

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

CLARISSE GUIMARÃES RABELO

MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE (GO)
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

GOIÂNIA – GO

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

CLARISSE GUIMARÃES RABELO

MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE (GO)
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Escola
de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás,
como parte das exigências para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental

Orientador: Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D.

Co-orientador: Dr. Luís Fernando Stone

GOIÂNIA – GO

2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

R114m Rabelo, Clarisse Guimarães.
Mapeamento de áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (GO) utilizando técnicas de geoprocessamento [manuscrito] / Clarisse Guimarães Rabelo . – 2009.
.... f.: il., figs., tabs., qds.

Orientador: Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D.; Co-Orientador: Dr. Luis Fernandes Stone.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, 2009.

BIBLIOGRAFIA.

Inclui lista de figuras, tabelas, quadros, siglas e abreviaturas.

1. Bacia hidrográfica – João Leite, Ribeirão – Goiás (Estado)
2. João Leite, Ribeirão – Mapeamento de vulnerabilidade
3. Água – Qualidade
4. Geoprocessamento I. Título.

CDU: 628.1(817.3)

CLARISSE GUIMARÃES RABELO

MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE (GO)
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

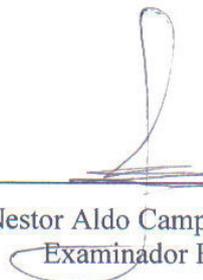
Dissertação defendida e aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre, em 28 de Agosto de 2009, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D. (UFG)
Presidente da Banca



Prof. Klebber Teodomiro Formiga, D.Sc. (UFG)
Examinador Interno



Prof. Nestor Aldo Campana, D.Sc. (UnB)
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado do apoio e da colaboração de diversas pessoas e instituições. Assim, agradeço profunda e sinceramente:

Aos meus preciosos pais, ao meu maninho caçula e ao meu amado Hiroshi pelo incentivo, pelo apoio e pela ajuda fornecida durante todo o mestrado;

Ao professor José Vicente Granato de Araújo pela orientação, pelo companheirismo e pela oportunidade de crescimento ao longo do desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Luís Fernando Stone pelo apoio, pelo incentivo e pela revisão crítica e atenta do texto;

À Universidade Federal de Goiás (UFG) e, em especial, ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) pela oportunidade de aprimoramento profissional;

Aos professores do PPGEMA, do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da UFG;

Aos meus queridos colegas de mestrado e, em especial, ao Alessandro Ribeiro de Souza, ao Cláudio Rodrigues da Silva e a Maria Luiza Carvalho, que estiveram mais próximos durante o desenvolvimento da dissertação e me incentivaram em diversas ocasiões;

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos;

Às servidoras do PPGEMA, Joana D'arc F. de Freitas e Deuzélia Rosa Gomes dos Santos, pelo apoio e amizade;

À Empresa Brasileira de Pesquisa de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) por disponibilizar infra-estrutura e pelo apoio técnico;

Ao Silvando Carlos da Silva, Thiago Sartin Silva, Marisa Prado Gomes e Janainna Rodrigues Ribeiro pela amizade e pelo apoio durante a minha estada na Embrapa;

Ao Sérgio Mendonça pelo suporte durante a realização do trabalho de campo;

À Empresa Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO) por fornecer dados necessários à realização deste trabalho;

Às irmãs que a vida me deu de presente, Annyella Kássia Nogueira e Neiva Maria Pio de Santana, pela amizade, companheirismo e pela eterna boa vontade em ajudar.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi mapear as áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais em uma bacia de abastecimento público, a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (GO). Para atingi-lo utilizou-se um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para manipular dados de vulnerabilidade de geomorfologia, geologia, solos, clima, vegetação/uso do solo e das áreas de risco à qualidade das águas. A metodologia utilizada foi adaptada da formulada por Crepani et al. (2001) para construção do mapa de vulnerabilidade à perda de solo. O mapa resultante desse processo apresenta cinco classes: estável, moderadamente estável, estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável. Dos 764 quilômetros quadrados dessa bacia, quase 40% foi classificado como estável/vulnerável. As áreas vulneráveis se encontram principalmente circundando as drenagens que não se encontram protegidas por vegetação ciliar. As áreas moderadamente vulneráveis (cerca de 35% da área da bacia) correspondem às áreas de altitude elevada, relevo movimentado e altamente dissecado pela drenagem. Também se associam a essas áreas a presença de argissolos e nitossolos e o uso preponderante nessa classe é o agropecuário. As áreas de menor impacto para a qualidade da água superficial encontradas foram as que contêm remanescentes de vegetação densa (menos de 20% da área total da bacia). Em cerca de 70% das zonas ripárias de 100 metros traçadas ao longo dos mananciais dessa bacia o uso é o agropecuário. A validação do mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais consistiu em visita a campo para checagem da verdade terrestre e na confrontação com trabalhos anteriores que contemplaram análises de qualidade da água nessa bacia.

Palavras-chave: mapeamento de vulnerabilidade; águas superficiais; SIG, bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

ABSTRACT

The objective of this work was to delineate vulnerable areas to the quality of surface water in a public water supply system basin called the Joao Leite River watershed, located in the state of Goiás, Brazil. To achieve the proposed objective a Geographic Information System (GIS) was developed to manipulate geomorphology vulnerability data, geology, soils, climate, vegetation / land use and areas of risk to water quality. The methodology used was adapted from that presented by Crepani et al. (2001) for the construction of the vulnerability map to detect soil loss. The map resulting from this process shows five vulnerability classes: stable, moderately stable, stable / vulnerable, moderately vulnerable and vulnerable. It was verified that nearly 40% of the 764 square kilometers of the Joao Leite River watershed, was classified as stable / vulnerable. The vulnerable areas are located mainly near the drains that are not protected by riparian vegetation. The moderately vulnerable areas (corresponding to approximately 35% of the watershed area) correspond to areas of high altitude, with full activity of topography and highly dissected by drainages. Also the presence of argisol and nitosol are associated with these areas and the preponderant use of this class is the agricultural type. The areas causing the lowest impact to the quality of surface water were the ones having remnants of dense vegetation (less than 20% of the total area in the basin). In About 70% of the riparian zone of 100 meters drawn over the main drainages of the basin, the use is agricultural. The validation of the vulnerability map for the surface water quality was made by field works to check the ground reality and by confrontation with previous reviews which have covered the water quality studies in this basin.

Keywords: vulnerability maps; surface water quality; GIS; João Leite River watershed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Relação entre vulnerabilidade natural ou fragilidade potencial e vulnerabilidade ambiental ou fragilidade emergente.....	23
Figura 2.2 – Esquema de entrada e saída de dados e informações em um SIG.	25
Figura 2.3 – Alterações em bacias hidrográficas provocadas por atividades antrópicas.	30
Figura 2.4 – Produção de mapa de vulnerabilidade para águas subterrâneas utilizando o modelo GOD.	32
Figura 3.1 – Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	37
Figura 3.2 – Hierarquia da drenagem na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite segundo o método de Strahler e localização de alguns de seus principais corpos d'água.	39
Figura 3.3 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	41
Figura 3.4 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	42
Figura 3.5 – Mapa geológico da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	43
Figura 3.6 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal (1973/2006) na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	44
Figura 3.7 – Tipos vegetação do bioma Cerrado.....	45
Figura 3.8 – Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	46
Figura 3.9 – População dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	47
Figura 3.10 – IDH-Municipal, Renda, Educação e Longevidade dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	48
Figura 3.11 – Atividades econômicas (2006) dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	48
Figura 3.12 – Efetivo de aves, bovinos e suínos nos municípios localizados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (2004).	49
Figura 3.13 – Área (ha) destinada a produção agrícola (2007) dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	50
Figura 3.14 – Malha viária na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	51
Figura 4.1 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais.	56
Figura 4.2 – Esquema ilustrativo das variáveis morfométricas utilizadas para gerar o mapa de vulnerabilidade geomorfológica.	57

Figura 4.3 - Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à geomorfologia.	58
Figura 4.4 – Detalhe de um MDE original com 90 metros de resolução espacial (a) e de um MDE refinado com 10 metros de resolução espacial (b).	59
Figura 4.5 - Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à geologia.	61
Figura 4.6 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à geologia.	62
Figura 4.7 – Estações pluviométricas próximas e na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	64
Figura 4.8 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à intensidade pluviométrica.	66
Figura 4.9 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade a vegetação/uso do solo/áreas de risco a qualidade da água superficial.	67
Figura 4.10 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais.	68
Figura 5.1 – Mapa de vulnerabilidade à amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	74
Figura 5.2 – Mapa de vulnerabilidade à declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	75
Figura 5.3 – Mapa de vulnerabilidade ao grau de dissecação do relevo pela drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	76
Figura 5.4 – Mapa de vulnerabilidade à geomorfologia da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	78
Figura 5.5 – Mapa de vulnerabilidade à geologia da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	79
Figura 5.6 – Mapa de vulnerabilidade dos solos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	81
Figura 5.7 – Mapa de vulnerabilidade à intensidade pluviométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	82
Figura 5.8 – Mapa de uso do solo/cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	84
Figura 5.9 – Mapa de vulnerabilidade ao uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	85
Figura 5.10 – Mapa de vulnerabilidade dos <i>buffers</i> ripários (100 metros) ao redor das drenagens da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	88

Figura 5.11 – Mapa de vulnerabilidade das atividades potencialmente poluidoras existentes na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	89
Figura 5.12 – Mapa de vulnerabilidade no <i>buffer</i> de 200 metros ao redor do futuro reservatório do Ribeirão João Leite em sua cota máxima.....	91
Figura 5.13 – Mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais.	93
Figura 5.14 – Mapa de vulnerabilidade para vegetação/uso do solo/áreas de risco à qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	95
Figura 5.15 – Mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais para a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.....	96
Figura 5.16 – Mapa das rodovias percorridas e dos pontos visitados no trabalho de campo na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite sobreposto ao mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais.....	98
Figura 5.17 – Borda noroeste da bacia do Ribeirão João Leite.....	99
Figura 5.18 – Borda noroeste da bacia do Ribeirão João Leite.....	99
Figura 5.19 – Local de retirada de argila próximo a um dos afluentes do Ribeirão João Leite.....	100
Figura 5.20 – Calha que conduz os resíduos da rodovia para um dos afluentes do Ribeirão João Leite.	100
Figura 5.21 – Fábrica de cerâmica próxima à ponte que intercepta um afluente do Ribeirão João Leite.....	101
Figura 5.22 – Borda nordeste da bacia do Ribeirão João Leite. Área acidentada e urbanizada (Anápolis).	101
Figura 5.23 – Local altamente impactado pela retirada de argila em Anápolis.	102
Figura 5.24 – Frigorífico em Anápolis.	102
Figura 5.25 – Área de nascente urbanizada até a margem em Anápolis.....	103
Figura 5.26 – Nascente em área urbanizada em Anápolis.....	103
Figura 5.27 – Lançamento de esgoto em área de nascente em Anápolis.	104
Figura 5.28 – Pesque-pague na beira da rodovia GO-222.....	104
Figura 5.29 – Calha que conduz os resíduos provenientes da rodovia GO-222 diretamente para o Ribeirão João Leite.....	105
Figura 5.30 – Margem parcialmente desmatada do Ribeirão João Leite próxima a ponte localizada na rodovia GO-222.....	105

Figura 5.31 – Área de vegetação densa cercada por área de pastagem próxima à rodovia GO-466.....	106
Figura 5.32 – Processo erosivo em estágio inicial em área de declividade acentuada, desmatada até a margem do córrego e utilizada para pastagem.	106
Figura 5.33 – Ribeirão João Leite visto de cima da ponte localizada na rodovia GO-466.	107
Figura 5.34 – Vista do Parque Altamira de Moura Pacheco da rodovia BR-153.....	107
Figura 5.35 – Área de extração de quartzito na bacia do Ribeirão João Leite.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Valores de precipitação pluvial média mensal e anual, número de dias com chuva e valores de intensidade pluviométrica calculados para cada estação pluviométrica.....	65
Tabela 5.1 – Características das chuvas nas diversas regiões do Brasil.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Variáveis dos modelos de Ross (1994) para análise ambiental da fragilidade...	21
Quadro 2.2 – Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas.	22
Quadro 2.3 – Variáveis utilizadas por cada modelo de análise ambiental da fragilidade.	23
Quadro 2.4 – Exemplos de análises espaciais típicas de um SIG.	25
Quadro 2.5 – Modelos para determinação da vulnerabilidade geral à poluição de aquíferos..	30
Quadro 2.6 – Classificação e peso dos parâmetros do modelo WRASTIC.	35
Quadro 3.1 – Características morfométricas da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. ...	38
Quadro 3.2 – Distribuição da área dos municípios na bacia do Ribeirão João Leite.	47
Quadro 4.1 – Fatores considerados para determinar a vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	54
Quadro 4.2 – Valores de vulnerabilidade para amplitude altimétrica.	60
Quadro 4.3 – Valores de vulnerabilidade para declividade.	60
Quadro 4.4 – Valores de vulnerabilidade para a intensidade da dissecação do relevo.	61
Quadro 4.5 – Valores de vulnerabilidade para as rochas mais comuns.	62
Quadro 4.6 – Valores de vulnerabilidade dos solos.	63
Quadro 4.7 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo. ...	66
Quadro 4.8 – Valores de vulnerabilidade para as classes de uso da terra e cobertura vegetal.	68
Quadro 4.9 – Valores de vulnerabilidade atribuídos aos usos encontrados nos <i>buffers</i> ripários ao redor das drenagens na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	69
Quadro 4.10 – Valores de vulnerabilidade atribuídos às atividades encontradas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.	70
Quadro 4.11 – Valores de vulnerabilidade atribuídos ao <i>buffer</i> de 200 metros ao redor do futuro reservatório do Ribeirão João Leite.	71
Quadro 5.1 – Programas Ambientais desenvolvidos pela SANEAGO.	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
AWWA	American Water Works Association
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HidroWeb	Sistema de Informações Hidrológicas
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade da Água
ITCO	Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste
LabGis	Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte
MDE	Modelo Digital de Elevação
METAGO	Metais de Goiás S.A.
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NMED/DWB	New Mexico Environment Department/Drinking Water Bureau
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
OWQI	Oregon Water Quality Index
PEAMP	Parque Estadual Altamira de Moura Pacheco
SAD69	South American Datum 1969
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás
SEPIN	Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informação
SEPLAN-GO	Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás
SIG	Sistema de Informações Geográfica
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UnB	Universidade de Brasília

UTB	Unidade Territorial Básica
UTM	Universal Transverso de Mercator
WGS84	World Geographic System 1984

