,18		7	37,0%	9,8%	0,26
	8	47,5%	14,4%	0,30		8	47,4%	18,8%	0,40
	9	58,7%	5,1%	0,09		9	51,8%	15,2%	0,29
	10	45,8%	15,7%	0,34		10	51,0%	14,7%	0,29

Os resultados obtidos através da determinação do teor de matéria orgânica das amostras de solo, da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, apresentaram uma amplitude que varia de 3,1% a 8,7% nos pontos de superfície (0 – 20 cm) e de 3,5% a 8,1% nos pontos de sub-superfície (20 – 40 cm).

Tendo em vista que os solos da área de estudo são muito intemperizados e de baixo teor percentual de argila presente e alto teor de silte, os atributos físico-químicos da matéria orgânica são essenciais para a manutenção da saúde dos ecossistemas além da proteção mecânica contra os danos causados pela água.

Nesse sentido, os resultados das amostras coletadas nos pontos 2, 3 e 8 superficiais e no ponto 3 sub-superficiais, apresentam teores de matéria orgânica superiores a 8%, esses valores favorecem na formação e estabilização dos agregados do solo, na formação das estruturas do solo, na capacidade de retenção de água e regulação dos processos erosivos (Tabela 25).

Cabe salientar que a amostra coletada no ponto 9, na profundidade de 0 – 20 cm, foi a que apresentou o menor valor 3,1% o que influencia a capacidade do solo em formar agregados, fato esse agravado pelo resultado da amostra coletada neste mesmo ponto, em sub-superfície, que apresentou o valor superior ao da amostra superficial que foi 4,2%, esse resultado indica que está havendo perda de matéria orgânica na superfície do solo (Tabela 25).

Com base nos resultados apresentados nos pontos 4, 5, 7 e 9, e em função do teor de matéria orgânica encontrado em sub-superfície ser superior ao valor encontrado em sub-superfície, comprovam que está havendo uma perda da matéria orgânica na superfície, fato esse que pode ser explicado pela remoção e transporte da matéria orgânica em função do processo erosivo causado pela água durante o escoamento superficial, o que contribui para aumentar a suscetibilidade do solo a erosão (Tabela 25).

O teor de carbono orgânico de um solo decorre de misturas heterogêneas de substâncias simples e complexas que contêm carbono que são a chave para caracterização de vários horizontes diagnósticos superficiais. A determinação do carbono orgânico das amostras de solo, da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, foram obtidas de forma indireta, e foram baseadas na metodologia do IBGE (2007) que define o percentual de carbono orgânico como 58% do valor percentual que está presente na matéria orgânica.

Nesse sentido, os resultados obtidos apresentaram uma amplitude que varia de 1,8% a 5% nos pontos de superfície (0 – 20 cm) e de 2,1% a 4,7% nos pontos de subsuperfície (20 – 40 cm).

Tabela 25: Quadro do percentual de matéria orgânica e carbono orgânico presente nas amostras de solo coletadas (0-20 cm e 20-40 cm de profundidade).

PONTOS		MATÉRIA ORGÂNICA	CARBONO ORGÂNICO	PONTOS		MATÉRIA ORGÂNICA	CARBONO ORGÂNICO
PROFUNDIDADE 0-20 cm	1	6,7%	3,9%	PROFUNDIDADE 20-40 cm	1	5,4%	3,1%
	2	8,7%	5,0%		2	7,9%	4,6%
	3	8,0%	4,7%		3	8,1%	4,7%
	4	4,9%	2,9%		4	4,5%	2,6%
	5	4,5%	2,6%		5	6,2%	3,6%
	6	5,8%	3,4%		6	4,3%	2,5%
	7	4,3%	2,5%		7	4,9%	2,8%
	8	8,3%	4,8%		8	7,9%	4,6%
	9	3,1%	1,8%		9	4,2%	2,4%
	10	4,0%	2,3%		10	3,5%	2,1%

A densidade aparente do solo tem implicação direta na morfologia do solo e relação indireta com a porosidade, permeabilidade, taxa de infiltração e desenvolvimento das raízes, já a densidade real ou densidade de partículas representa o peso das partículas e o volume ocupado pelas mesmas independentes do arranjo. Nesse sentido, com base nesses dois parâmetros foi definida a porosidade das amostras superficiais, que é responsável por regular a infiltração do solo, assim como o escoamento superficial.

Os resultados obtidos através da determinação da densidade real apresentaram uma amplitude que varia de 2,38 g/cm³, a 2,56 g/cm³, com uma média de 2,47 g/cm³, que correspondem a densidades de solos desenvolvidos sobre rochas graníticas e gnaíse (Tabela 26).

No tocante aos resultados obtidos através da determinação da densidade aparente, de acordo com o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) apresentaram uma amplitude que varia de 0,92 g/cm³, a 1,39 g/cm³, com uma média de 1,16 g/cm³, como a densidade real não apresentou uma grande variação, nota-se na tabela 26 que as análises realizadas nas amostras coletadas nos pontos 1 e 4 indicam que o solo não está compactado, já as análises realizadas nas amostras coletadas nos pontos 2, 3 e 10 indicam que o solo não está compactado.

Nesse sentido, através da correlação dos resultados da densidade aparente e da densidade real, a porosidade das amostras de solo foi determinada, os resultados apontaram para uma porosidade média de 53,8%, com um desvio padrão de 5,1%. Esse dado foi fundamental, pois permitiu a elaboração do mapa de distribuição da porosidade e por

consequência a capacidade de retenção de água e de permeabilidade para a bacia hidrográfica do rio Boa Esperança – RJ (Tabela 26).

Tabela 26: Quadro de classificação das densidades e da porosidade das amostras de solo coletadas (0-20 cm de profundidade).

PONTOS		DENSIDADE REAL (g/cm ³)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	POROSIDADE
PROFUNDIDADE 0-20 cm	1	2,44	0,98	59,8%
	2	2,47	1,33	46,2%
	3	2,54	1,39	54,7%
	4	2,44	0,92	62,4%
	5	2,47	1,23	50,0%
	6	2,38	1,05	56,0%
	7	2,47	1,21	51,2%
	8	2,44	1,08	55,8%
	9	2,56	1,15	55,0%
	10	2,47	1,29	47,8%
ESTATÍSTICA				
Valor Máximo		2,56	1,39	62,4%
Média		2,47	1,16	53,8%
Valor Mínimo		2,38	0,92	46,2%
Desvio Padrão		0,05	0,15	5,1%

Os resultados encontrados com a determinação dos limites de Atterberg foram enquadrados em duas classes, fracamente plásticos e mediamente plásticos, tais resultados chamam a atenção para uma suscetibilidade a erosão, de moderada a alta, dos solos da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança.

Cabe salientar que o limite de liquidez corresponde ao teor de umidade presente no solo que é responsável de alterar o comportamento do sólido passando a ter comportamento fluido, ou seja, quanto maior o teor de umidade necessário para o solo se comportar como fluido maior será a sua resistência. Já o limite de plasticidade corresponde ao teor de umidade máximo que o solo pode absorver sem se comportar como fluido, esse índice pode ser um indicador da permeabilidade e do teor de argila do solo, pois na medida em que se aumenta o conteúdo de argila do solo, aumentam também os valores do índice de plasticidade.

Os limites de Atterberg são mais utilizados em estudos geotécnicos, em especial na determinação de movimentos de massa, fundações, estudos de recalque de construções, mas também podem se utilizados como indicativos da suscetibilidade do solo a erosão, em especial a erosão hídrica.

O Índice de Plasticidade é responsável por definir o intervalo de variação de umidade no qual o solo se encontra no estado plástico, esse índice é obtido através da subtração do Limite de Liquidez pelo Limite de Plasticidade do solo.

Os resultados obtidos através da determinação do índice de plasticidade das amostras de solo coletadas, da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança (Tabela 27), apresentaram uma amplitude que varia de 1 a 9 nos pontos de superfície (0 – 20 cm) e de 5 a 14 nos pontos de sub-superfície (20 – 40 cm).

Tendo em vista que os solos da área de estudo apresentaram proporcionalmente um teor de argila superior nas amostras subsuperficiais em face aos teores de argila encontrados nas amostras superficiais, os resultados dos limites de Atterberg comprovam essa diferenciação, pois também apresentaram, proporcionalmente, o índice de plasticidade superior nas amostras subsuperficiais em face aos teores de argila encontrados nas amostras superficiais (Tabela 27).

Tabela 27: Quadro de classificação do limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade das amostras de solo coletadas (0-20 cm e 20-40 cm de profundidade).

PONTOS	LIMITE DE LIQUEZ	LIMITE DE PLASTICIDADE	ÍNDICE DE PLASTICIDADE	CLASSIFICAÇÃO	
PROFUNDIDADE (0 - 20 CM)	1	38,9%	31,9%	7	Fracamente Plásticos
	2	28,9%	23,0%	6	Fracamente Plásticos
	3	30,5%	26,4%	4	Fracamente Plásticos
	4	35,3%	26,2%	9	Mediamente Plásticos
	5	30,0%	25,4%	5	Fracamente Plásticos
	6	32,0%	30,4%	2	Fracamente Plásticos
	7	28,5%	25,9%	3	Fracamente Plásticos
	8	37,7%	36,2%	1	Fracamente Plásticos
	9	33,0%	31,7%	1	Fracamente Plásticos
	10	26,3%	20,8%	5	Fracamente Plásticos
PROFUNDIDADE (20 - 40 CM)	1	34,3%	28,8%	5	Fracamente Plásticos
	2	30,2%	20,7%	10	Mediamente Plásticos
	3	32,1%	20,9%	11	Mediamente Plásticos
	4	36,4%	28,7%	8	Mediamente Plásticos
	5	31,0%	23,3%	8	Mediamente Plásticos
	6	31,4%	24,7%	7	Fracamente Plásticos
	7	27,3%	23,4%	4	Fracamente Plásticos
	8	41,8%	27,4%	14	Mediamente Plásticos
	9	30,3%	23,4%	7	Fracamente Plásticos
	10	37,0%	24,7%	12	Mediamente Plásticos

6.2. Mapa de uso da terra e vulnerabilidade do solo

A elaboração dos mapas temáticos de uso da terra foi embasada em dois procedimentos técnico-operacionais, onde a interpretação das fotografias aéreas do ano de 2005 (IBGE, 2008) foi realizada através da vetorização e criação de polígonos de acordo com os usos da terra, procedimento realizado no software ArcGis 9.3. Já a interpretação da imagem AVNIR do satélite ALOS (2009) foi realizada através da classificação supervisionada, procedimento realizado no software Spring, a primeira foi convertida para o formato matricial com o tamanho do pixel projetado para 25 x 25 metros e a segunda foi reclassificada para o mesmo tamanho.