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	19
2 CONCEITOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 VULNERABILIDADE NATURAL/FRAGILIDADE POTENCIAL E VULNERABILIDADE AMBIENTAL/FRAGILIDADE EMERGENTE	20
2.2 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE AMBIENTAL	24
2.3 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE	26
2.3.1 Alterações ambientais em bacias hidrográficas: atividades modificadoras do meio e suas conseqüências.....	28
2.4 MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO À QUALIDADE DAS ÁGUAS	30
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
3.1 LOCALIZAÇÃO	37
3.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS.....	38
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	40
3.4 CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICA.....	47
4 METODOLOGIA.....	52
4.1 MATERIAIS.....	52
4.2 MÉTODOS	53
4.2.1 Geração do mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais.....	54
4.2.1.1 Geração do mapa de vulnerabilidade à geomorfologia	57
4.2.1.1.1 Refinamento do MDE de 90 para 10 metros de resolução espacial	58
4.2.1.1.2 Geração do mapa de vulnerabilidade à amplitude altimétrica.....	59
4.2.1.1.3 Geração do mapa de vulnerabilidade à declividade	60
4.2.1.1.4 Geração do mapa de vulnerabilidade ao grau de dissecação do relevo pela drenagem	60
4.2.1.2 Geração do mapa de vulnerabilidade à geologia.....	61
4.2.1.3 Geração do mapa de vulnerabilidade do solo.....	62
4.2.1.4 Geração do mapa de vulnerabilidade ao clima.....	63

4.2.1.5 Geração do mapa de vulnerabilidade a vegetação/uso do solo/áreas de risco a qualidade da água superficial	66
4.2.1.5.1 Geração do mapa de vulnerabilidade da cobertura vegetal e do uso da terra.....	67
4.2.1.5.2 Geração do mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais.....	68
4.2.1.5.2.1 Geração do mapa de vulnerabilidade dos <i>buffers</i> ripários no entorno das drenagens.....	69
4.2.1.5.2.2 Geração do mapa de vulnerabilidade das atividades potencialmente poluidoras...	69
4.2.1.5.2.3 Geração do mapa de vulnerabilidade do <i>buffer</i> ao redor futuro reservatório.....	71
4.2.2 <i>Atividades de campo</i>	71
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	72
5.1 MAPA DE VULNERABILIDADE À GEOMORFOLOGIA.....	72
5.1.1 <i>Mapa de vulnerabilidade à amplitude altimétrica</i>	72
5.1.2 <i>Mapa de vulnerabilidade à declividade</i>	73
5.1.3 <i>Mapa de vulnerabilidade ao grau de dissecação do relevo pela drenagem</i>	73
5.2 MAPA DE VULNERABILIDADE À GEOLOGIA.....	77
5.3 MAPA DE VULNERABILIDADE DOS SOLOS.....	80
5.4 MAPA DE VULNERABILIDADE AO CLIMA.....	80
5.5 MAPA DE VULNERABILIDADE DA VEGETAÇÃO/USO DO SOLO/ÁREAS DE RISCO À QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	83
5.5.1 <i>Mapa de vulnerabilidade ao uso da terra</i>	83
5.5.2 <i>Mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais</i>	86
5.5.2.1 Mapa de vulnerabilidade dos <i>buffers</i> ripários ao redor das drenagens.....	86
5.5.2.2 Mapa de vulnerabilidade das atividades potencialmente poluidoras.....	87
5.5.2.3 Mapa de vulnerabilidade no <i>buffer</i> no entorno do futuro reservatório.....	90
5.6 MAPA DE VULNERABILIDADE PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	94
5.7 ATIVIDADES DE CAMPO	97
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	109
REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos fundamentais à vida no planeta Terra. Trata-se de um recurso básico para a sustentação da vida, de importância ecológica, econômica e social. As grandes civilizações do passado e do presente, assim como as do futuro, dependiam, dependem e dependerão da água.

Embora a água seja um elemento estratégico e indispensável, as sociedades humanas têm poluído e degradado este recurso - tanto as águas superficiais como as subterrâneas. A diversificação de usos, a deposição de resíduos sólidos e líquidos em rios, lagos e represas, o desmatamento e ocupação de bacias hidrográficas têm produzido crises de abastecimento e comprometido a qualidade das águas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2005).

A Política Nacional de Recursos Hídricos brasileira define como um dos seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Lei 9.433, Art. 2º, Cap. II, Tit. I). Tal definição mostra que a preocupação em manter e preservar água de boa qualidade está fundamentada na legislação. Entretanto, mesmo com esse respaldo da legislação, a gestão da qualidade das águas no país não tem historicamente merecido o mesmo destaque dado à gestão da quantidade de água, quer no aspecto legal, quer nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, quer no planejamento e na operacionalização dos sistemas de gestão (PORTO¹, 2002 *apud* ANA, 2005).

Um das formas de se avaliar as águas de uma bacia hidrográfica é por meio das informações obtidas a partir da rede hidrometeorológica nacional, que propicia: a) manter um banco de dados de referência com informações sobre a qualidade da água dos rios; b) fornecer subsídios à avaliação, estudos e projetos de aproveitamento de múltiplos usos dos recursos hídricos; c) gerar informações complementares para o enquadramento dos corpos de água em classes; d) alimentar o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), dentre outros. Entretanto, embora produza resultados de importância fundamental, tal método apresenta limitações. Uma delas é a insuficiência ou ausência de informações sobre a qualidade da água em várias bacias, especialmente as de pequeno porte e/ou as localizadas nas

¹ PORTO, M. F. A. **Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro**. 2002. 131f. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2002.

regiões menos desenvolvidas economicamente. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), em termos gerais, apenas a região Sudeste possui uma condição adequada de monitoramento da qualidade da água. As demais regiões apresentam, nesse quesito, monitoramento insuficiente, com destaque para as regiões Norte e Nordeste (ANA, 2005). De Vito (2007) destaca ainda, como limitação da eficácia da rede, a dificuldade de monitoramento nas fontes de poluição difusa por não haver pontos específicos de lançamento e, mesmo em casos de poluição pontual, mantém-se a dificuldade de localização exata dos pontos de lançamento.

Uma alternativa para gerir uma bacia hidrográfica seria então identificar áreas de potencial risco à qualidade de suas águas, partindo do princípio que as características da água bruta dependem das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia (VON SPERLING, 2005). O geoprocessamento, por permitir uma abordagem integrada de todo o meio físico, associando-o aos aspectos sociais, econômicos e políticos, pode ser adotado como uma ferramenta eficiente para localizar essas áreas críticas onde se devem concentrar esforços visando à manutenção e/ou recuperação da qualidade da água.

1.1 JUSTIFICATIVA

A área de estudo do presente trabalho é a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Atualmente, ela é responsável pelo fornecimento de cerca de 55% da água utilizada na cidade de Goiânia, capital do Estado de Goiás. Em seu curso principal, de mesmo nome, está sendo construída uma barragem com intuito de garantir, praticamente em plenitude, o abastecimento da capital e sua região metropolitana pelas próximas duas décadas. De acordo Papaleo e Martins Júnior (2008), da área total da bacia, apenas cerca de 10% situam-se a jusante do futuro reservatório. Assim, a qualidade da água e a vida útil desse reservatório dependerão enormemente das atividades humanas desenvolvidas a montante desse barramento.

Considerando o exposto, fica evidente a importância de conhecer onde se localizam as áreas que reúnem características que podem deteriorar a qualidade dessa água. Uma alternativa interessante para identificar e hierarquizar onde elas se encontram é produzir um mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica a partir do cruzamento de suas características ambientais e do seu uso. O mapa daí resultante pode servir de subsídio ao planejamento de práticas conservacionistas ao identificar áreas que

devem ser protegidas para garantir a qualidade da água na bacia. Além disso, ele pode auxiliar na priorização de onde devem se instalar pontos de monitoramento ambiental ao indicar áreas vulneráveis. Trata-se, portanto, de uma ferramenta valiosa para o seu gerenciamento.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal mapear as áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite mediante o cruzamento de sua vulnerabilidade ambiental com a localização das atividades potencialmente poluidoras. Trata-se de uma análise de caráter indireto, que tem por base informações georreferenciadas, o que possibilita a apresentação dos resultados na forma de mapas, facilitando o entendimento do resultado gerado para públicos de formações variadas, e especialmente, para os tomadores de decisão.

Para atingir o objetivo geral, faz-se necessário alcançar os seguintes objetivos específicos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite:

- Organizar os dados disponíveis da bacia em uma base cartográfica utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG);
- Construir os mapas de vulnerabilidade para os temas geologia, solo, geomorfologia e clima;
- Mapear o uso da terra/cobertura vegetal da bacia hidrográfica e atribuir os valores de vulnerabilidade para este tema;
- Elaborar o mapa de vulnerabilidade das atividades potencialmente poluidoras;
- Sintetizar os mapas anteriores no mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais.
- Realizar uma vistoria em campo para avaliar e validar os resultados teóricos obtidos.

2 CONCEITOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos teórico-conceituais relacionados com a presente pesquisa e abordar como temas semelhantes foram desenvolvidos em trabalhos anteriores. Desta forma, ele é composto por cinco sub-itens principais. O primeiro deles traz uma breve conceituação dos termos “vulnerabilidade” e “fragilidade”, muito utilizados neste trabalho. O segundo introduz e salienta a importância do uso do geoprocessamento como ferramenta para desenvolver estudos ambientais. Em seguida, é comentada a utilização da bacia hidrográfica como unidade de análise em estudos socioambientais. Posteriormente são comentadas sucintamente as atividades que mais modificam uma bacia hidrográfica e suas conseqüências e, por último, são apresentados trabalhos de outros autores que também buscaram identificar onde se encontram os ambientes de maior risco para a qualidade da água em uma bacia hidrográfica.

2.1 VULNERABILIDADE NATURAL/FRAGILIDADE POTENCIAL E VULNERABILIDADE AMBIENTAL/FRAGILIDADE EMERGENTE

O meio físico é heterogêneo e sua capacidade de suporte é variada face às interferências naturais e antrópicas. Martinelli e Pedrotti (2001) entendem que “qualquer paisagem por mais simples que seja é sempre social e natural, subjetiva e objetiva, espacial e temporal, produção material e cultural, real e simbólica”. Deduz-se então que, para sua completa apreensão, é insuficiente a análise separada de seus elementos. É necessário compreender sua complexidade e para melhor direcionar o seu uso é importante, portanto, conhecer como varia a sua capacidade de suporte a condições diversas. Assim, termos como vulnerabilidade, fragilidade, risco e susceptibilidade são constantes em trabalhos cujo objetivo é identificar onde se encontram, dentro de um ambiente, as áreas de menor ou maior capacidade de suporte a fenômenos morfogenéticos naturais e/ou às conseqüências diretas das atividades humanas. Nota-se, inclusive, que estes termos têm sido utilizados em diversas ciências e ramos do conhecimento e que, de acordo com o caso em questão, seu significado é adaptado.

Há três modelos metodológicos de referência no país desenvolvidos para a análise ambiental da fragilidade. Dois deles são propostos por Ross (1994) e tratam, um, da

fragilidade com apoio nos índices de dissecação do relevo e, o outro, da fragilidade com apoio nas classes de declividade. O terceiro, de Crepani et al. (2001) trata da vulnerabilidade com apoio nas unidades territoriais básicas (UTBs). Os três modelos têm como princípio o conceito de paisagem ecodinâmica desenvolvido por Tricart² (1977).

Para Ross (1994) as unidades de fragilidade dos ambientes naturais resultam de levantamentos básicos de geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima. Tais elementos manipulados de forma integrada possibilitariam chegar a um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Assim, os modelos propostos por Ross (1994) definem que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em cinco classes de acordo com sua fragilidade. As variáveis mais estáveis recebem valores mais próximos de 1,0, as intermediárias valores ao redor de 3,0 e, as mais frágeis, 5,0. As variáveis desses modelos e os seus respectivos graus de fragilidade estão sistematizados no Quadro 2.1:

Aspectos		Grau de fragilidade
Modelo 1	Modelo 2	
Índices de dissecação do relevo	Classes de declividade	Varia de muito fraca (1) a muito forte (5)
Solos	Solos	Classes de fragilidade muito fraca (1) a muito forte (5)
Uso da terra/cobertura vegetal	Uso da terra/cobertura vegetal	Grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5)
Pluviosidade	Pluviosidade	Varia de muito fraca (1) a muito forte (5)

Quadro 2.1 – Variáveis dos modelos de Ross (1994) para análise ambiental da fragilidade.
Fonte: Adaptado de Spörl e Ross (2004).

A partir da combinação dos algarismos de cada classe (ex: 1111, 1342, 4352, etc), é possível hierarquizar os graus de fragilidade natural. Nestes modelos, o conjunto numérico 1111 representa todas as variáveis favoráveis (fragilidade muito baixa) e o conjunto numérico 5555 apresenta todas as variáveis desfavoráveis (fragilidade muito forte).

No trabalho desenvolvido por Crepani et al. (2001), cada unidade territorial recebe um valor que varia de 1 a 3 em função do grau de vulnerabilidade para cada tema (geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima). Em seguida é feita uma média aritmética dos

² Considerando o dinamismo das relações entre os elementos da paisagem e as intervenções humanas, Tricart (1977) estabeleceu três tipos de meios e denominou-os como unidades ambientais: meios estáveis, meios intergrades e os fortemente instáveis. De acordo com essa classificação, ambientes de cobertura vegetal densa e relevo moderadamente dissecado são tidos como ambientes em equilíbrio dinâmico e por isso denominados como estáveis. Já os meios intergrades são aqueles em que há um balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas, tratando-se, portanto de uma classe de transição. Os meios fortemente instáveis apresentam condições bioclimáticas agressivas, relevo muito dissecado, solos rasos, cobertura vegetal rala ou são planícies e fundos de vales sujeitos a inundações ou ainda locais de ecodinâmica interna intensa.

valores atribuídos a cada tema (Equação 1) e o resultado é a determinação da vulnerabilidade à perda de solo de cada unidade territorial básica.

$$VPS = \left(\frac{G + R + S + Vg + C}{5} \right) \quad (1)$$

onde:

VPS = Vulnerabilidade à Perda de Solo;

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia;

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = Vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = Vulnerabilidade para o tema Vegetação/Usos do Solo;

C = Vulnerabilidade para o tema Clima.

A escala de vulnerabilidade produzida no trabalho de Crepani et al. (2001) encontra-se reproduzida no Quadro 2.2.

Unidade de paisagem	Média			Grau de vulnerabilidade	Grau de saturação			
					Verm.	Verde	Azul	Cores
U1	↑	3,0		Vulnerável	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4		2,7			255	153	0	
U5	V	2,6	E	Moderadamente vulnerável	255	204	0	
U6	L	2,5	S		255	255	0	
U7	N	2,4	T		204	255	0	
U8	E	2,3	A		153	255	0	
U9	R	2,2	B	Medianamente estável/vulnerável	102	255	0	
U10	A	2,1	I		51	255	0	
U11	B	2,0	L		0	255	0	
U12	I	1,9	I		0	255	51	
U13	L	1,8	D	Moderadamente estável	0	255	102	
U14	I	1,7	A		0	255	153	
U15	D	1,6	D		0	255	204	
U16	A	1,5	E		0	255	255	
U17	D	1,4	↓	Estável	0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0		0	0	255		

Quadro 2.2 – Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas.

Fonte: Crepani et al. (2001).

Spörl e Ross (2004) destacam que as três metodologias com seus respectivos procedimentos técnico-operacionais levam em consideração basicamente as mesmas variáveis, mas com pequenas diferenciações, como pode ser verificado no Quadro 2.3:

Variáveis	Metodologias		
	Índice de dissecação do relevo (Ross, 1994)	Classes de declividade (Ross, 1994)	Unidades Territoriais Básicas (Crepani et al., 2001)
Índices de dissecação do relevo	X	-	X
Declividade	-	X	X
Solos	X	X	X
Rochas	-	-	X
Cobertura vegetal/uso da terra	X	X	X
Clima	X	X	X

Quadro 2.3 – Variáveis utilizadas por cada modelo de análise ambiental da fragilidade.

Fonte: Adaptado de Spörl; Ross (2004).

Há ainda diferença entre a terminologia desses dois autores. Ross (1994) adota o termo fragilidade (potencial e emergente) e Crepani et al. (2001) utiliza o termo vulnerabilidade (natural e ambiental).

Entende-se, nesse trabalho, que determinar a “vulnerabilidade natural” (Crepani et al., 2001) ou a “fragilidade potencial” (Ross, 1994) de um meio consiste em avaliá-lo de maneira integrada visando identificar quais áreas tem maior ou menor resistência natural para suportar processos erosivos. Já a avaliação da “vulnerabilidade ambiental” ou da “fragilidade emergente” de um meio é vista como uma etapa posterior em que se acrescenta o uso atual que se faz do meio. A relação entre esses conceitos encontra-se esquematizada na Figura 2.1.

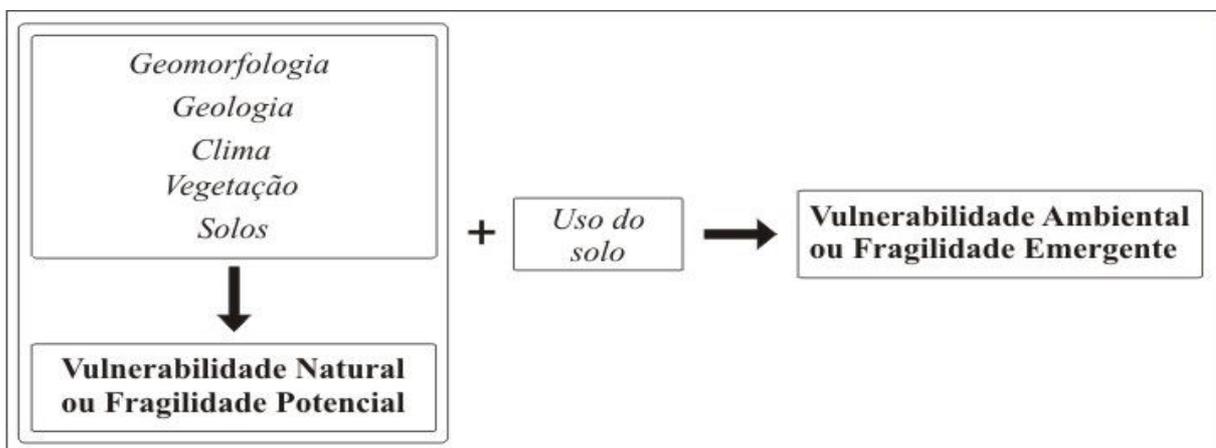


Figura 2.1– Relação entre vulnerabilidade natural ou fragilidade potencial e vulnerabilidade ambiental ou fragilidade emergente.

A metodologia deste trabalho baseou-se fundamentalmente nos procedimentos propostos por Crepani et al. (2001) pelo fato dos dados de entrada disponíveis para a área de estudo mostrarem-se mais adequados à adoção deste modelo. Assim sendo, optou-se também pela utilização do termo “vulnerabilidade”.

2.2 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE AMBIENTAL

A água é um importante indicador da degradação do meio onde se encontra, pois sua qualidade em um corpo d’água é o reflexo de qualquer ação que altere o equilíbrio do território (COUTO, 2005). Tal característica reafirma a importância dos estudos envolvendo os recursos hídricos que, nas últimas décadas, têm sido incrementados com uma ferramenta relativamente nova, o geoprocessamento.

O geoprocessamento surgiu na metade do século XX, impulsionado pelo desenvolvimento da tecnologia da informação. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) define geoprocessamento como um “conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico” e acrescenta que “as atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)”. Esse mesmo órgão define SIG como “um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies”.

Os SIG’s têm por característica a possibilidade de integrar, em uma base única, dados com referência espacial provenientes de fontes diversas (Figura 2.2). Eles oferecem, ainda, mecanismos para combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar, visualizar e gerar mapas de forma rápida e eficiente.

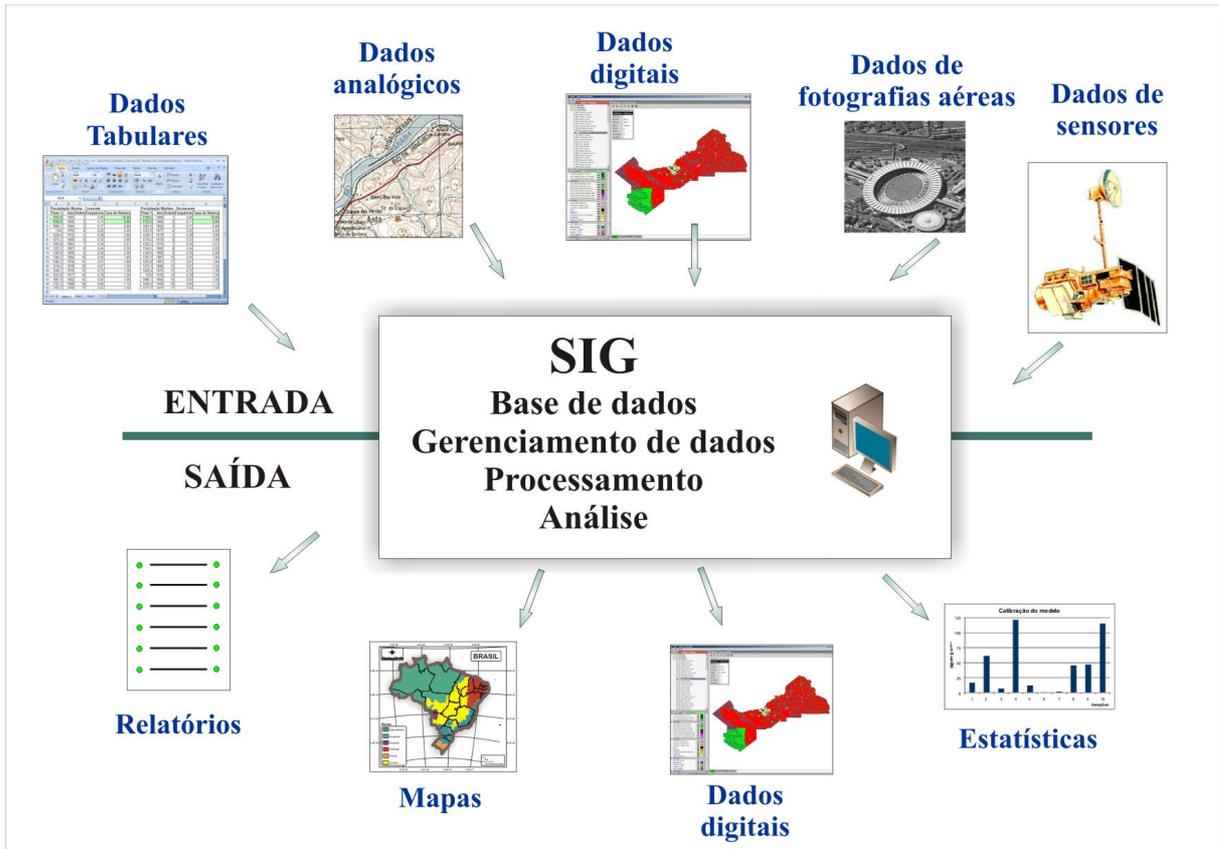


Figura 2.2 – Esquema de entrada e saída de dados e informações em um SIG.
 Fonte: Adaptado de LabGis, 2008.

Uma das mais importantes contribuições dos SIG's e do geoprocessamento em geral, é a sua capacidade de realizar análise espacial, ou seja, sua capacidade de evidenciar as relações entre dados diversos, conforme exemplificado no Quadro 2.4.

Análise	Pergunta geral	Exemplo
Condição	"O que está...?"	"Qual a população desta cidade?"
Localização	"Onde está...?"	"Quais as áreas com declividade acima de 20%?"
Tendência	"O que mudou...?"	"Esta terra era produtiva há 5 anos atrás?"
Roteamento	"Por onde ir...?"	"Qual o melhor caminho para o metrô?"
Padrões	"Qual o padrão...?"	"Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?"
Modelos	"O que acontece se...?"	"Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia?"

Quadro 2.4 – Exemplos de análises espaciais típicas de um SIG.
 Fonte: INPE, 2008.

Como conseqüência de suas potencialidades, atualmente o geoprocessamento é uma ferramenta que vem ganhando terreno nas diversas áreas do conhecimento. Dias et al. (2004) destaca que a tecnologia geoprocessamento vem provando ser uma ferramenta valiosa em vários trabalhos relacionados a recursos naturais como os recursos hídricos.

Diversos trabalhos que utilizam o geoprocessamento como ferramenta para o estudo, o planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos são encontrados na literatura. Um dos exemplos é o trabalho de Montañó et al. (2007) que utilizou o geoprocessamento para realizar um zoneamento ambiental e selecionar a melhor área para a implantação de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) em São José do Rio Preto (SP). Outro exemplo, é o trabalho de Bonnet et al. (2006) que buscou estabelecer relações entre o uso do solo e a qualidade da água em bacias hidrográficas de portes diferenciados. Pode-se ainda citar o trabalho de Santos e Zeilhofer (2005) que utilizaram SIG na modelagem hidrológica.

O geoprocessamento também é ferramenta usual em trabalhos de análise ambiental de bacias hidrográficas. Segundo Ribeiro et al. (2005), os métodos convencionais de obtenção manual das características fisiográficas das bacias hidrográficas a partir de mapas topográficos são repetitivos e intensivos em mão-de-obra, representando sempre um grande desafio mesmo para técnicos experientes. Antes do advento dos SIGs, a obtenção de parâmetros mais complexos como declividade, comprimento da hidrografia, trajeto de escoamento superficial, área de contribuição etc. para grandes extensões era dificultada, sobremaneira, pelo volume de trabalho, limitando, assim, aplicações potenciais de análise de drenagem. Além disso, a ausência de padrões tornava virtualmente impossível o armazenamento e o compartilhamento desse tipo de informações analógicas. Dentre as vantagens de se adotar abordagens automatizadas para tais processos, destacam-se a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados, que podem então ser organizados e facilmente acessados sob a forma de bases de dados digitais (SAUNDERS, 1999).

2.3 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE

Segundo Barbosa et al. (1997) e Tundisi et al. (2008), até a introdução do conceito de carga por Volleweider (1968)³, os ecossistemas aquáticos eram vistos como sistemas isolados na paisagem, mantendo pequena interação com o seu entorno. A inserção desse conceito permitiu a busca da origem e das causas de problemas como eutrofização, contaminação e poluição externamente ao ambiente aquático, mostrando neste as

³ VOLLENWEIDER, R.A. **The scientific basis for lake and stream eutrofication with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication functions**. OECD, Tech. Report No. DAS/CSI/68.37, Paris, 1968.

conseqüências das ações antrópicas na bacia. Assim, novos problemas conceituais passaram a ser discutidos, evidenciando a necessidade de uma abordagem integrada que considere não apenas os aspectos biogeográficos, mas também aqueles sócio-econômicos e o papel que os mesmos desempenham na definição da qualidade da água e na deterioração dos ecossistemas aquáticos.

Ainda de acordo com Barbosa et al. (1997) tais idéias provocaram uma mudança no antigo paradigma de Forbes — o lago como um microcosmo (Forbes, 1887)⁴ — e o resultado foi um conceito mais integrativo, no qual a bacia hidrográfica e as inter-relações bacia/corpo d'água têm um papel fundamental.

Assim, a bacia de drenagem e o conjunto de processos que nela atuam constituem, como unidades de estudo, um paradigma relativamente novo para a ciência, na medida em que se constata que as ações visando à conservação devem considerar o conjunto das atividades em toda a bacia hidrográfica e não apenas aquelas restritas ao corpo d'água.

Segundo Collares (2000), a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento não é uma unanimidade entre os países. Paiva (1999) aponta que diversos países da Europa, como por exemplo, Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca e Suécia, adotam limites administrativos. Entre os países que adotam os limites definidos por bacias hidrográficas encontram-se França, Espanha, Grécia, Portugal, Reino Unido e os Estados Unidos.

Na França, a legislação que instituiu a adoção da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e gerenciamento data de 1964. Trata-se de um sistema descentralizado, com a participação da comunidade e que prevê a cobrança pelo uso da água. O sistema que vem sendo implementado no Brasil pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) tem por base o modelo francês (COLLARES, 2000).

Atualmente, a bacia hidrográfica é um dos recortes geográficos mais utilizados pelos pesquisadores brasileiros em estudos de cunho ambiental, seja para análises quantitativas ou principalmente para enfoques sócio-ambientais. A adoção desta unidade de intervenção tem como principal vantagem a possibilidade de identificar as relações de causa-efeito, e como desvantagem, o fato dos limites municipais e estaduais nem sempre respeitarem os divisores de drenagem, o que cria a necessidade de uma maior articulação entre os agentes sociais que a gerenciam (COLLARES, 2000).

⁴ FORBES, S. A. **The lake as a microcosm**. Disponível em: < <http://www.wku.edu/~smithch/biogeog/FORB1887.htm> > .

Na ótica do planejamento ambiental, o estudo da articulação entre sociedade e espaço, tendo como referência as bacias hidrográficas, representa a possibilidade de rompimento da dissociação nos estudos sobre sociedade/natureza. As bacias têm despertado o interesse dos planejadores urbanos, uma vez que é considerada uma unidade natural da paisagem que contém uma organização de recursos e atividades interligados e interdependentes. Desse modo, os centros urbanos não devem ser vistos como um fenômeno isolado das bacias, pois ambos são inseparáveis (MAKINODAN; COSTA, 2004).

Como já normalmente adotado em projetos de gestão envolvendo recursos hídricos, neste trabalho foi utilizada como área de estudo uma bacia hidrográfica por se entender que bacias hidrográficas são unidades geográficas naturais apropriadas para o estabelecimento de planos de uso e manejo, monitoramento e avaliação das interferências humanas no meio ambiente. Elas representam unidades sistêmicas que permitem a identificação e o conhecimento das inter-relações dos fluxos de energia e dos demais fatores envolvidos no processo produtivo, com vistas a compatibilizar as atividades humanas com a preservação ambiental.

2.3.1 Alterações ambientais em bacias hidrográficas: atividades modificadoras do meio e suas conseqüências

A avaliação da vulnerabilidade de um determinado meio é uma tarefa complexa que deve considerar os processos naturais com suas interações, mecanismos de causa e efeito, ações, reações e fatores relacionados.