Os resultados obtidos através da interpretação das fotografias aéreas do ano de 2005 da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, caracterizam que 62,5% são compostas por Áreas de Vegetação Natural e 30,7% são compostas por Áreas Antrópicas Agrícolas. As áreas que apresentam a maior vulnerabilidade, solo exposto, correspondem a apenas 0,5% da área de estudo, ou seja, 2,4 hectares (Tabela 28 e Figura 58).

Os resultados obtidos através da interpretação da imagem AVNIR do satélite ALOS (2009) da área de estudo, caracterizam que 62,9% são compostas por Áreas de Vegetação Natural e 27,4% são compostas por Áreas Antrópicas Agrícolas. As áreas que apresentam a maior vulnerabilidade, solo exposto, correspondem a apenas 0,4% da área de estudo (Tabela 29 e Figura 59).

Comparando resultados dos dois mapas temáticos de uso da terra podemos notar alguns valores próximos, como ocorre no afloramento rochoso e solo exposto. Já na classe área urbana, a diferença de 2,6% no mapa temático baseado nas fotografias aéreas para 2,1% no mapa temático baseado nas imagens AVNIR pode ser explicado pelo critério da generalização, pois a segmentação mapeia regiões que tem resposta espectral semelhante Áreas Antrópicas Agrícolas (Tabelas 28 e 29 e Figuras 58 e 59).

O principal problema ocorreu em função da cobertura por sombra, que corresponde a apenas 0,9% no mapa temático baseado nas fotografias aéreas para mais de 7,1% no mapa temático baseado nas imagens AVNIR. Fato esse que foi minimizado pela utilização das imagens PRISM do mesmo satélite, que possibilitaram confirmar os usos, que eram predominantemente Áreas de Vegetação Natural em vales, passando a ser de 4 %, e

caracterizar as áreas não mapeadas para a elaboração do mapa temático da vulnerabilidade (Tabelas 28, 29 e 30 e Figuras 58, 59 e 60).

Tabela 28: Quadro de classificação do uso da terra obtido através da interpretação das fotografias aéreas do ano de 2005.

CLASSE DO MAPA - 2005	TIPO	NOTA POR CLASSE	ÁREA EM KM ²	ÁREA DA BACIA (%)
Áreas de Vegetação Natural	Floresta Ombrófila Densa	1	32,87	62,5%
Áreas Antrópicas Agrícolas	Pastagem e Agricultura	4	16,15	30,7%
Solo Exposto	Solo Exposto	5	0,24	0,5%
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	0 (NULO)	1,57	3,0%
Sombra	Sombra	0 (NULO)	0,46	0,9%
Área Urbanizada	Área Urbana (Área Urbanizada)	2	1,35	2,6%

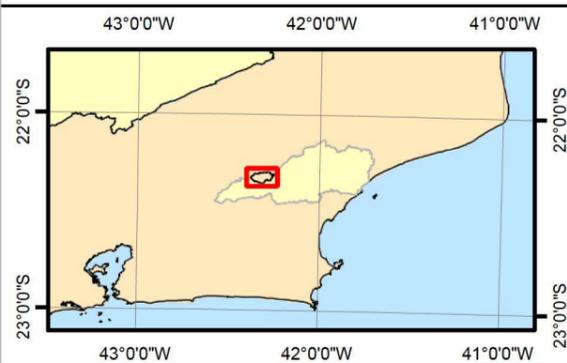
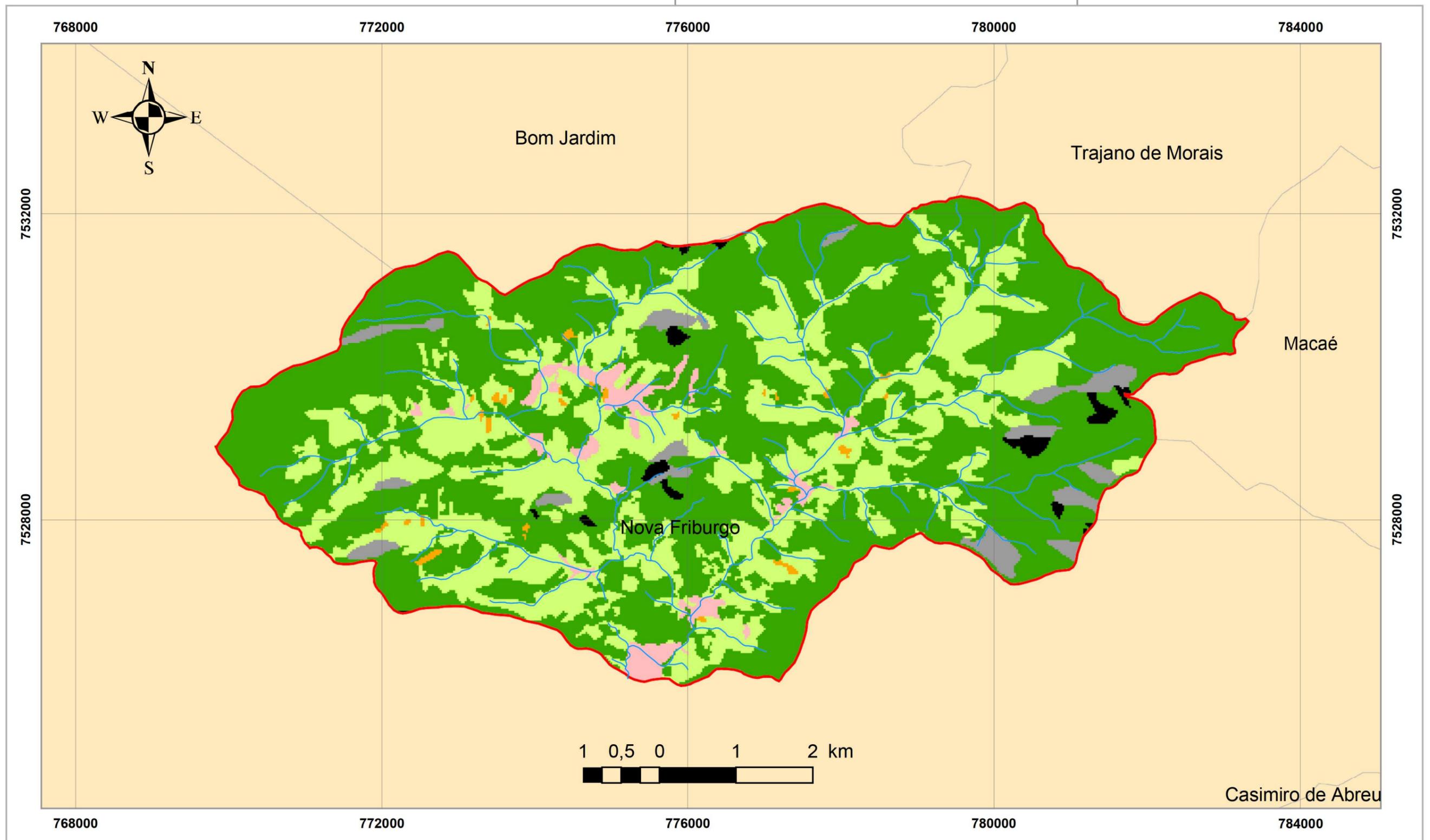
Tabela 29: Quadro de classificação do uso da terra obtido através da interpretação da imagem AVNIR-ALOS do ano de 2009.

CLASSE DO MAPA - 2009	TIPO	NOTA POR CLASSE	ÁREA EM KM ²	ÁREA DA BACIA (%)
Áreas de Vegetação Natural	Floresta Ombrófila Densa	1	33,23	62,9%
Áreas Antrópicas Agrícolas	Pastagem e Agricultura	4	14,46	27,4%
Solo Exposto	Solo Exposto	5	0,20	0,4%
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	0 (NULO)	1,56	3,0%
Sombra	Sombra	0 (NULO)	2,09	4,0%
Área Urbanizada	Área Urbana (Área Urbanizada)	2	1,09	2,1%

Tabela 30: Quadro de classificação da vulnerabilidade obtido através da interpretação do mapa de uso da terra baseado na imagem AVNIR-ALOS do ano de 2009.

CLASSE DO MAPA	NOTA POR CLASSE	ÁREA EM KM ²	ÁREA DA BACIA (%)
Nulo – Não Mapeado	0	3,63	6,9%
Muito Baixa	1	33,39	63,5%
Moderada	2	0,98	1,9%
Alta	4	14,42	27,4%
Muito Alta	5	0,19	0,4%

Figura 58: Mapa de Uso da Terra baseado nas fotografias aéreas de 2005 (IBGE, 2008).