O dinamismo no meio ambiente é promovido pelos processos do meio físico e/ou de origem antrópica. Às mudanças no meio ambiente promovidas por esses processos, dá-se o nome de alterações ambientais. Collares (2000) citando Fornasari Filho (1992)⁵ destaca que, de maneira geral, os processos são descritos por intermédio da análise de fluxos de energia e da matéria que resultam de interações entre seus diversos componentes. Ainda segundo este autor, a caracterização destes processos, em termos quantitativos e/ou qualitativos, constituiu um alicerce nos planos de estudos ambientais.

⁵ FORNASARI FILHO, N. coord. (1992). **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia**. São Paulo, IPT (Boletim 61). 165p.

Mendes e Cirilo (2001) destacam que o impacto decorrente da alteração do uso do solo em uma bacia hidrográfica se reflete em todos os componentes do ciclo hidrológico, assim como na qualidade da água e no transporte de sedimentos. Von Sperling (2005) explica que a poluição pode ser de caráter pontual, quando os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço, e difusa, quando a poluição se dá ao longo de uma faixa extensa do corpo receptor.

Derísio (2007) classifica a poluição em águas de superfície quanto à origem em cinco tipos:

- Poluição natural: não está associada à atividade humana. É causada por chuvas e escoamento superficial, salinização e decomposição de vegetais e animais. Por não ser possível seu controle direto, não se realizam levantamentos específicos;
- Poluição industrial: causada pelos resíduos dos processos industriais;
- Poluição urbana: deriva dos esgotos domésticos;
- Poluição agropastoril: decorre da aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes, excrementos de animais e erosão;
- Poluição acidental: deriva de derramamento de substâncias prejudiciais.

De acordo com as definições de Derísio (2007), pode-se classificar como poluição difusa, a natural e a agropastoril; e como poluição concentrada, a industrial, a urbana e a acidental.

A agropecuária, a urbanização, a mineração e a industrialização são atividades que causam alterações na paisagem e em características físicas ou químicas das águas em uma bacia hidrográfica. Pires (1995) apresenta um organograma que traz de forma esquemática a cadeia de alterações geradas em decorrência destas atividades, culminando com as alterações dos recursos hídricos. Este organograma é apresentado na Figura 2.3.



Figura 2.3 – Alterações em bacias hidrográficas provocadas por atividades antrópicas.
Fonte: Adaptado de Pires (1995).

2.4 MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO À QUALIDADE DAS ÁGUAS

Há registro de outros trabalhos cujo objetivo foi identificar as áreas de maior potencial poluidor às águas superficiais e subterrâneas e que também utilizaram o geoprocessamento como ferramenta para atingi-lo. Portanto, é importante resgatar os estudos recentes relacionados com o tema em questão para melhor subsidiar o presente trabalho.

Com relação ao estudo da vulnerabilidade das águas subterrâneas, Menezes et al. (2009) destacam alguns dos modelos existentes (Quadro 2.5):

Modelo	Fatores	Autor
DRASTIC	Profundidade da água subterrânea, material do aquífero, solo, topografia, litologia da zona vadosa, condutividade hidráulica	ALLER et al., (1987)
GOD	Tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, profundidade da água	FOSTER e HIRATA (1988)
SINTACS	Igual ao DRASTIC, com pesos diferentes	CIVITA et al., (1990)

Quadro 2.5 – Modelos para determinação da vulnerabilidade geral à poluição de aquíferos.
Fonte: Adaptado de Menezes et al. (2009).

De fato, diversos trabalhos utilizando os modelos citados anteriormente e outros que não constam na lista de Menezes et al (2009) são encontrados. Um exemplo seria o mapeamento da vulnerabilidade e do risco de contaminação do aquífero basáltico na bacia Azraq (Jordânia) realizado por Al-Adamat et al. (2003) empregando SIG na aplicação do modelo DRASTIC. Outro trabalho similar é o de Babiker et al. (2005) que utilizaram um SIG baseado no modelo DRASTIC para avaliar a vulnerabilidade do aquífero Kakamigahara, no centro do Japão. Mais recentemente Nobre et al. (2009) mapearam a vulnerabilidade do aquífero de Maceió (AL). Este último estudo, além de utilizar SIG e o modelo DRASTIC, fez uso também de lógica *fuzzy* para hierarquizar a origem dos potenciais contaminantes. Também se pode citar o trabalho de Mimi e Assi (2009) que avaliaram a vulnerabilidade e o risco à contaminação de um aquífero karstico no distrito de Ramallah na Palestina utilizando o modelo PI de Goldscheider et al., (2000)⁶.

Segundo Mimi e Assi (2009), os métodos DRASTIC (Aller et al., 1987) e GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) são os mais conhecidos para a avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas. Tucci e Cabral (2003), afirmam que esses métodos são também os mais utilizados no Brasil.

No caso do método GOD, há inclusive um manual intitulado “Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais” produzido pelos próprios autores do referido método e outros colaboradores – Foster et al (2006). Braga (2008) explica que nesse método de avaliação da vulnerabilidade considera-se a interação dos fatores intrínsecos, a forma de ocorrência da água subterrânea (tipo de aquífero), o arcabouço litológico que sustenta o aquífero na zona não saturada e a profundidade do nível d'água. A partir dessas características, são atribuídos os seguintes valores: 0,0 a 1,0 para o tipo de ocorrência da água subterrânea; 0,3 a 1,0 para o tipo litológico e características granulométricas acima da zona saturada do aquífero; e, 0,4 a 1,0 para a profundidade do nível d'água (ou do topo do aquífero confinado). O produto dos três parâmetros será o índice de vulnerabilidade, cujo resultado varia entre 0 e 1. Assim, define-se o grau de vulnerabilidade natural do aquífero como: nenhum, desprezível, baixo, médio, alto e extremo.

A Figura 2.4, a seguir, esquematiza como se dá a produção de um mapa de vulnerabilidade para águas subterrâneas utilizando o método GOD.

⁶ GOLDSCHIEDER, N.; KLUTE, M.; STURM, S.H. The PI method: a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers. **Zeitschrift Fur Angewandte Mathematik Und Mechanik**. n.463, p.157–166, 2000.

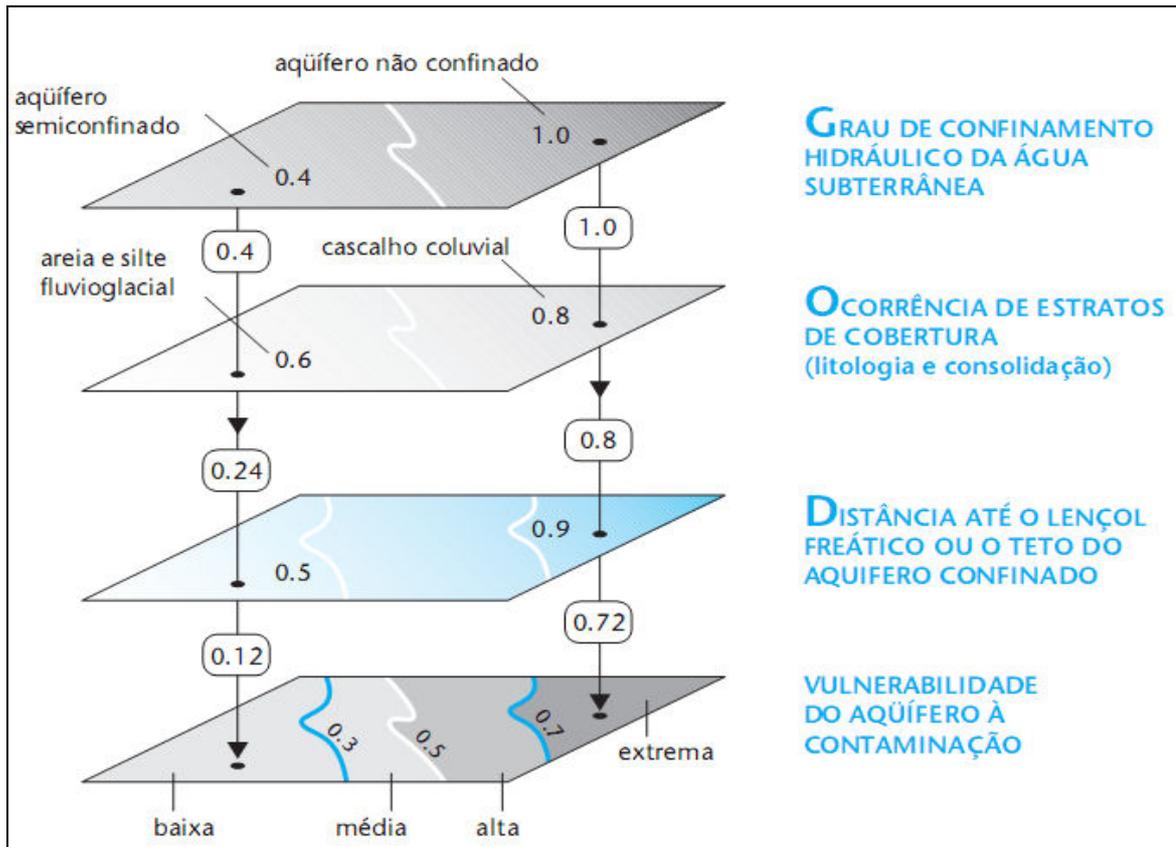


Figura 2.4 – Produção de mapa de vulnerabilidade para águas subterrâneas utilizando o modelo GOD.

Fonte: Foster et al. (2006).

O outro modelo bastante encontrado na literatura para mapear a vulnerabilidade de aquíferos, o DRASTIC, foi idealizado por Aller et al, (1987). Menezes et al. (2009) explicam que, utilizando o referido modelo, a vulnerabilidade é calculada pelo somatório dos produtos dos valores relativos pelos pesos de cada parâmetro (Equação 2).

$$DRASTIC = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw \quad (2)$$

onde

$DRASTIC$ = Índice de vulnerabilidade do aquífero

D = profundidade da zona não-saturada

R = recarga do aquífero

A = material do aquífero

S = tipo de solo

T = topografia

I = material da zona não-saturada

C = condutividade hidráulica

Os valores “*r*” relacionam-se com as condições locais de cada parâmetro e variam de 1 a 10 quanto maior for a vulnerabilidade. Os valores “*w*” correspondem à importância de cada fator na quantificação da vulnerabilidade do aquífero, podendo variar entre 1 e 5 (MENEZES et al., 2009).

Assim como para as águas subterrâneas, são encontrados na literatura estudos relacionados ao mapeamento da vulnerabilidade para as águas superficiais. A seguir encontram-se alguns dos trabalhos relacionados com essa temática.

Pires (1995), em uma das etapas do seu trabalho se propôs a analisar o risco de deterioração da qualidade da água no município de Luiz Antônio (SP). Para tanto foram cruzadas informações do mapeamento hidrológico e do uso do solo da área utilizando o SIG-IDRISI. Esse autor considerou como de risco à qualidade da água as áreas suscetíveis a erosão, áreas agrícolas, áreas industriais, áreas de tratamento de resíduos sólidos e líquidos e estradas utilizadas para transporte de produtos tóxicos.

Campos et al. (1997) visando subsidiar a política de gerenciamento das águas no Ceará, avaliaram os pontos vulneráveis das estruturas hídricas nesse Estado. Assim, esses autores adotaram oito indicadores de vulnerabilidade: (i) insuficiência na capacidade de armazenamento; (ii) crescimento na demanda por água; (iii) sobre-exploração de águas subterrâneas; (iv) variabilidade interanual dos deflúvios anuais; atendimento às demandas no (v) ano normal, e no (vi) ano seco; (vii) suscetibilidade do atendimento às secas, e, finalmente, (viii) insuficiente duração do ciclo contínuo de umidade. Para sintetizar esses oito índices e hierarquizar a vulnerabilidade por unidade de planejamento, Campos et al. (1997) fizeram uso de um índice de vulnerabilidade global que foi calculado dividindo o número de indicadores críticos de cada bacia pelo número total de indicadores (8). Quanto mais próximo de 1,00, mais vulnerável a unidade de planejamento. O trabalho desses autores mostrou que, no geral as bacias do Estado do Ceará apresentam-se críticas com respeito ao atendimento das demandas.

Já Afonso (2004), avaliou o potencial de risco de contaminação das águas superficiais por agrotóxicos de uma sub-bacia do Ribeirão João Leite, a do córrego Macaquinhos (GO). Para isso, foram levantadas as culturas e os princípios ativos dos agrotóxicos aplicados nas lavouras dessa sub-bacia durante o ano de 2003 e classificados de acordo com o potencial de migração desses produtos em alto, médio e baixo risco. Tendo como base as características dos pesticidas utilizados, as características do solo e a topografia da área, foi elaborada uma carta de risco de contaminação dos mananciais da microbacia.

O trabalho de Couto (2005) teve como objetivo avaliar os riscos potenciais à qualidade das águas superficiais da bacia do arroio Sapucaia (RS). Para atingi-lo, foram empregadas técnicas integradas de SIG e sensoriamento remoto. Por tratar-se de uma pequena bacia hidrográfica (131 km²) situada em uma área urbanizada, a metodologia de Couto contemplou:

- A utilização de dados censitários para calcular os indicadores de risco sócio-ambientais adotados (índice de desenvolvimento humano e o índice de saneamento ambiental);
- A adoção de um índice de rugosidade relacionado com o uso do solo como indicador de potencial erosivo;
- A análise da ocupação urbana em função da declividade.

O resultado final da integração desses dados foi apresentado na forma de um mapa que mostra as áreas de risco potencial à qualidade da água superficial dessa bacia segundo os critérios adotados.

Diamantino et al. (2005) utilizaram o WRASTIC para avaliar a suscetibilidade à contaminação das águas superficiais da bacia do Rio Zhangji (China). Segundo esses autores, este modelo foi desenvolvido pela American Water Works Association (AWWA) em 1991 e modificado em 2000 pelo New Mexico Environment Department/Drinking Water Bureau (NMED / DWB). WRASTIC é um acrônimo para os seguintes parâmetros: descargas de águas residuárias (W); impactos do uso recreativo da terra (R); impactos do uso agrícola da terra (A); tamanho da microbacia (S); malha viária (T); impactos do uso industrial da terra (I), e quantidade de cobertura vegetal (C). Para cada parâmetro é atribuída uma classificação de 1 a 5, exceto o parâmetro I, quando a classificação varia entre 1 e 8 (Quadro 2.6). Estes parâmetros são ponderados e combinados para indicar a vulnerabilidade global da bacia à contaminação. Quanto maior o índice, maior o risco de contaminação que por sua vez é classificado em três categorias: alta (WRASTIC > 50), média ($26 \leq \text{WRASTIC} \leq 50$) e baixa vulnerabilidade (WRASTIC < 26). O Rio Zhangji foi classificado como vulnerável à contaminação, pois o WRASTIC encontrado por Diamantino et al. (2005) foi de 58.

Feature	Range (NMED/DWB, 2000)	Rating	Assigned ratings to Zhangji case-study area	Weights
Wastewater Presence (W)	Public WWTP effluent introduced into watershed area and private septic systems present	5	5	3
	Public WWTP effluent introduced into watershed area	4		
	> 50 Private Septic systems present	3		
	< 50 Private Septic systems present	2		
	No Wastewater discharges present	1		
Recreational Activity (R)	Motorized activity allowed on water	5	3	2
	Non-motorized activity allowed on water	4		
	Vehicle Access	3		
	No Vehicle Access	2		
	No Recreational Access	1		
Agricultural Impact (*) (A)	5 or more activities present	5	5	2
	4 activities present	4		
	3 activities present	3		
	2 activities present	2		
	1 activity present	1		
Size of Watershed (S)	> 1942.35 km ²	5	3	1
	388.47 - 1942.35 km ²	4		
	155.39 - 388.47 km ²	3		
	38.85 - 155.39 km ²	2		
	< 38.85 km ²	1		
Transportation Avenues (T)	Railway or Interstate avenue through watershed area	5	3	1
	Highway avenues through watershed area	4		
	State highway or other paved avenues through watershed area	3		
	Unimproved avenues (dirt roads) through watershed area	2		
	No transportation avenues through watershed area	1		
Industrial Impact (I)	Industry has a very large discharge or very heavy impact on surroundings	8	4	4
	Industry has a large discharge or heavy impact on surroundings	6		
	Industry has a moderate discharge or moderate impact on surroundings	4		
	Industry has minimal discharge and minimal impact on surroundings	2		
	No Industry in watershed	1		
Vegetative Cover (C)	0 - 5 % Ground Cover	5	5	1
	6 - 19 % Ground Cover	4		
	20 - 34 % Ground Cover	3		
	35 - 50 % Ground Cover	2		
	> 50 % Ground Cover	1		

WRASTIC index for Zhangji case-study area

58

*) Pesticide Application; Presence of Feedlots / Bamyards / Cattle lots; Presence of Heavy Grazing Activities; Presence of Minimal Grazing Activities; Presence of Farming; Presence of Wildlife

Quadro 2.6 – Classificação e peso dos parâmetros do modelo WRASTIC.

Fonte: Diamantino et al. (2005).

De Vito (2007) avaliou o risco de contaminação da Barragem do Descoberto (DF) empregando dados de características físicas da área (pedologia, geomorfologia, geologia, drenagem e precipitação), censitários e também dados oriundos de sensoriamento remoto. Adotando uma análise multicritério, estes dados foram integrados em um SIG e resultaram em um plano de informação que indica o nível do risco de contaminação oriunda de poluição difusa, o que possibilitou a identificação das áreas críticas de maior potencial poluidor.

O trabalho de Figueirêdo et al. (2007) apresenta uma ferramenta de análise da vulnerabilidade de reservatórios à eutrofização. Para isso, foram adotadas como estudo de caso três sub-bacias de açudes – Araras, Edson Queiroz e Jaibaras, da bacia do Acaraú (CE). Esses autores utilizaram uma análise multiatributo para definir os indicadores ambientais de

vulnerabilidade desses açudes à eutrofização e hierarquizar os fatores que acarretam o transporte de sedimentos e nutrientes para os reservatórios. Foi utilizado um SIG como ferramenta para manipular dados de uso e ocupação do solo, declividade do terreno e erodibilidade do solo.

Yarrow et al. (2008), visando subsidiar o desenvolvimento de uma regulamentação da qualidade da água específica para a Patagônia Chilena, determinaram a vulnerabilidade da bacia do rio Aysén considerando suas características físicas, ecológicas e sociais.

O próximo capítulo traz uma breve caracterização da área de estudo do presente trabalho com o objetivo de apresentar suas principais características e de contextualizar melhor os resultados a serem apresentados.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo apresentam-se as características gerais da área de estudos da presente pesquisa, a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Assim, nele se encontram tópicos a respeito de sua localização, características morfométricas, físicas e sócio-econômicas.

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área objeto deste estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (GO), cujo curso principal e seus afluentes percorrem os municípios de Ouro Verde, Campo Limpo, Anápolis, Goianápolis, Terezópolis de Goiás, Nerópolis e Goiânia (Figura 3.1). O Ribeirão João Leite é um importante afluente do Rio Meia Ponte e este, por sua vez, pertence à bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

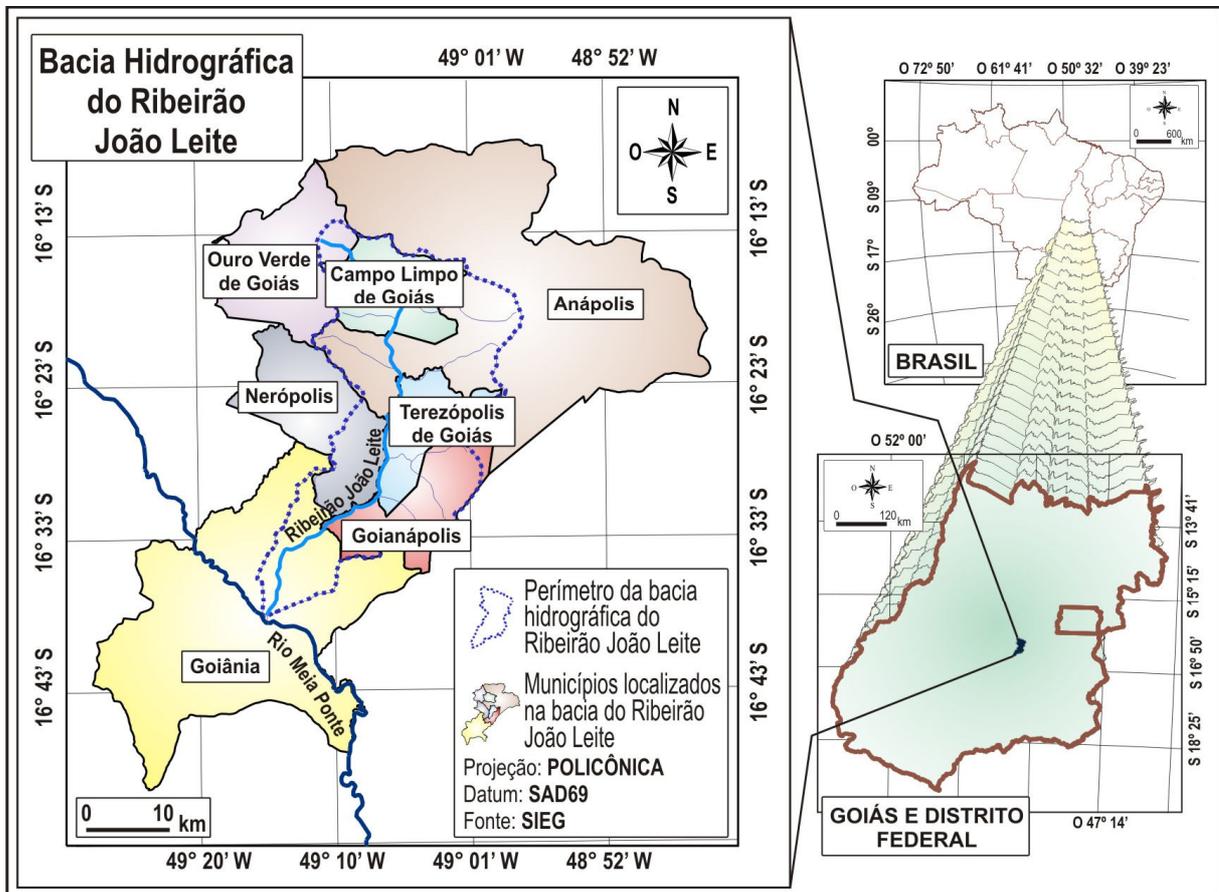


Figura 3.1 – Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Conforme mencionado por Rabelo et al. (2009), trata-se de uma bacia amplamente antropizada, mas ainda assim, destinada a abastecimento público. Visando manter a qualidade de suas águas foi criada para esta bacia a Área de Proteção Ambiental (APA) João Leite através do Decreto nº 5.704, de 27 de dezembro de 2002, abrangendo toda a sua extensão, com os seguintes objetivos:

- “I - proteger os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite;
- II - assegurar condições para o uso do solo compatíveis com a preservação dos recursos hídricos;
- III - conciliar as atividades econômicas e a preservação ambiental;
- IV - proteger os remanescentes do bioma cerrado;
- V - melhorar a qualidade de vida da população local por meio de orientação e do disciplinamento das atividades econômicas;
- VI - disciplinar o turismo ecológico e fomentar a educação ambiental.”

Segundo Papaleo e Martins Júnior (2008), o Plano de Manejo da APA João Leite, encomendado pelo governo do Estado de Goiás e elaborado pelo Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste (ITCO) está tramitando no poder público estadual, junto ao órgão gestor desta unidade de conservação, a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH).

3.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Tendo como referência a base cartográfica deste trabalho, a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, na escala 1:50.000, possui as seguintes características morfométricas (Quadro 3.1):

Área (km ²)	764
Comprimento do Ribeirão João Leite (km)	86
Perímetro da bacia (km)	157
Comprimento total dos cursos d'água (km)	699
Hierarquia (metodologia de Strahler ⁷)	5 ^a

Quadro 3.1 – Características morfométricas da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

A Figura 3.2 mostra a distribuição hierárquica das drenagens que compõem essa bacia e a localização de alguns de seus principais corpos d'água.

⁷ Villela e Mattos (1975) explicam que a hierarquização do sistema de drenagem é um indicador da velocidade com que a água escoar em uma bacia hidrográfica. Segundo esses autores, os critérios da hierarquização do método de Strahler (1957) são: os canais sem tributários são classificados como de primeira ordem, os canais de segunda ordem são formados a partir da união de dois canais de primeira ordem e, assim por diante. Observação: a junção de um rio de dada ordem a um rio de ordem superior não modifica a ordem do rio hierarquicamente superior.

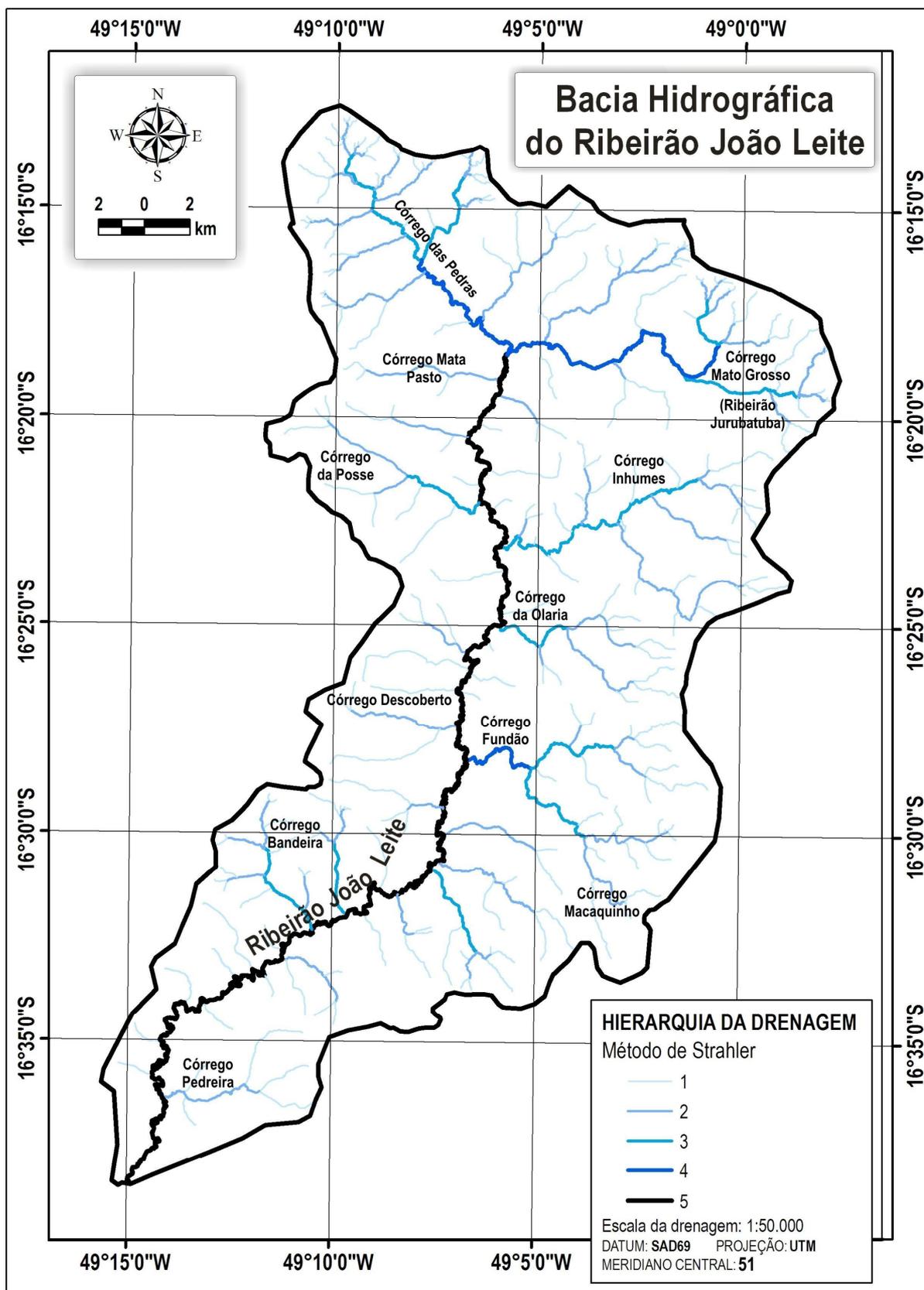


Figura 3.2 – Hierarquia da drenagem na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite segundo o método de Strahler e localização de alguns de seus principais corpos d'água.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

Tendo como referência a classificação da Embrapa modificada por Fushita (2006) para as classes de declividade, suas características e aptidão para a agricultura, cerca de 60% da área da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite é composta por relevo suavemente ondulado (entre 1,7 e 4,6° de inclinação). Apenas aproximadamente 10% da área têm relevo ondulado a fortemente ondulado. Assim, a maior parte da área é considerada apta para agricultura (Figura 3.3).

Com menção aos solos (Figura 3.4), a bacia do Ribeirão João Leite é composta em sua maioria por latossolos (quase 60% da área), seguida pela associação de argissolos/nitossolos (31%). Os latossolos geralmente ocorrem em áreas de relevo adequado ao uso de maquinários; já a associação argissolos/nitossolos, embora normalmente presente em áreas de relevo mais acidentado, é dotada de maior fertilidade natural e boa capacidade de retenção de água, o que, de acordo com Sano et al. (2008), os torna indicados para pequenos agricultores e pecuaristas.

De acordo com os dados disponibilizados no *site* do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG), a área ocupada pela bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite é constituída por uma formação geológica predominante, o Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu que compreende rochas de litologia variada como granada gnaisses, anfibólitos, quartzitos, granulitos, etc (Figura 3.5).