Legenda

- Cursos D'água
- Bacia do rio Boa Esperança

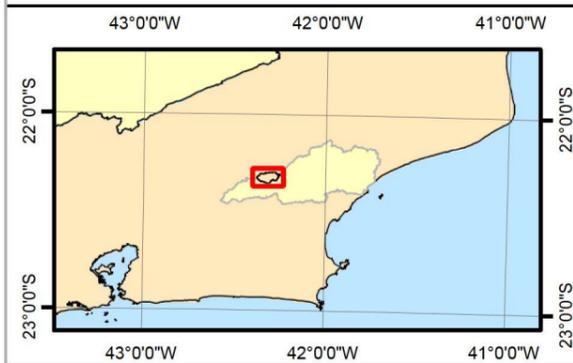
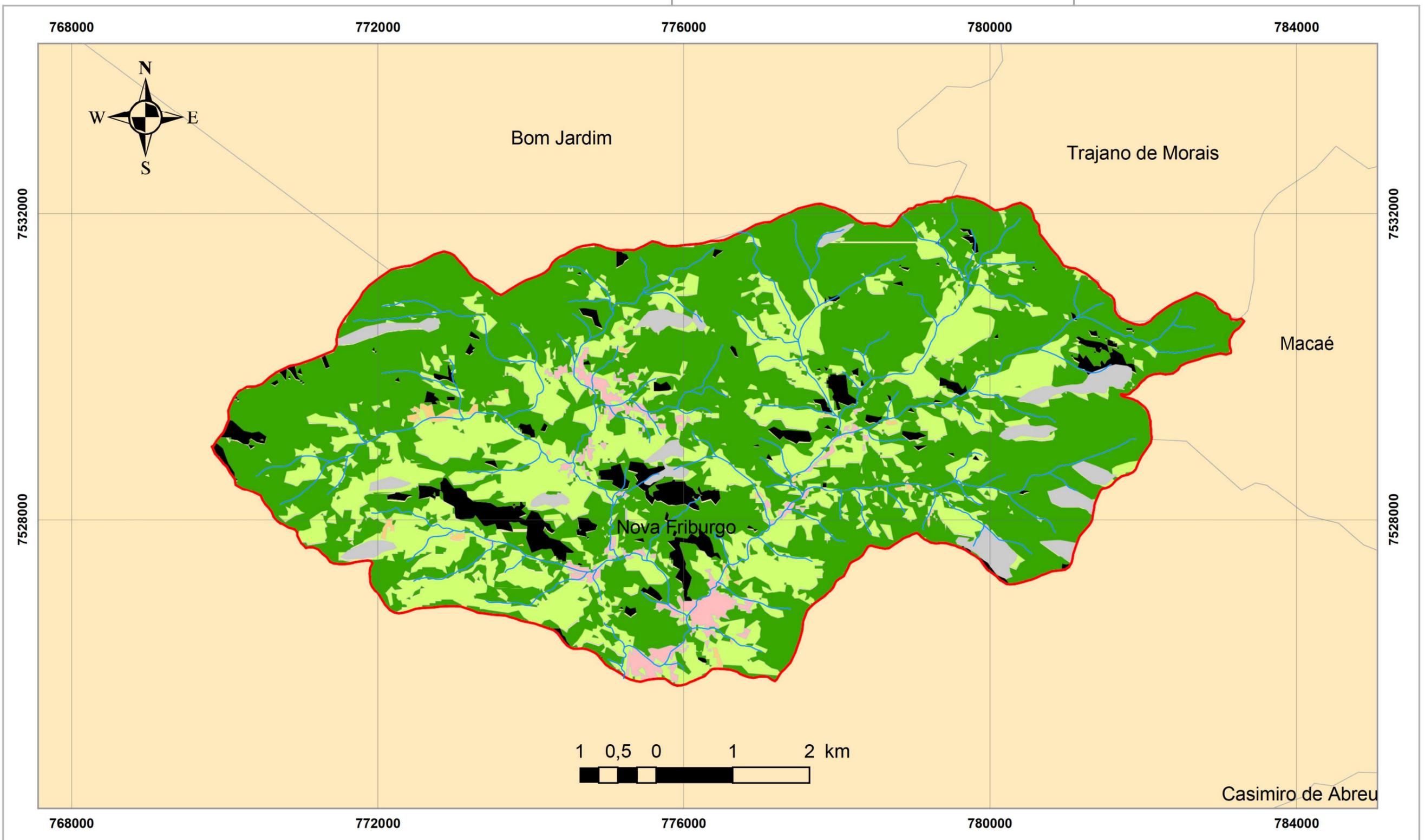
Classificação do Uso da Terra - 2005 (Nota)

- Afloramento Rochoso (0)
- Áreas Antrópicas Agrícolas (4)
- Áreas de Vegetação Natural (1)
- Solo Exposto (5)
- Área Urbanizada (2)
- Sombra (0)



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 104

Figura 59: Mapa de Uso da Terra baseado nas imagens AVNIR de 2009 (ALOS, 2009).



Legenda

- Cursos D'água
- Bacia do rio Boa Esperança

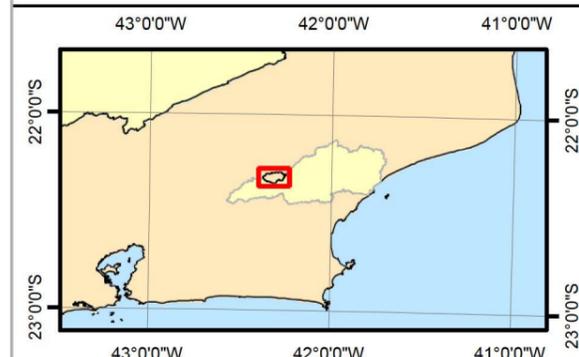
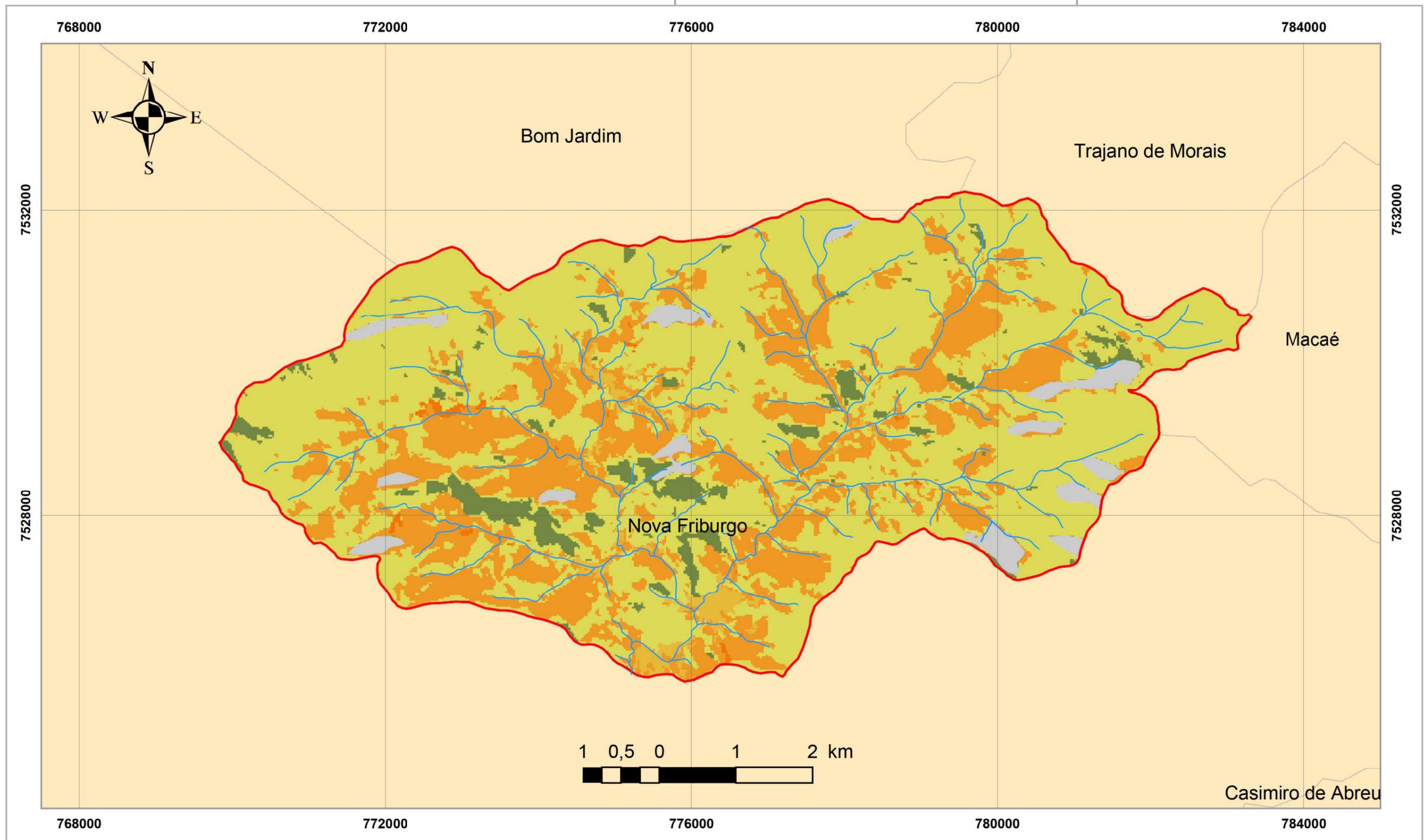
Classificação do Uso da Terra - 2009 (Nota)

- Afloramento Rochoso (0)
- Áreas Antrópicas Agrícolas (4)
- Áreas de Vegetação Natural (1)
- Solo Exposto (5)
- Área Urbanizada (2)
- Sombra (0)



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 105

Figura 60: Mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.



- Legenda**
-  Cursos D'água
 -  Bacia do rio Boa Esperança
 -  Afloramento Rochoso

- Classificação da Vulnerabilidade (Nota)**
-  Nula - Não Mapeada (0)
 -  Muito Baixa (1)
 -  Moderada (2)
 -  Alta (4)
 -  Muito Alta (5)