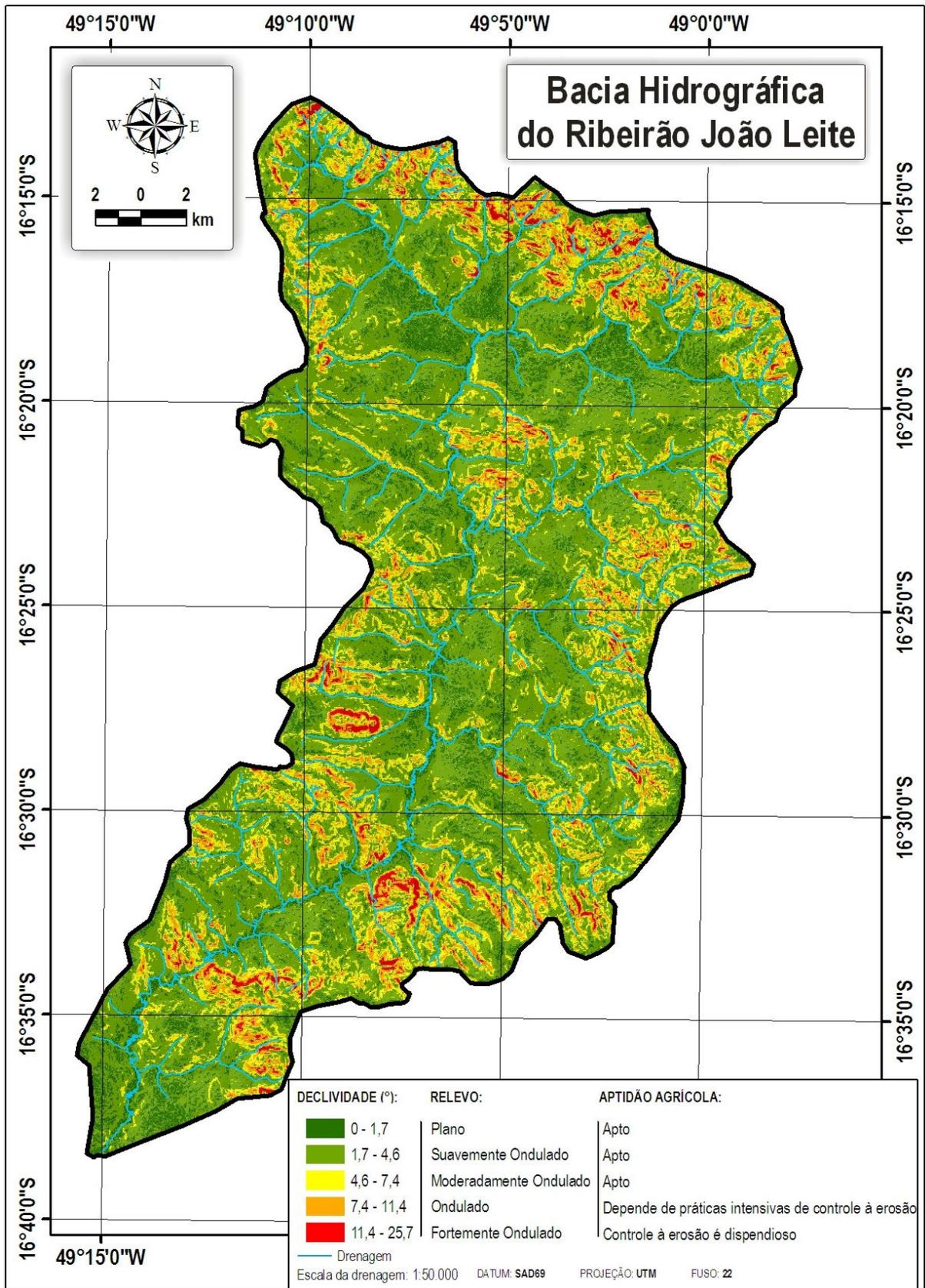


Figura 3.3 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

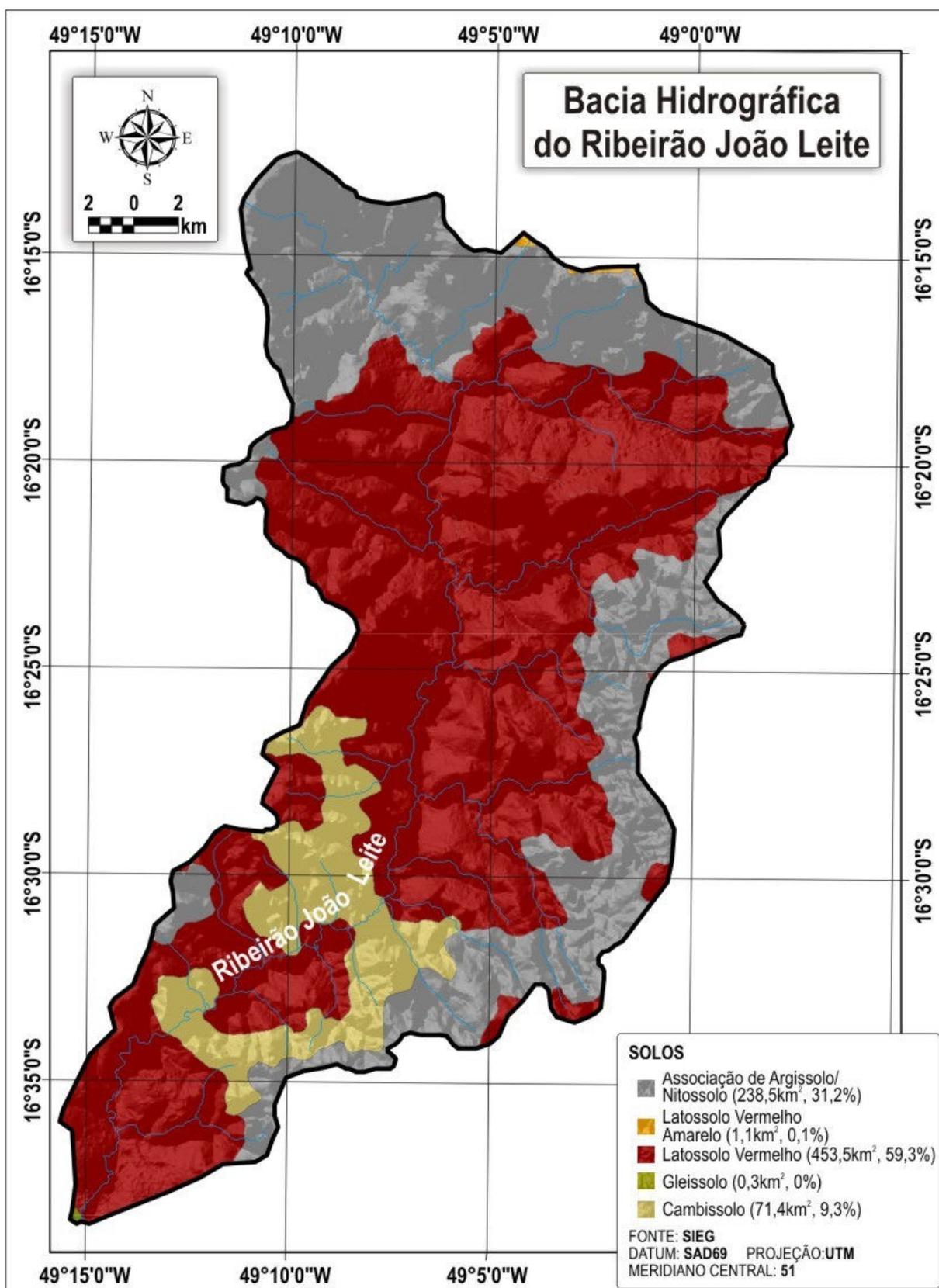


Figura 3.4 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

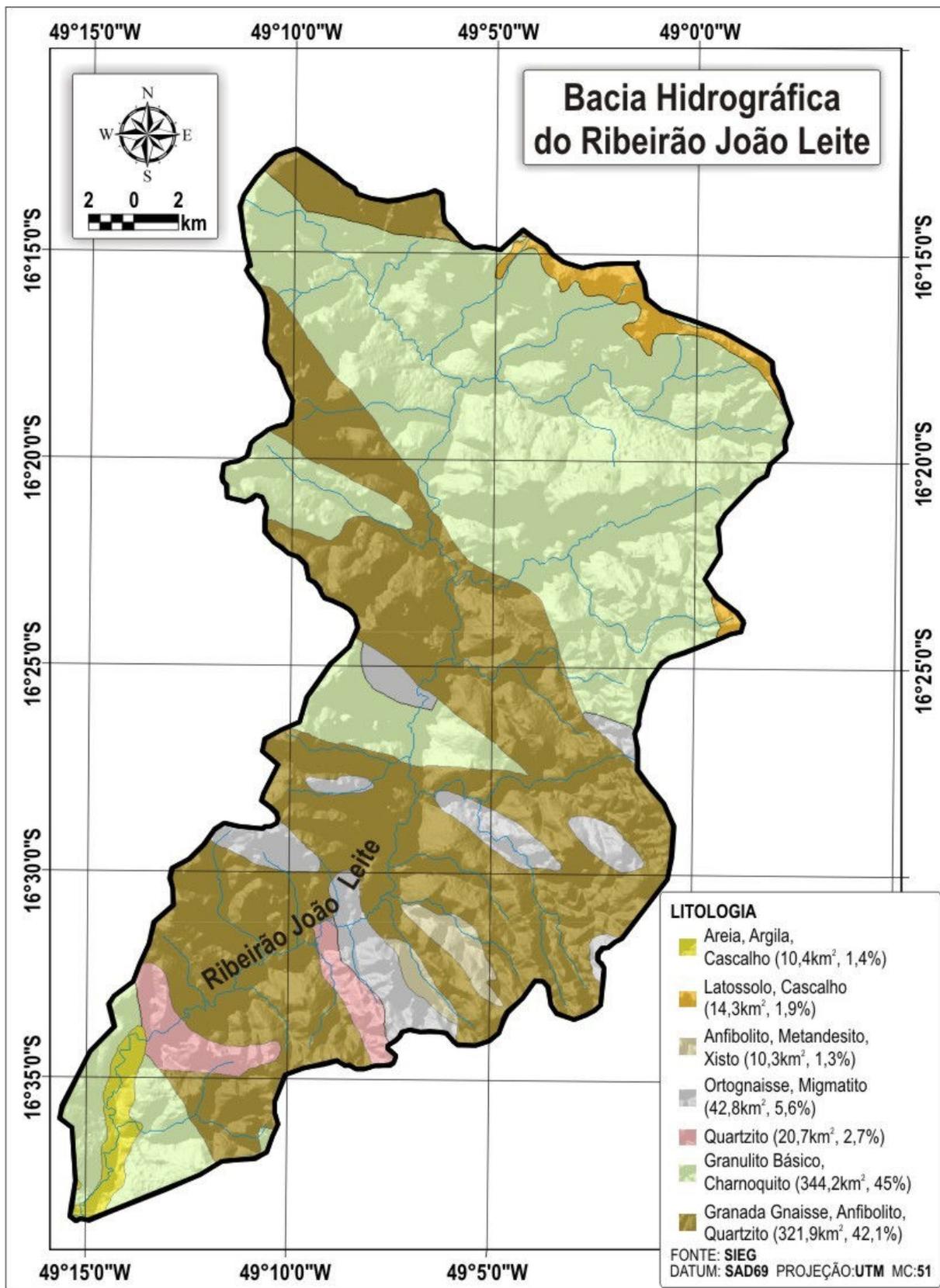


Figura 3.5 – Mapa geológico da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

O clima regional da área da bacia é do tipo AW, segundo a classificação de Köppen. Trata-se, então, de um clima tropical com uma estação seca e outra chuvosa, em que todos os meses do ano têm temperatura média do ar superior a 18 °C e pelo menos um dos meses do ano tem precipitação média total inferior a 60 mm (AYOADE, 2003). De acordo com Afonso (2004) a precipitação pluvial na região chega a 1.600 mm anuais. Na Figura 3.6 é mostrado o comportamento da precipitação pluvial durante todo ano na bacia.

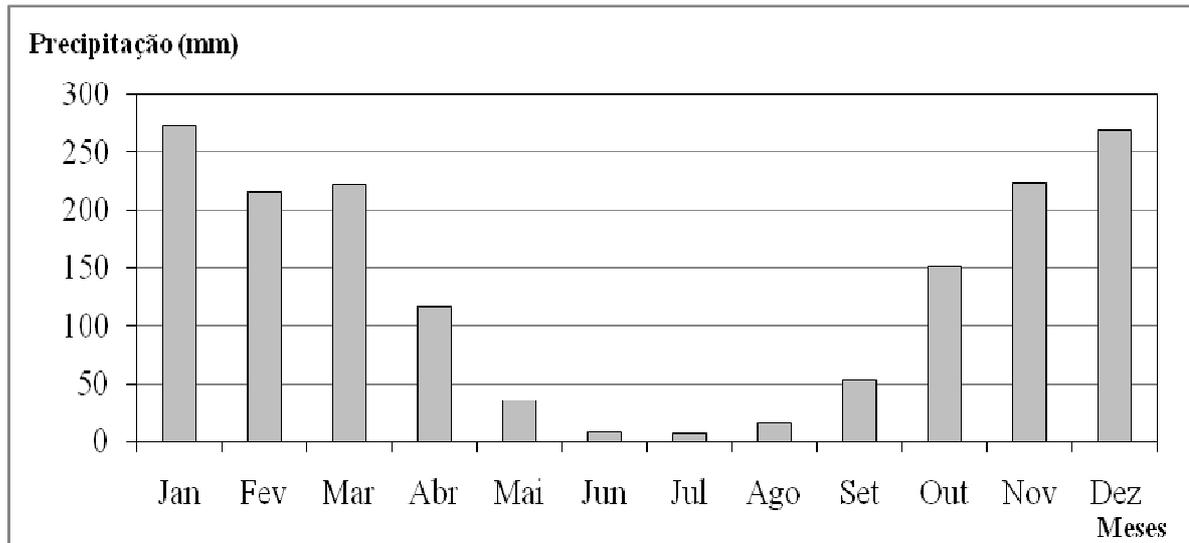


Figura 3.6 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal (1973/2006) na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Fonte: série histórica dos postos pluviométricos Jaraguá, Fazenda Boa Vista, Ouro Verde de Goiás, Goianópolis, Ponte Anápolis/Brasília (HIDROWEB, 2009), CCTA/Secretaria da Agricultura, Goiânia/Agronomia e Embrapa Arroz e Feijão (ASSAD, 2005).

A bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite está inserida no bioma Cerrado. Portanto, sua vegetação original é composta das diversas formações fitofisionômicas que o compõem (Figura 3.7). Segundo Ribeiro; Walter (2009) são descritos onze tipos principais de vegetação para o bioma Cerrado enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). Ainda segundo esses autores, considerando-se também os subtipos neste sistema, são reconhecidas 25 tipos de vegetação.



Figura 3.7 – Tipos vegetação do bioma Cerrado.
Fonte: Ribeiro; Walter (2009).

De acordo com Nascimento (1998) na bacia do Ribeirão João Leite estão presentes as seguintes formações vegetais: floresta estacional, cerradão, floresta aluvial e campos de várzea. Ainda de acordo com esse autor, as principais características dessas formações são:

- Floresta estacional - formação vegetal densa, cuja copa das árvores se tocam. Subdivide-se em três camadas. A primeira é composta por árvores de porte entre 25 e 30 metros, de troncos retos e cascas finas. Na segunda camada a altura das árvores varia entre 10 e 15 metros e as folhas são perenes. A última camada é composta por arbustos.
- Cerradão – formado por árvores de 15 a 30 metros de altura, densamente distribuídas, mas sem o contato entre as copas. No cerradão, há a presença de um substrato rasteiro composto por gramíneas. Os troncos dessas árvores são levemente retorcidos, as cascas são grossas e as folhas perenes.
- Floresta aluvial – formação vegetal tipicamente ribeirinha com estrutura semelhante à floresta ciliar. As árvores são de grande porte, com troncos retos, cascas finas e folhas perenes.
- Campos de várzea – também é uma formação que ocorre nas proximidades das margens dos cursos d'água. Sua principal característica é estar situada em áreas sujeitas a inundações periódicas. Em alguns casos ocorrem a formação de murundus, que segundo Resende et al. (2004) é um tipo de microrrelevo em forma de pequena elevação, geralmente arredondado, muitas vezes apresentando solo e vegetação diferentes da área circundante

Segundo o mapeamento de uso do solo elaborado pela Agência Ambiental de Goiás na escala de 1:250.000, 63,6% da área da bacia do Ribeirão João Leite é utilizada para

agricultura e 20,6% para pecuária. Somente cerca de 10% da área é composta por remanescentes da vegetação original (Figura 3.8). Observa-se nessa bacia que as áreas destinadas às culturas anuais coincidem com a ocorrência de latossolos, enquanto que as áreas de pastagem relacionam-se fortemente com a presença da associação nitossolos/argissolos.

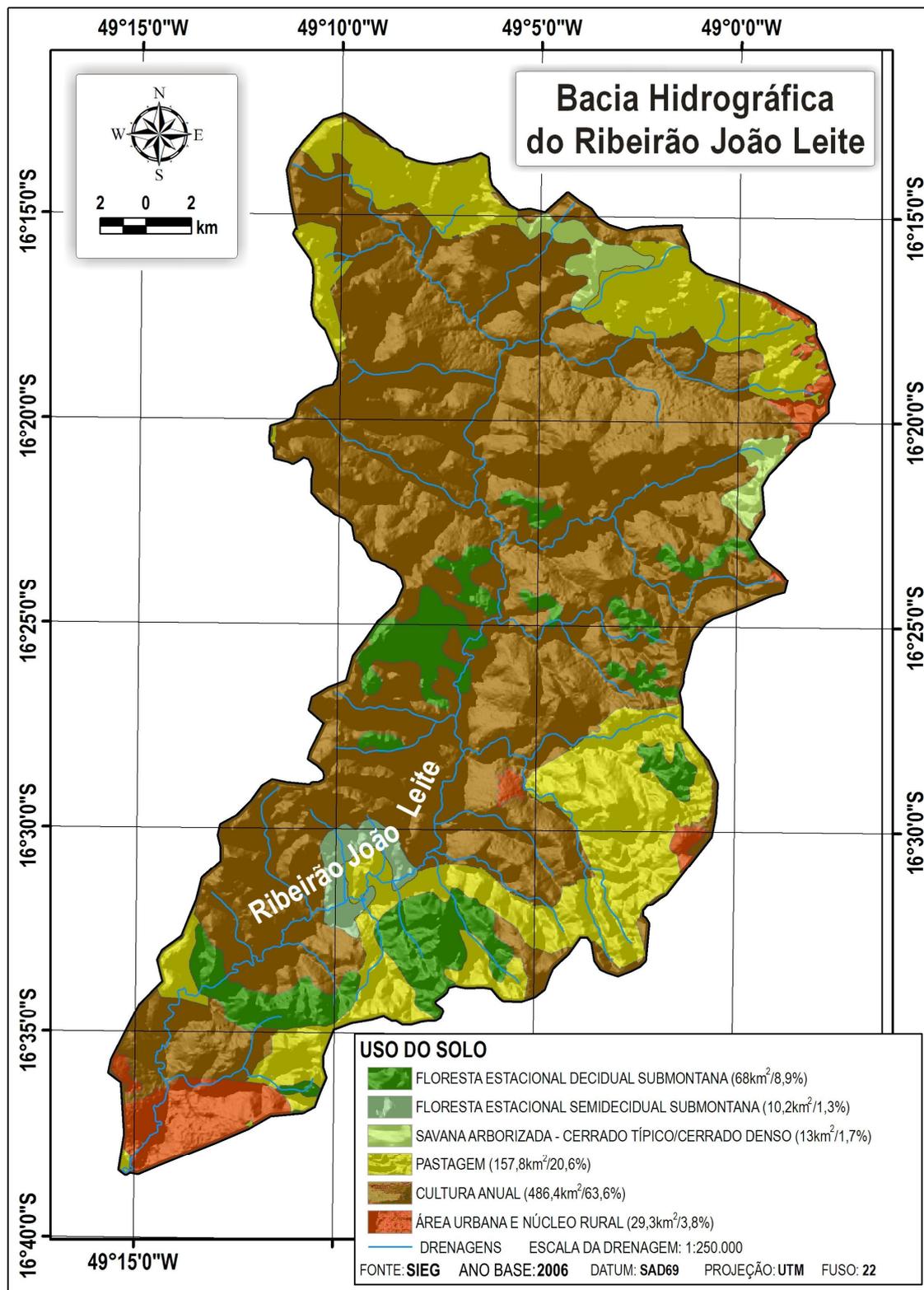


Figura 3.8 – Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

3.4 CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICA

Da área total da bacia do Ribeirão João Leite, a maior porcentagem é composta pelo município de Anápolis (24,4%). Entretanto, Campo Limpo de Goiás e Terezópolis de Goiás têm praticamente toda sua área localizada dentro dessa bacia (Quadro 3.2).

Município	Área total do município (km ²)	Área do município dentro da bacia (%)	Área do município na bacia (km ²)	Distribuição da área dos municípios na bacia (%)
Goiânia	739,5	13,3	98,4	12,9
Goianápolis	162,4	73,7	119,8	15,7
Terezópolis de Goiás	107,0	98,4	105,3	13,8
Nerópolis	204,2	38,8	79,3	10,4
Campo Limpo de Goiás	156,2	98,3	153,6	20,1
Ouro Verde de Goiás	209,7	10,4	21,8	2,9
Anápolis	918,7	20,3	186,2	24,4

Quadro 3.2 – Distribuição da área dos municípios na bacia do Ribeirão João Leite.

Os municípios que compõem a bacia do Ribeirão João Leite têm aproximadamente 1.600.000 habitantes, basicamente concentrados em dois municípios: Goiânia (com 77%) e Anápolis (com 20%), conforme observado na Figura 3.9.

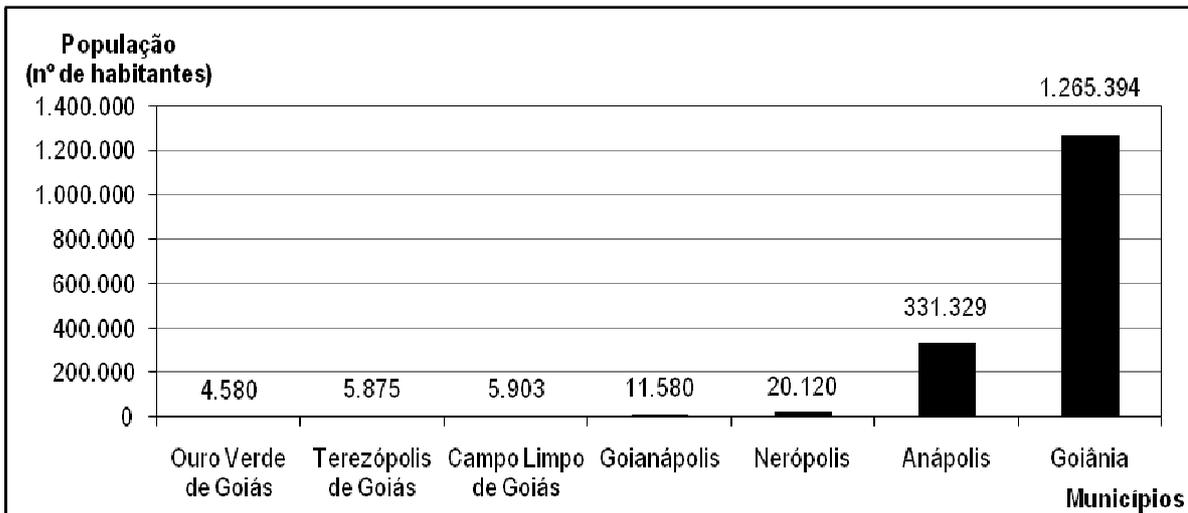


Figura 3.9 – População dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Fonte: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerência de Estatística Socioeconômica (estimativa 2008 - IBGE).

Segundo Papaleo e Martins Júnior (2008), apenas quatro bairros de Goiânia (Jardim Guanabara I, II, III e IV) somam mais de 27 mil habitantes, o que é uma população

maior que a de cinco dos municípios situados dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

O valor médio do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios localizados na bacia do Ribeirão João Leite é de 0,75, variando entre 0,61 e 0,93 (Figura 3.10). Goiânia tem o IDH-Municipal, o IDH-Renda e o IDH-Educação mais elevados, enquanto Goianápolis apresenta o menor IDH Municipal do grupo e Nerópolis o maior IDH longevidade. O IDH varia de 0 a 1, sendo que de 0 a 0,49 ele é classificado como baixo, de 0,5 a 0,79 é médio e acima 0,8 é elevado.

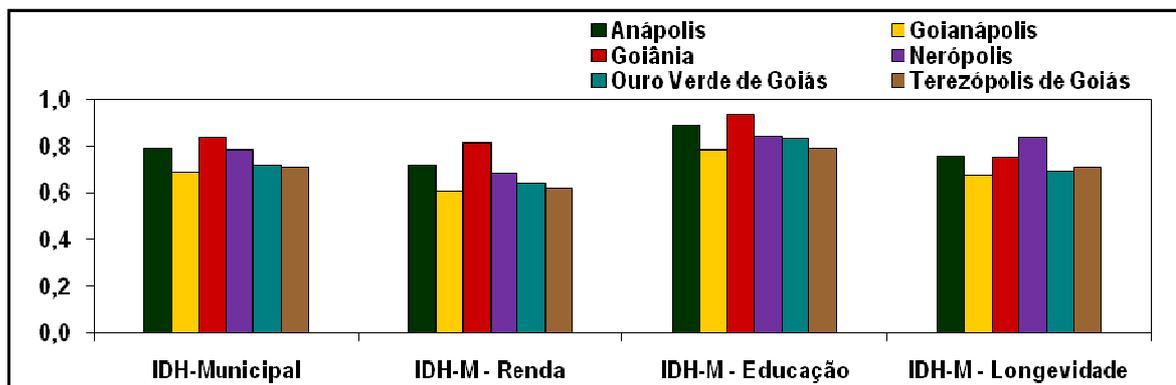


Figura 3.10 – IDH-Municipal, Renda, Educação e Longevidade dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Observação: O município de Campo Limpo não consta nesta figura por ter sido emancipado em 2001.

Fonte: Censo 2000, IBGE. Organização: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerência de Estatística Socioeconômica.

Com relação aos aspectos econômicos, a concentração de atividades comerciais e industriais também se dá nos municípios de Goiânia e Anápolis. Esses dois municípios concentram 97% do total dos estabelecimentos existentes na bacia (Figura 3.11).

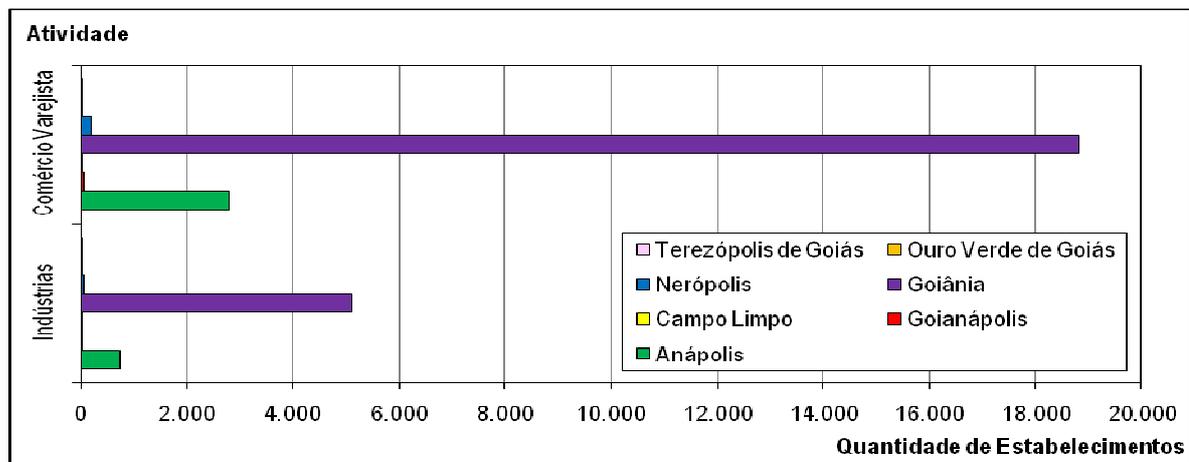


Figura 3.11 – Atividades econômicas (2006) dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Fonte: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerência de Estatística Socioeconômica.

Dos quase 945.000 animais criados nos municípios localizados na bacia do Ribeirão João Leite, 73% são aves, 24% são bovinos e 3% são suínos (Figura 3.12). A produção de aves encontra-se concentrada em Goiânia (30%), Nerópolis (28%) e Anápolis (21%). O rebanho suíno também se distribui com mais intensidade nesses três municípios, mas na seguinte ordem: Anápolis (28%), Goiânia (25%) e Nerópolis (14%). Anápolis é o maior produtor de bovinos do grupo, com 33% desse rebanho.