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 106

6.3. Mapa de Declividade

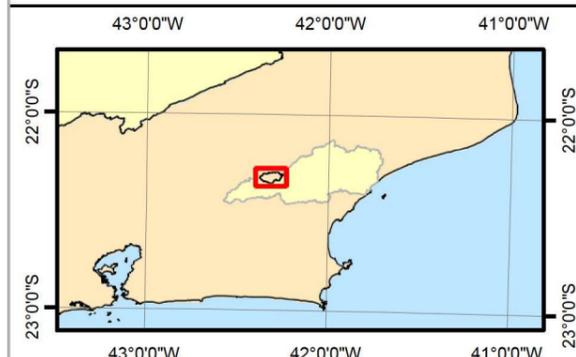
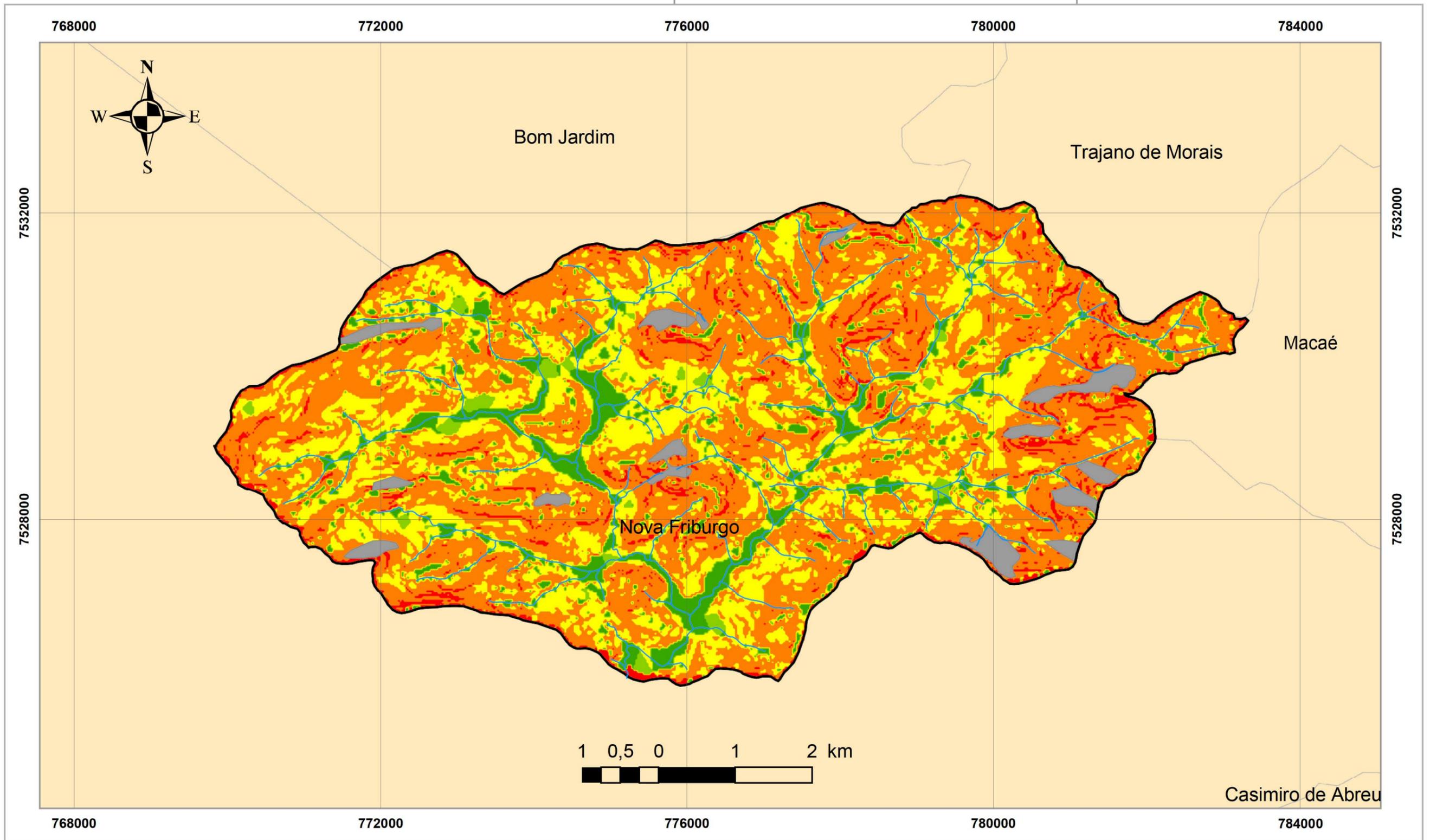
Os resultados obtidos através da interpretação do mapa temático de grau de declividade, ângulo de inclinação da encosta da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, caracterizam que 53,9% da área apresentam o grau de declividade entre 20 e 45 graus, responsáveis por uma forte influência nos processos erosivos causados pela água durante o escoamento superficial, 27,3% da área apresentam o grau de declividade entre 8 e 20 graus, responsáveis por uma influencia moderada nos processos erosivos (Tabela 31 e Figura 61).

Cabe salientar que 4,9% da área apresentam o grau de declividade superior a 45 graus, ou seja, são responsáveis por uma influência muito forte nos processos erosivos causados pela água durante o escoamento superficial e correspondem, perante a legislação vigente, a Área de Preservação Permanente - APP. Já as áreas apresentam o grau de declividade inferior a 3 graus, 9,7% da área, são as que exercem a menor influência nos processos erosivos, mas são caracterizadas como áreas de deposição de sedimentos (Tabela 31 e Figura 61).

Tabela 31: Quadro de classificação do grau de declividade da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.

GRAU DE DECLIVIDADE	INFLUÊNCIA NA EROSÃO	ÁREA EM KM²	ÁREA DA BACIA (%)
0 – 3 (GRAUS)	MUITO FRACA	5,10	9,7%
3 – 8 (GRAUS)	FRACA	0,65	1,2%
8 – 20 (GRAUS)	MODERADA	14,34	27,3%
20 – 45 (GRAUS)	FORTE	28,36	53,9%
> 45 (GRAUS)	MUITO FORTE	2,60	4,9%
AFLORAMENTO ROCHOSO	NULO	1,56	3,0%

Figura 61: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.



Legenda

-  Cursos D'água
-  Bacia do rio Boa Esperança
-  Afloramento Rochoso

Classificação do Grau de Declividade (Nota)

-  Muito Fraca (1)
-  Fraca (2)
-  Moderada (3)
-  Forte (4)
-  Muito Forte (5)



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 108

6.4. Mapa de forma da encosta

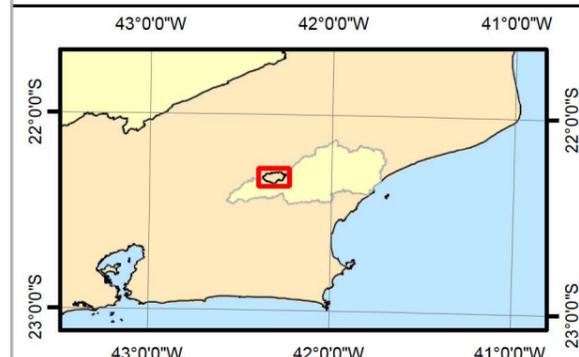
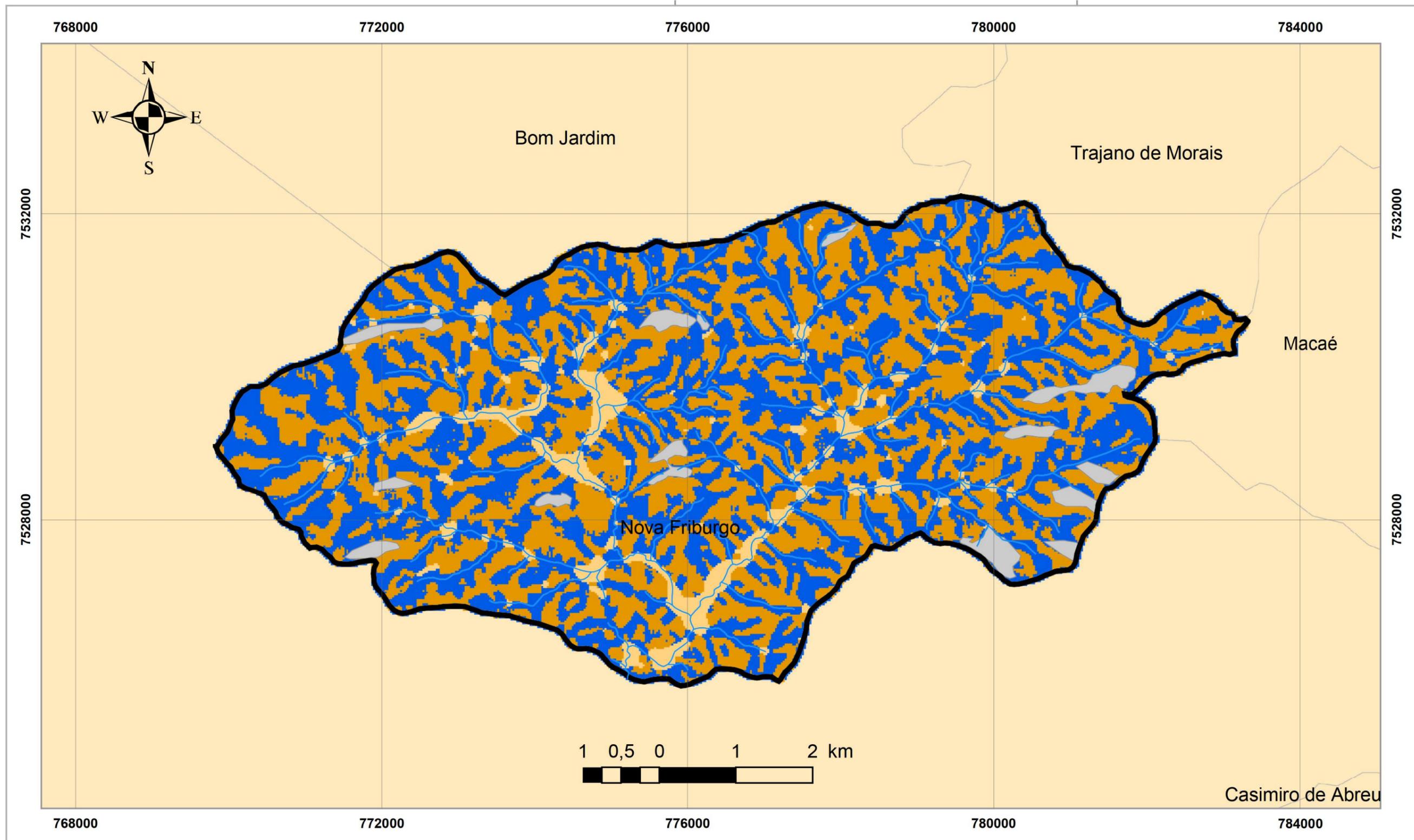
Os resultados obtidos através da interpretação do mapa temático de curvatura da encosta da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, caracterizam que 47,1% da área apresentam encostas convexas que são responsáveis por gerar uma divergência no fluxo superficial exercendo assim uma menor influência nos processos erosivos causados pela água durante o escoamento superficial, mas 43,2% da área apresentam encostas côncavas, que são responsáveis por gerar uma convergência no fluxo superficial, aumentando seu poder de erosividade o que por sua vez também aumenta a influencia nos processos erosivos e capacidade de transporte de sedimentos (Tabela 32 e Figura 62).

Cabe salientar que 6,7% da área apresentam encostas retilíneas ou áreas planas e 3% da área foram classificadas como afloramentos rochosos, que são influenciados pelo intemperismo e não pela erosão do solo, dessa forma tal classificação não pode ser inserida na modelagem final, o que justifica a atribuição da nota zero para a mesma (Tabela 32 e Figura 62).

Tabela 32: Quadro de classificação da forma da encosta da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.

CLASSIFICAÇÃO DA CURVATURA DA ENCOSTA				
FLUXO	TIPO DE ENCOSTA	NOTAS	ÁREA EM KM ²	ÁREA DA BACIA (%)
CONVERGÊNCIA	CÔNCAVA	5	22,73	43,2%
DIVERGÊNCIA	CONVEXA	1	24,77	47,1%
CONVERGÊNCIA e DIVERGÊNCIA	PLANA - RETILÍNEA	3	3,55	6,7%
-	NULO	0	1,56	3,0%

Figura 62: Mapa de forma da encosta da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.



Legenda

-  Cursos D'água
-  Bacia do rio Boa Esperança
-  Afloramento Rochoso

Classificação da Curvatura da Encosta (Nota)

-  Convergência (5)
-  Plana - Retilínea (1)
-  Divergência (3)



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 - Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 110

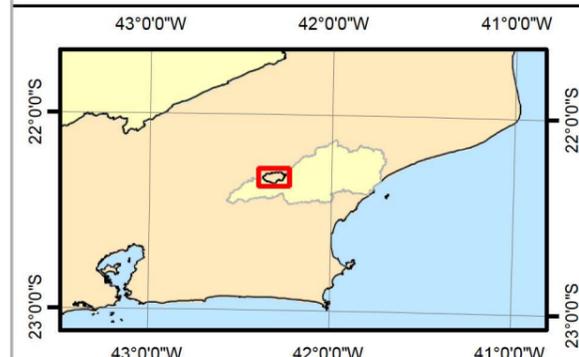
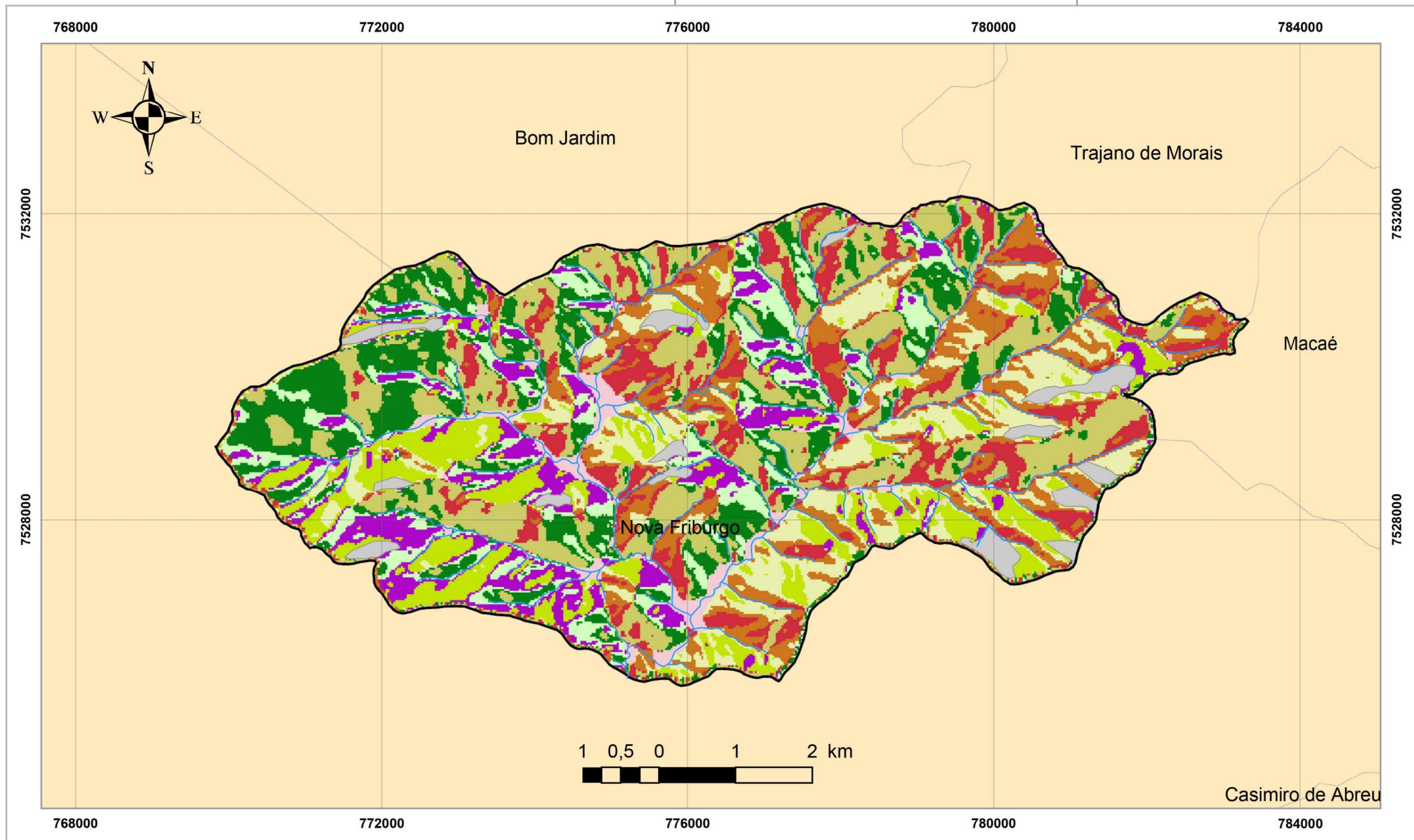
6.5. Mapa de orientação da encosta

Os resultados obtidos através da interpretação do mapa temático de orientação da encosta da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, caracterizam que 53,6% da área apresentam encostas com orientação para leste, sudeste, sul e sudoeste, essas orientações são responsáveis por receber os maiores índices pluviosidade orogênica, principalmente em função das frentes frias no estado do Rio de Janeiro, mas 40,4% da área apresentam encostas com orientação para norte, nordeste, noroeste e oeste, essas orientações são responsáveis por receber os menores índices pluviosidade em função da barreira do relevo. Cabe salientar que 6% da área apresentam áreas planas ou foram classificadas como afloramentos rochosos (Tabela 33 e Figura 63).

Tabela 33: Quadro de classificação da orientação da encosta da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.

CLASSIFICAÇÃO				
ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA	ANGULAÇÃO DE ACORDO COM O NORTE GEOGRÁFICO	NOTA	ÁREA EM KM ²	ÁREA DA BACIA (%)
ÁREA PLANA	Valor Negativo (- 1)	1	1,60	3,0%
NORTE	0° – 22,5° e 337,5° – 360°	2	5,38	10,2%
NORDESTE	22,5° – 67,5°	2	4,08	7,8%
LESTE	67,5° – 112,5°	3	4,44	8,4%
SUDESTE	112,5° – 157,5°	3	7,56	14,4%
SUL	157,5° – 202,5°	3	9,84	18,7%
SUDOESTE	202,5° – 247,5°	3	6,38	12,1%
OESTE	247,5° – 292,5°	2	5,72	10,9%
NOROESTE	292,5 – 337,5°	2	6,04	11,5%
AFLORAMENTO ROCHOSO	-	-	1,56	3,0%

Figura 63: Mapa de orientação da encosta da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.



- Legenda**
-  Cursos D'água
 -  Bacia do rio Boa Esperança
 -  Afloramento Rochoso

- Classificação da Orientação da Encosta (Nota)**
- | | |
|--|--|
|  Leste (3) |  Plana (1) |
|  Nordeste (2) |  Sudeste (3) |
|  Noroeste (2) |  Sudoeste (3) |
|  Norte (2) |  Sul (3) |
|  Oeste (2) | |



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 - Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 112

6.6. Mapa de susceptibilidade do solo a erosão

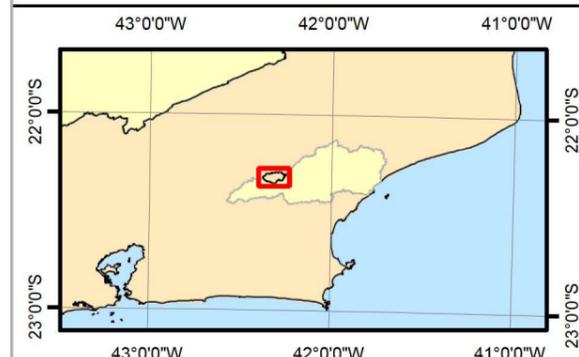
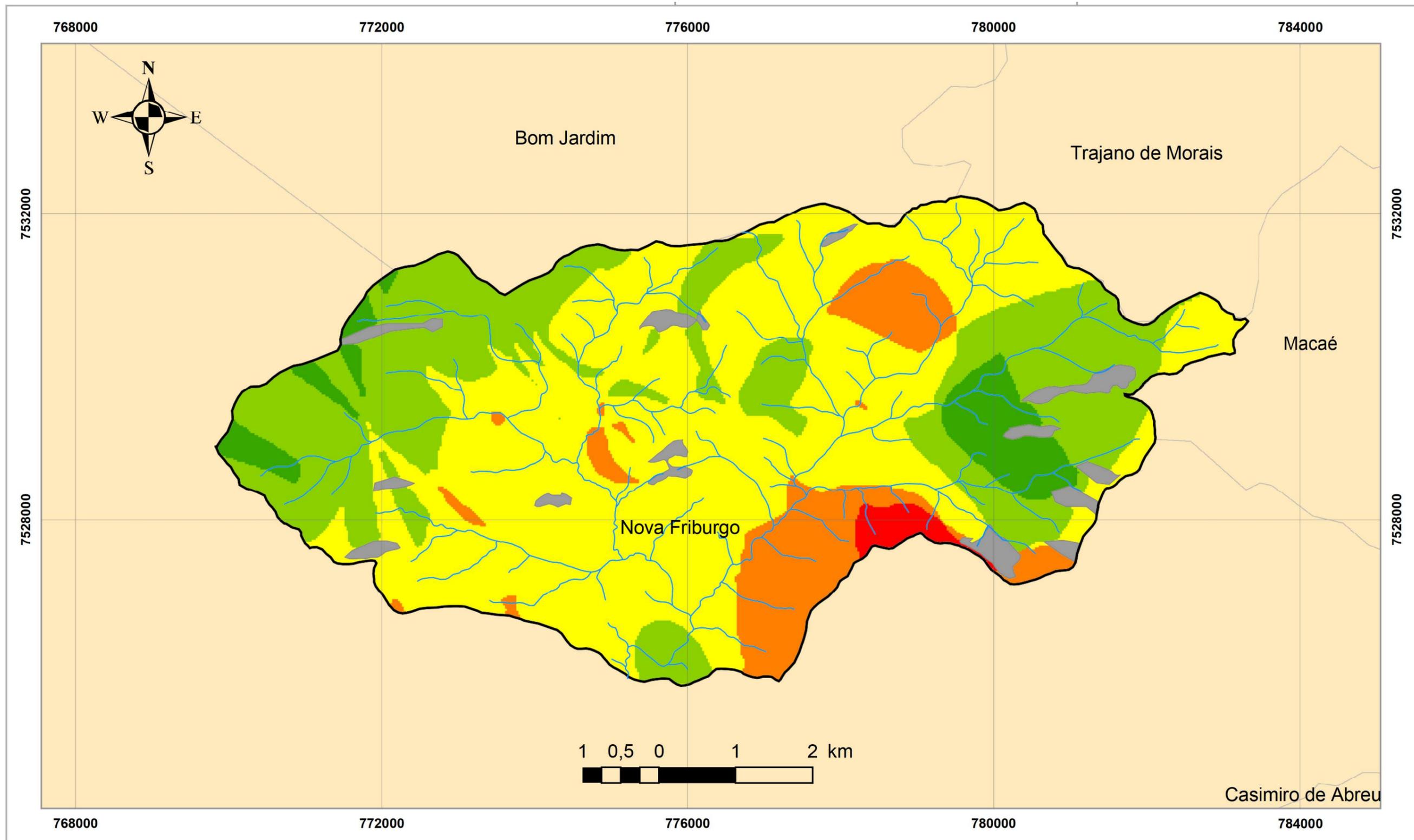
A modelagem efetuada através da correlação dos dados de textura, porosidade e matéria orgânica serviram de embasamento para o mapa temático de susceptibilidade do solo a erosão da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, os resultados obtidos caracterizam que 52,9% da área apresentam uma susceptibilidade alta aos processos erosivos causados pela água durante o escoamento superficial, 28,6% da área apresentam uma susceptibilidade média aos processos erosivos (Tabela 34 e Figura 64).

Cabe salientar que 10,6% da área apresentam uma susceptibilidade muito elevada (muito alta e altíssima) e 3% da área foram classificadas como afloramentos rochosos, que são influenciados pelo intemperismo e não pela erosão do solo (Tabela 34 e Figura 64).

Tabela 34: Quadro de classificação da susceptibilidade do solo a erosão na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.

CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE	ÁREA EM KM ²	ÁREA DA BACIA (%)
ALTISSIMA	0,59	1,1%
MUITO ALTA	4,99	9,5%
ALTA	27,83	52,9%
MÉDIA	15,04	28,6%
BAIXA	2,62	5,0%
NULO - AFLORAMENTO ROCHOSO	1,56	3,0%

Figura 64: Mapa de suscetibilidade do solo a erosão da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.



Legenda

-  Cursos D'água
-  Bacia do rio Boa Esperança
-  Afloramento Rochoso

Classificação da Suscetibilidade (Nota)

-  Baixa (3 - 5)
-  Média (6 - 7)
-  Alta (8 - 10)
-  Muito Alta (11 - 12)
-  Altíssima (13 - 15)



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 - Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 114

6.7. Mapa síntese de fragilidade ambiental

A modelagem efetuada através da correlação dos dados dos fatores topográficos, uso da terra (vulnerabilidade) e solo (susceptibilidade) serviram de embasamento para a elaboração do mapa temático de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, em relação à erosão causados pela água durante o escoamento superficial, os resultados obtidos caracterizam que 58,8% da área apresentam uma fragilidade moderada, mas os resultados mais preocupantes, cuja fragilidade ambiental foi enquadrada como alta e muito alta ocorrem em 26,6% da área e caracterizam áreas de perigo, tanto para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, assim como a ocupação e/ou urbanização, em função do alto risco envolvido (Tabela 35 e Figura 65).

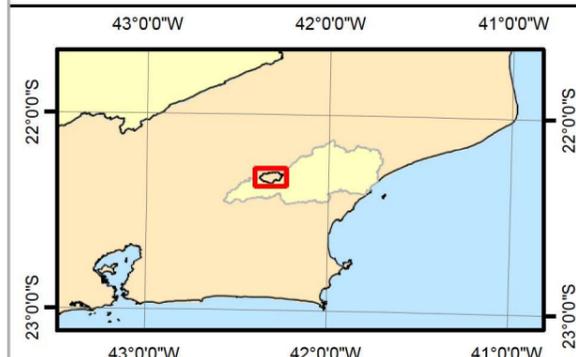
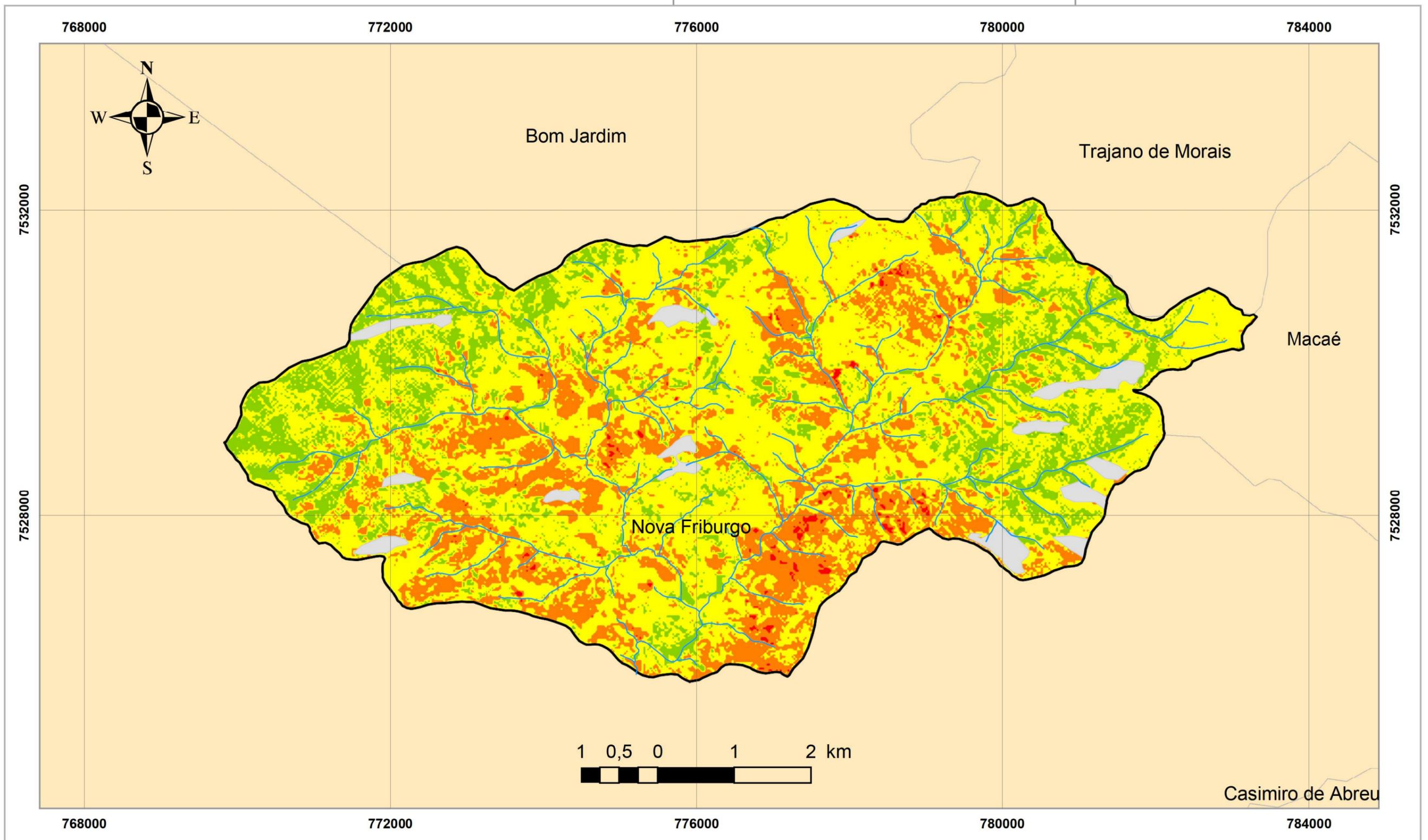
Os resultados também apontaram que 17,1% da área apresentam uma fragilidade ambiental baixa, o que, por sua vez, corresponde a dizer que a referida área possui uma grande potencialidade ambiental, ou seja, caracterizam áreas que podem ser utilizadas tanto para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, assim como a ocupação e/ou urbanização, em função dos baixos riscos envolvidos (Tabela 35 e Figura 65).

Cabe salientar que 3% da área foram classificadas como afloramentos rochosos, que são influenciados pelo intemperismo e não pela erosão do solo, dessa forma tal classificação não pode ser inserida na modelagem final (Tabela 35 e Figura 65).

Tabela 35: Quadro de classificação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.

FRAGILIDADE AMBIENTAL	ÁREA EM KM ²	ÁREA DA BACIA (%)
MUITO BAIXA	0,004	0,0%
BAIXA	8,96	17,1%
MODERADA	30,79	58,8%
ALTA	10,79	20,6%
MUITO ALTA	0,30	0,6%
AFLORAMENTO ROCHOSO	1,56	3,0%

Figura 65: Mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, Nova Friburgo-RJ.



Legenda

-  Cursos D'água
-  Bacia do rio Boa Esperança
-  Afloramento Rochoso

Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Boa Esperança - Nova Friburgo - RJ

-  Muito Baixa
-  Baixa
-  Moderada
-  Alta
-  Muito Alta



Sistema de Projeção UTM - SIRGAS2000 - Fuso 23 Sul
 Datum - SIRGAS2000
 Escala - 1:50.000
 Autor - Fábio da Silva Lima - Página 116

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através das análises de solo e correlação dos mapas temáticos da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, permitiram realizar uma análise compatível com a escala de 1:50.000, cuja execução da modelagem matemática, foi realizada no software ArcGis 9.3, em formato matricial com o tamanho do pixel projetado para 25 x 25 metros.

Ross (1994) e Spör e Ross(2004) apresentam que a grande contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, evitando problemas de ocupação desordenada.

Cabe salientar que os principais problemas na construção desses modelos são: definir as variáveis que serão utilizadas na modelagem e atribuir as notas de correlação entre essas variáveis.

No que tange a definição das variáveis para a modelagem, as que são amplamente utilizadas correlacionam os mapas temáticos de geomorfologia (relevo), pedologia (tipo de solo), geologia, uso da terra e cobertura vegetal e clima (pluviosidade) na determinação do grau de fragilidade de uma área à erosão, muitas vezes esses mapas temáticos são adquiridos de diversas fontes e correlacionados de forma subjetiva.

A presente dissertação também correlaciona os dados de forma subjetiva e no conhecimento das condicionantes que acarretam o processo erosivo, mas baseia-se na aquisição dos dados primários, confecção dos mapas segundo os critérios cartográficos adequados, baseados na precisão, tanto nas análises de solo quanto no geoprocessamento, e na apresentação do processo de elaboração de forma clara e objetiva, permitindo assim que outros pesquisadores e estudantes possam analisar de forma clara os critérios adotados durante o processo de execução.

Ressalta-se que a modelagem, em especial a fragilidade ambiental, corresponde a uma interpretação do mundo real que baseia-se em uma avaliação que geralmente é arbitrária e subjetiva, mas tem como objetivo ser um importante instrumento para o planejamento e a gestão ambiental, assim como auxiliar na gestão do território.

8. BIBLIOGRAFIA

- ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de filosofia. São Paulo: Martins Fontes, 2003.
- ABDON, M. de M. (2004). Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária. 297p. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459:1984, Solo - Determinação do limite de liquidez. 1984.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181:1984 Versão Corrigida: 1988, Solo - Análise granulométrica. 1988.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180:1984 Versão Corrigida:1988, Solo - Determinação do limite de plasticidade. 1988.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10703:1989, Degradação do solo. 1989.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13600:1996, Solo - Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C. 1996.
- ALOS, Advanced Land Observing Satellite, desenvolvido pela JAXA – Agência Espacial Japonesa e lançado no ano de 2006. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/alos/>>. Acesso em: 10 ago. 2010.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R. & GUERRA, A. J. T. Gestão Ambiental de Áreas Degradadas – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005.
- ASF, ASF MapReady User Manual, version 2.3. Alaska Satellite Facility Engineering Group Disponível em: < <http://www.asf.alaska.edu/sardatacenter/softwaretools> >. Acesso em: 10 jun de 2010.
- ASSUMPÇÃO, André. Retificação de Canais Fluviais no Baixo Curso da Bacia do Rio Macaé (RJ) – Uma Abordagem Geomorfológica. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 108 p. 2009.
- BACELLAR L. A. P.; SOBREIRA F. G. (2004) Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss, In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28, pp. 1055-1062.
- BARROS, R. S. de. Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Sensores Orbitais - Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO. Rio de Janeiro, 172p. 2006.

- BENJAMIN, Antônio Herman V. Introdução à lei do sistema nacional de unidades de conservação. In: BENJAMIN, Antônio Herman (org.). Direito Ambiental das áreas protegidas, 1ª edição, Editora Forense Universitária, 2001.
- BERQUE, A. Milieu, trajet de paysage et déterminisme géographique. *L'Espace Géographique* n.º 2, 1985 pp. 99 – 104. 1985.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. 1971. Tradução R. RA'E GA, Curitiba, n.º 8, Editora UFPR, p. 141-152, 2004.
- BIGARELA, J.C. Visão Integrada da Problemática da Erosão. Maringá, ABGE/ADEA, 123 p. 1985.
- BOARDMAN, John. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena* n.º 68, 73-86. 2006.
- BOLÓS, M. de I. CAPDEVILA. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. *Revista de Geografía*. Barcelona: v.15, n. 1-2, p. 45-68, 1981.
- BONHAM-CARTER, G.F. - Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Pergamon, Oxford, (1994). In: Gilberto Câmara, Clodoveu Davis e Antônio Miguel Vieira Monteiro Introdução à Ciência da Geoinformação INPE-8563-PRE/4307 - INPE - São José dos Campos 2001.
- BRADY, N.C. Natureza e Propriedades dos Solos. 7. ed. São Paulo. Freitas Bastos. 1989.
- BRANDT, C.J. The sensitivity of the Mediterranean environment to degradation caused by land use and climate change. *Catena* 40, 118p. 2000.
- BRASIL, Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Carvalho C. S., Macedo, E. S. de, e Ogura, A. T. (orgs.) Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007a.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Vulnerabilidade Ambiental / Rozely Ferreira dos Santos, organizadora. – Brasília: MMA, 192 p.: il. color. ; 29 cm. 2007b.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil. Zaboni, A e Nicolodi, J. L. (orgs.). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.
- BROOKFIELD, Harold. Environmental damage: distinguishing human from geophysical causes. *Environmental hazards: Human and Policy Dimensions*, v.1, n.1, jun. 1999.
- BRUNSDEN, Denys. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena* n.º. 42, 99 – 123 p. 2001.
- BURROUGH, P. A. e McDONELL, R.A., Principles of Geographical Information Systems (Oxford University Press, New York), p. 190. 1998.

- CASSETI, Valter. Geomorfologia. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 10 de julho de 2010.
- CASTRO, C. M ; PEIXOTO, M. N. O. e DO RIO, G. A. P. Riscos ambientais e Geografia: conceituações, abordagens e escalas. Rio de Janeiro: Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 2005. v. 28-2, p.11-30, 2005.
- CARVALHO FILHO, A. et al. Os Solos do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2000.
- CETEMA/IPRJ/UERJ, Centro em Tecnologia em Meio Ambiente, Instituto Politécnico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.clima.iprj.uerj.br/>. Acesso em 10 de julho de 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. Editora da Universidade de São Paulo, 149p. São Paulo. 1974.
- CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 236 p. 1999.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. Modelagem de Sistemas Ambientais. 3ª reimpressão Editora Edgard Blücher. 240p. 2004.
- CONCAR, Comissão Nacional de Cartografia. Decreto Nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br>. Acesso em 15 de junho de 2010.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 1. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, págs. 2548-2549, 1986.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções do CONAMA: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2ª. ed. / Conselho Nacional do Meio Ambiente. – Brasília: CONAMA, 928 p. 2008.
- CPRM, PROJETO RIO DE JANEIRO. Caracterização e descrição analítica do mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Geomorfologia no estado do Rio de Janeiro, CD-ROM, 2001.
- CUSTÓDIO, H. B. Legislação Brasileira do Estudo de Impacto Ambiental In: Tauk-Tornisielo, S. M., Gobbi, N. e Fowler, H. G (orgs.). Análise Ambiental: Uma visão Multidisciplinar. 2º edição ver. e ampl. São Paulo, Editora da UNESP, 1995.
- CUTTER, Susan L. (ed.) Environmental risks and hazards. London: Prentice-Hall, 413p. 1994.
- CUTTER, Susan L. Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, v.20, n.4, p.529-539, 1996.

- DAI, F.C. e LEE, C.F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* n°. 42, 213– 228 p. 2002.
- DANTAS, M.E. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. Projeto Rio de Janeiro, Brasília, CPRM, 2000.
- DEAN, Warrem, 1932-1994. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira; tradução Moreira, Cid Knipel; revisão técnica José Augusto Drummond. São Paulo, Companhia das Letras, 1996. 6ª reimpressão, 2007.
- DE JONG, S. M.; PARACCHINI; M. L.; BERTOLO; F.; Folving; S.; Megier, J. e DE ROO A. P. J. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. *Catena* Volume 37, 291-308 p. 1999.
- EGLER, C.A.G. Risco ambiental como critério de gestão do território. Rio de Janeiro, n.1:31-41. 1996.
- EAGLER, C. A. G. As cartas de risco ambiental, social e tecnológico do novo Macrodiagnóstico da zona costeira. In: I Encontro Temático: Gestão de bacias hidrográficas e da zona costeira. Ministério do Meio Ambiente CD-Room. Itajaí, Santa Catarina. 2005.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro, 212 p. 1997.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª edição. 306p. 2006.
- ESRI, Shapefile Technical Description. An ESRI White Paper. Julho 2010.
- FERNANDES, Manoel Do Couto. Desenvolvimento de rotina de obtenção de observações em superfície real: uma aplicação em análises geoecológicas. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2004.
- FERRAZ JR., Tércio Sampaio. Introdução ao estudo do direito, 4. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Míni Aurélio o Dicionário da Língua Portuguesa - Conforme o Acordo Ortográfico*, Editora Positivo, 7ª Edição, 2008.
- FITZ, Paulo Roberto, *Geoprocessamento sem Complicação*, São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2008.
- FRANCO, R. Diagnóstico da fragilidade ambiental e análise de práticas de manejo agrícola em unidades de produção familiar do município de coronel Vivida/PR. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2008.

- FUGIHARA, A. K. Predição de Erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento. Dissertação de Mestrado – Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. 2002.
- FULLEN, M.A., CATT, J. A. Soil Management – Problems and solutions. Londres, Arnold Publisher, 269p. 2004.
- GOMES, Paulo Cesar da Costa. Geografia e modernidade. 4ª Edição, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,. 2003.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) . Erosão e conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, v. 1. 339 p. 1999.
- GUERRA, A.J.T., MENDONÇA, J.K.S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. A.C. Vitte e A.J..T.Guerra. (orgs). Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, pp 225-256. 2004.
- GUERRA, A. J. T. ; MARÇAL, M. S. Geomorfologia Ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, v. 1. 192 p. 2009.
- GRONSTEN, H.A. e LUNDEKVAM, H., Prediction of surface runoff and soil loss in southeastern Norway using the WEPP Hillslope model. Soil and Tillage Research n°. 85, 186–199. 2006.
- HOLMES, D. Practical Geography: Using GIS in geographical fielwork Geography Review Volume 20. Número 4. 2007.
- HUERTA, Eduardo; MANGIATERRA, Aldo e NOGUERA, Gustavo. GPS: posicionamiento satelital. 1ª. ed. Rosario: UNR Editora - Universidad Nacional de Rosario, 148 p. 2005.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas Topográficas Vetoriais do Mapeamento Sistemático, Folha Quartéis - Índice de Nomenclatura SF-23-ZB-III-3 (1985). Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/topo50/vetor/>>. Acesso em: 8 maio de 2010.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 92p. 1991.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente. 2ª Edição. 332 p. 2004.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal Digital do Brasil (2005). Download de Geociências. Disponível em: < <ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jun de 2010.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ortofotomosaico do Rio de Janeiro (2008) Disponível em: < <ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jun de 2010.

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª Edição. Manuais Técnicos em Geociências, nº. 7, Rio de Janeiro. 91 p. 2006.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Pedologia. 2ª Edição. Manuais Técnicos em Geociências, nº. 4, Rio de Janeiro. 91 p. 2007.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ortofotomosaico das Imagens 2717-3-NO e 2717-3-NE. (2008) disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/ortofoto/Projeto_RJ25/TIF/. Acesso em 1 de maio de 2010.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Geomorfologia. 2ª Edição. Manuais Técnicos em Geociências, nº. 5, Rio de Janeiro. 175 p. 2009.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. 2010. Acesso em: 29 de junho de 2010.
- JENSEN, J.R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resources Perspective. Tradução EPIPHANIO, José Carlos Neves (coord) et. al., Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. Editora Parêntese, São José dos Campos, SP. 2009.
- KAWAKUBO, Fernando Shinji; MORATO, Rúbia Gomes; CAMPOS, Kleber Cavaça; LUCHIARI, Ailton; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 2203-2210, 2005.
- KHEIR, R. R.; CERDAN, O. & ABDALLAH, C. Regional soil erosion risk mapping en Lebanon. *Geomorphology* Volume 82 issues 3-4. 2006.
- LAGESOLOS, Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos – UFRJ. Disponível em: <http://www.lagesolos.ufrj.br/>. Acesso em: 10 de junho de 2010.
- LE BISSONNAIS, Y. SINGER, M.J., BRADFORD, J.M. Assessment of soil erodibility: the relationship between soil properties, erosion processes and susceptibility to erosion. In: *Temperate Plains Environment and Hills*. Elsevier Science Publishers, pp 87-96. 1993.
- LE BISSONNAIS, Yves; MONTIER, Cecile; e JAMAGNE, Marcel. Mapping erosion risk for cultivated soil in France, *Catena* nº 46, 207-220. 2001.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 46p.1984.
- LIMA, L. D. M. Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ. 127p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2008.
- LIMA, Raphael Nunes de Souza. Conectividade dos Sedimentos Fluviais e suas Implicações para Avaliação de Sensibilidade do Sistema de Drenagem da Bacia do Rio Macaé (RJ).

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2010.

- MACEDO, R. K. de. A importância da avaliação ambiental. In: Tauk-Tornisielo, S. M., Gobbi, N. e Fowler, H. G (orgs.). *Análise Ambiental: Uma visão Multidisciplinar*. 2ª edição ver. e ampl. São Paulo, Editora da UNESP, 1995.
- MARANDOLA Jr, Eduardo e HOGAN, Daniel Joseph Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais da ABEP, Caxambu - MG – Brasil, Setembro. 2004.
- MATEO, José Manuel Rodriguez (Org.). *Geoecologia das Paisagens: uma visão geosistêmica da análise ambiental*. Fortaleza: Edições UFC, 2. ed. 2004.
- MENDES, Rodolfo Moreda. *Estudo das Propriedades Geotécnicas de Solos Residuais não Saturados de Ubatuba – SP*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 256 p. 2008.
- MENDES, Stella Peres. *Dinâmica da paisagem em unidades de conservação: um estudo de caso da APA Estadual de Macaé de Cima (RJ)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2010.
- MENDONÇA, Nadir Domingues. *O Uso dos Conceitos. Uma tentativa de interdisciplinaridade*. Petrópolis: Editora Vozes Ltda, 1985.
- MENEZES, P. M. L. *A Interface Cartografia-Geoecologia nos Estudos Diagnósticos e Prognósticos da Paisagem: Um Modelo de Avaliação de Procedimentos Analítico - Interativos*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2000.
- MENEZES, Paulo Márcio Leal De; COELHO NETTO, Ana Luiza. *Um Modelo de Avaliação de Procedimentos Analítico-Integrativos*. In: *Série em Ciências Geodésicas*, 2002, Paraná - PR. *Anais da Série em Ciências Geodésicas*, 2002. p. 287-301.
- MIRANDA, E. E. de. *Água na natureza, na vida e no coração dos homens*. Campinas, 2004. Disponível em: <<http://www.aguas.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 de junho de 2010.
- MMA, Campanili, Maura e Schäfer, Wilgold Bertoldo (org), *Mata Atlântica: Patrimônio Nacional dos Brasileiros*. Serie Biodiversidade n° 34, Ministério do Meio Ambiente – MMA, secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília – DF, p. 408. 2010a.
- MMA, Campanili, Maura e Schäfer, Wilgold Bertoldo, *Mata Atlântica: Manual de Adequação Ambiental*. Serie Biodiversidade n° 35, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Brasília – DF, p. 96. 2010b.

- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., e LANDSON, A.R. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Processes* n.º 5, p. 3–30. 1991.
- MORGAN, R.P.C.. *Soil Erosion and Conservation*. England, Blackwell Publishing, 3ª edição, 304 p. 2005.
- MOTE, Fabrício de Oliveira. Definição e classificação de unidades de paisagem na bacia do rio Macaé (RJ) como proposta metodológica ao planejamento ambiental. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 110 p. 2008.
- NAVEH, Zev. What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction. *Landscape and Urban Planning* n.º 50, 7-26 p. 2000.
- PAGIOLA, S.; BISHOP, J.; Landell-Mills, N. Mercados para serviços ecossistêmicos: instrumentos econômicos para conservação e desenvolvimento. REBRAAF. Instituto Rede Brasileira Agroflorestal. 164 p. 2004.
- PENA, Ana Maria Moliterno. *Microsistema: o problema do sistema no polissistema*. Dissertação de Mestrado em Direito, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo. 2007.
- PROBIO-MMA. ARAÚJO, Marcelo Henrique Siqueira; CRUZ, Carla Bernadete Madureira e VICENS, Raúl Sanchez (Coordenadores). Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO / Ministério do Meio Ambiente - MMA. 84p. 2007.
- POESEN, J., NACHTERGALE, G., VERSTRAETEN, C., VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importante and research needs. In: *Catena*, número 50, pp 91-133. 2003.
- QUIQUEREZ, A., BRENOT, J., GARCIA, J. & PETIT, C. Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: Implications for medium-term soil sustainability in Burgundian vineyards. *Revista Catena* Número 73. p. 89–97. 2008.
- RADAMBRASIL, Projeto RADAMBRASIL. Programa de Desenvolvimento Nacional. Levantamento de Recursos Naturais. Folha SF-23, 1983.
- RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; BRANCALION, Pedro Henrique e ISERNHAGEN, Ingo (orgs). *Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal organização*, São Paulo: LERF/ESALQ : Instituto BioAtlântica, 260 p.2009.
- ROSS, Jurandy Luciano Sanches. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. In: *Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP*, n.º 6, São Paulo, 1992.

- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: Revista do Departamento de Geografia n.º. 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.
- REIS, Rafael Balbi. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes (APP) Como Subsídio À Elaboração de estratégias de Conservação e Recuperação – Estudo de Caso na APA do Rio São João / Mico-Leão-Dourado. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 116 p.2008.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.K., YODER, D.C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture. Agric. Handbook n.º. 703, 404p. 1997.
- ROCHA, Ana Augusta & FELDMANN, Fabio. A Mata Atlântica é Aqui. E Daí?: História e luta da Fundação SOS Mata Atlântica. São Paulo, Terra Virgem, 176p. 2006.
- RUIZ, Hugo Alberto. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). Revista. Brasileira de Ciência do Solo n.º. 29, p. 297-300, 2005
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações. A.J.T. Guerra, A.S. Silva e R.G.M. Botelho (orgs). Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, pp 229-268. 1999.
- SCHULZ, W.H., Landslides mapped using LiDAR imagery, Seattle, Washington. U.S. Geological Survey. 2004.
- SCHUMM, S. A. The Fluvial System. John Wiley and Sons, New York, 338 p. 1977.
- SELBY, M.J. Hillslope: Materials and Processes. Oxford, Oxford University Press, 1ª edição, 451p. 1990.
- SELBY, M. J. Com contribuição de HODDER, A. P. W. Hillslope Materials and Processes. Segunda Edição, Impresso na Universidade de Oxford – EUA, 1993.
- SIDRA, Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/> Acesso em 10 de junho de 2010.
- SILVA, L.C. e CUNHA, H.C. da S. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa do Estado do Rio de Janeiro, Brasília, CPRM. 2001.
- SOS-INPE, 2008. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2005-2008 Relatório Parcial, São Paulo, 2009. 156p.
- SOS-INPE, 2010. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2008-2010 Relatório parcial - dados parciais dos estados avaliados até maio de 2010, São Paulo, 2010. 60p.

- SPÖRL, Christiane. Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH – USP, 2001.
- SPÖRL, Christiane e ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP - Espaço e Tempo, nº. 15, p.39-49, São Paulo, 2004.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of American Geophysical Union. New Haven, v. 38. p. 913-920. 1957.
- SUMMERFIELD, M.A. Global Geomorphology: An introduction to the study of landforms. New York, Longman Scientific & Technical, 537p. 1991.
- TAUK, Sâmia Maria (org). Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar. Editora Unesp, 206 p. 1995.
- THOMAS, M. F.; SIMPSON, I. A. PREFACE. Department of Environmental Science, University of Stirling, Stirling FK9 4LA, Scotland, UK Catena 42. p. 81 – 82, 2001.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 97 p. 1977.
- USDA, United States Department of Agriculture. Soil Survey Manual. 315 p. 1993. Disponível em: <http://soils.usda.gov/technical/manual/> Acesso em: 23 de julho de 2010.
- USDA, United States Department of Agriculture. Soil Interpretations, NSSH Part 618. Soil Properties and Qualities, 2010. Disponível em: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/contents/part618.html#03>. Acesso em: 23 de julho de 2010.
- VELLOSO, H.P.; RAGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 124p.1991.
- VEYRET, YETTE (org.) Os riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente. Tradutor: Dílson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, 2007.
- WEISZFLOG, Walter. Michaelis - Moderno Dicionário da Língua Portuguesa. Editora Melhoramentos, 2007.
- WINGE, M. et. al. 2001. Glossário Geológico Ilustrado. Publicado na Internet: <http://www.unb.br/ig/glossario/> e disponível em 17 de agosto de 2010
- WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D., Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. U.S. Dept. of Agriculture. Agric. Handbook nº. 537, 58 pp. 1978.

- WILKINSON, M.T.; HUMPHREYS, G.S. Slope aspect, slope length and slope inclination controls of shallow soils vegetated by sclerophyllous heath – links to long term landscape evolution. *Geomorphology*, v.76, p. 347-362. 2006.
- VAN WESTEN, C.J., VAN ASCH, T.W.J., SOETERS, R., Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering geology and the Environment* n°. 65 (2), 167–184. 2005.
- VAN WESTEN, CEES J., CASTELLANOS, ENRIQUE E KURIAKOSE, SEKHAR L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102, p.112–131, 2008.
- VARANDA, Érica. Mapeamento quantitativo de risco de escorregamentos para o 1º distrito de Petrópolis-RJ, utilizando sistema de informações Geográficas. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em ENGENHARIA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 153 p. 2006.
- ZEVEBERGEN, L.W. e THORNE, C.R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms* n°.12, p. 47–56. 1987.