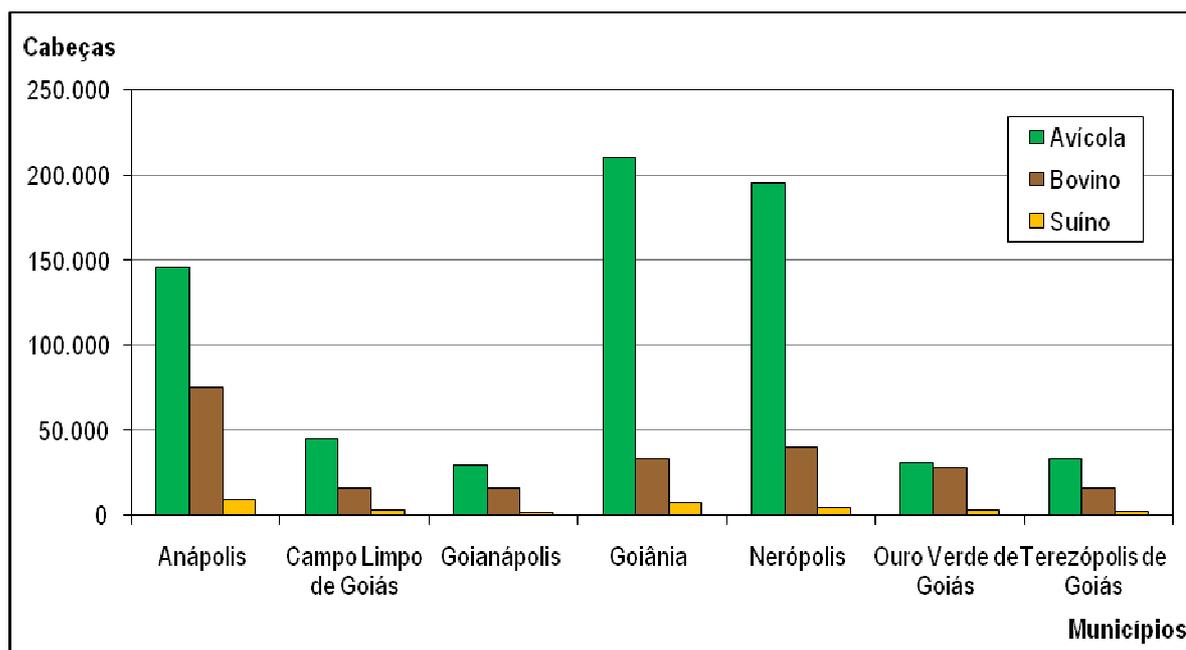


Figura 3.12 – Efetivo de aves, bovinos e suínos nos municípios localizados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (2004).

Fonte: IBGE. Organização: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerência de Estatística Socioeconômica.

Na bacia do Ribeirão João Leite produz-se grãos, cereais e frutíferas. Na Figura 3.13 encontram-se distribuídas as áreas destinadas à produção agrícola em 2007 por tipo de produto nos municípios localizados nessa bacia. Embora esteja registrado que esses municípios produzem até doze produtos, milho, soja e banana ocupam praticamente 80% das áreas utilizadas para agricultura. Dos aproximadamente 10.200 hectares destinados à produção agrícola, 47,3% encontra-se em Anápolis. Já Nerópolis é o município da bacia que menos tem área utilizada para produção agrícola: 5,3 %.

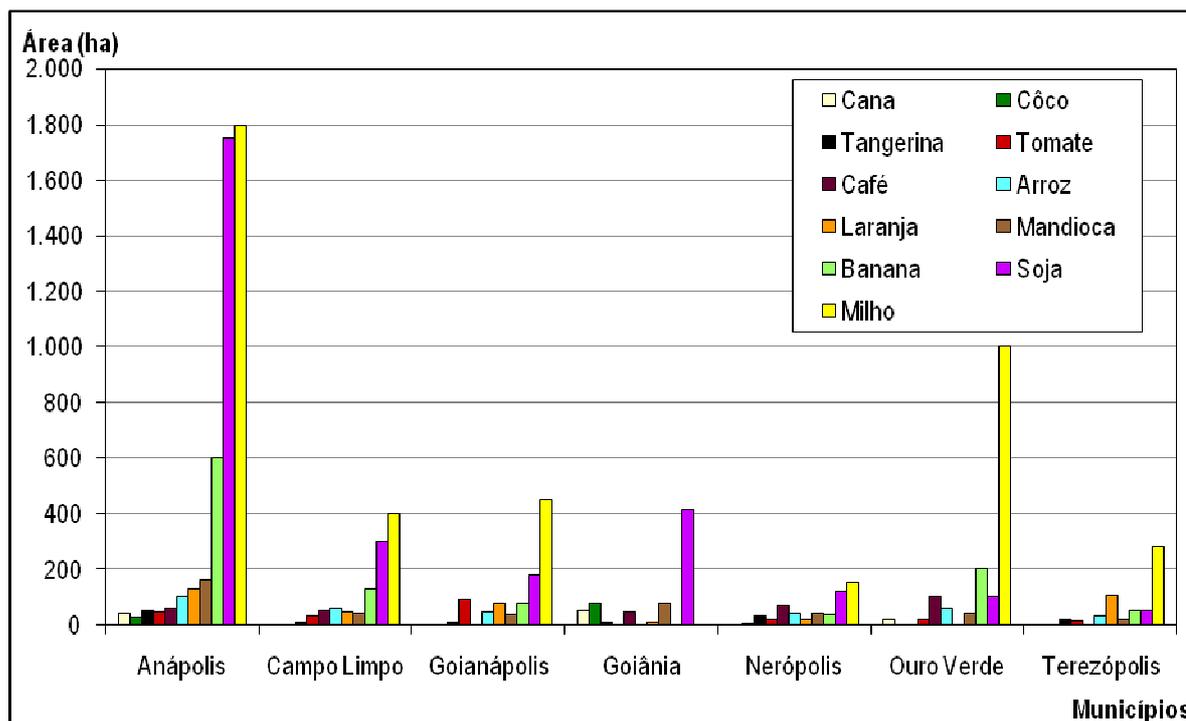


Figura 3.13 – Área (ha) destinada a produção agrícola (2007) dos municípios situados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Fonte: SEPLAN-GO / SEPIN / Gerência de Estatística Socioeconômica.

Com relação à infra-estrutura para escoamento de produção, segundo dados do SIEG, a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite é cortada por rodovias de jurisdição federal (BR – 060/153), estadual (GO – 080, GO – 222, GO – 330, GO – 415, GO – 451, GO – 466 e Anel Viário) e municipal (Avenida São Francisco). Também se localiza nessa bacia parte da ferrovia Norte-Sul (ainda em construção). Juntas, elas totalizam aproximadamente 174 quilômetros de extensão e interceptam o Ribeirão João Leite em 6 pontos. O mapa da malha viária da bacia encontra-se na Figura 3.14.

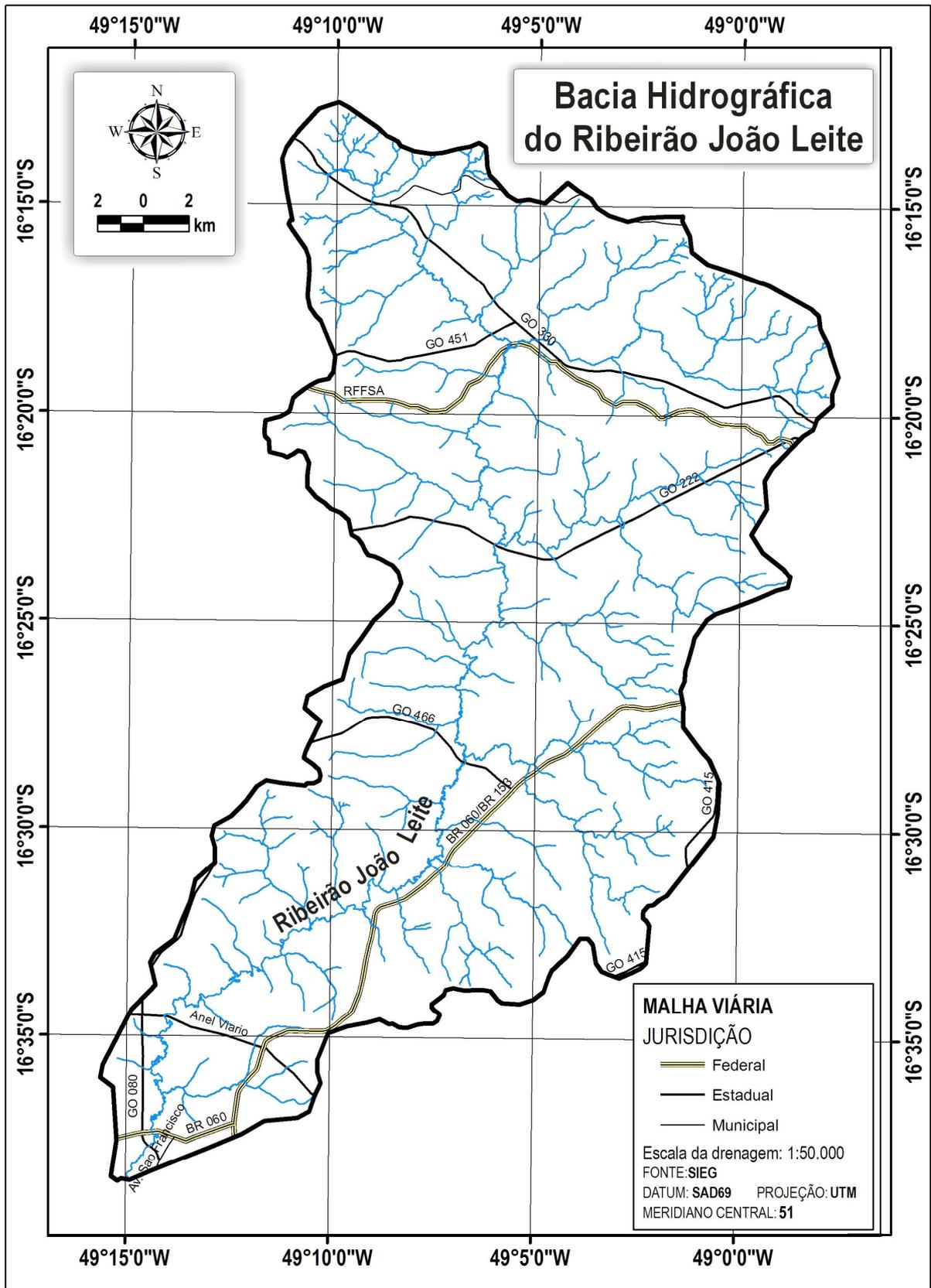


Figura 3.14 – Malha viária na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para obter o mapeamento de áreas vulneráveis à deterioração da qualidade das águas superficiais de uma bacia hidrográfica – neste caso a do Ribeirão João Leite - envolveu o uso de materiais oriundos de fontes diversas e uma série de etapas e procedimentos metodológicos. Aqueles que foram utilizados neste trabalho estão descritos a seguir.

4.1 MATERIAIS

O conteúdo inicial do banco de dados utilizado nesta pesquisa foi composto por:

- Dados digitais de hidrografia e uso do solo; tais dados foram digitalizados no software *Google Earth* entre 31 de março e 10 de maio de 2009 tendo como referência imagens *Quickbird* de 2004, 2005 e 2008.
- Modelo digital de elevação (MDE) originário da missão de mapeamento do relevo terrestre *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) dos Estados Unidos no ano 2000. O MDE foi baixado do *site* do projeto *Consortium for Spatial Information* (CSI) do *Consultative Group on International Agricultural Research* (CGIAR), no formato GEOTIFF (16 bits), versão 4, ponto central em 17,5 S e 47,5 W, resolução espacial de 90 metros, sistema de coordenadas geográficas e *datum* WGS-84;
- Dados digitais (formato *shapefile*) do *site* do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG):
 - Solos – escala 1:100.000, base de dados: Determinação de áreas prioritárias para unidades de preservação - Imagem/WWF – RADAMBRASIL;
 - Geologia – escala 1:500.000, base de dados: Lacerda Filho, J.V.; Rezende, A.; Silva, A da. Mapa Geológico e de Recursos Minerais 1:500.000 da CPRM/METAGO/UnB/SMET - 1999 - SIG-Goiás-Geologia - SGM/SIC 2002;

- Bacias hidrográficas – escala 1:250.000, sistema de coordenadas geográficas, datum SAD69, base de dados: Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás – Superintendência de Geologia e Mineração – SIC.
- Uso do solo – escala 1:250.000, base de dados: Agência Ambiental de Goiás.
- Dados digitais (formato texto) do *site* do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA) e do trabalho de Assad (2005):
 - Série histórica das estações pluviométricas localizadas ou próximas a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.
- Dados digitais (formato *dwg*) proveniente da empresa Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO):
 - Planta do futuro reservatório da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

4.2 MÉTODOS

Inicialmente, os dados apresentados no item anterior foram organizados em um banco de dados georreferenciado no ArcGIS 9.2 e unificados no sistema de projeção cartográfica UTM, *datum* SAD69 e fuso 22.

Em seguida, o trabalho desenvolveu-se com intuito de gerar o mapa de síntese de vulnerabilidade para a qualidade da água superficial. Esse mapa teve como base uma adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001) para geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solos. Assim, para elaborá-lo, foram gerados os mapas de vulnerabilidade para os seguintes temas: geomorfologia, geologia, solos, clima e vegetação/uso do solo. Além dos mapas supracitados, foram gerados mapas das áreas de risco contendo a localização e os tipos de atividades potencialmente poluidoras, uso do solo nos *buffers* ripários (100 metros) e da barragem (200 metros). Para atribuir os valores de vulnerabilidade para cada um desses mapas, foram consideradas as características constantes no Quadro 4.1. Por fim, checkou-se em campo a veracidade do mapa final. Os tópicos, a seguir, detalham essas etapas.

Fatores considerados para determinar a vulnerabilidade	Aspecto	Características
Erosão	Geomorfologia	Amplitude altimétrica
		Grau de dissecação do relevo pela drenagem(amplitude interfluvial)
		Declividade
	Geologia	História da evolução geológica
		Grau de coesão da rocha
	Pedologia	Maturidade do solo
	Clima	Intensidade pluviométrica (pluviosidade anual/duração do período chuvoso)
Vegetação/Uso da Terra	Densidade da cobertura vegetal/ Tipo de uso	
Uso do solo no entorno das drenagens, das massas d'água e do futuro reservatório	Vegetação/Uso da Terra nos <i>Buffers</i> ripários	Densidade da cobertura vegetal/ Tipo de uso nos buffers ripários
Atividades potencialmente poluidoras	Atividade	Periculosidade do possível efluente

Quadro 4.1 – Fatores considerados para determinar a vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

4.2.1 Geração do mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais

O mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais da bacia do Ribeirão João Leite foi elaborado utilizando a Equação 3, que foi adaptada da equação formulada por Crepani et al., (2001) para construção do mapa de vulnerabilidade à perda de solo, apresentada no tópico 2.1 deste trabalho.

$$VQAS = \frac{(R + G + S + C + (3Vga))}{7} \quad (3)$$

onde:

$VQAS$ = Vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia

S = Vulnerabilidade para o tema Solos

C = Vulnerabilidade para o tema Clima

Vga = Vulnerabilidade para o tema Vegetação/Uso do Solo/Áreas de Risco a Qualidade das Águas Superficiais

O peso atribuído ao tema Vegetação/Uso do solo/Áreas de risco baseou-se no trabalho de Casseti (1990). Esse autor calculou que o transporte anual de sedimentos na bacia do Ribeirão João Leite é de 40.774, 15 toneladas. Assim, dividindo esse valor pela área da bacia (764 km²) estimou-se a perda de solo em aproximadamente 53,4 toneladas/km²/ano. O autor considerou esta perda de solo elevada e atribuiu o resultado de sua estimativa ao seu uso e ocupação. Esse mesmo autor em um trabalho anterior⁸ fez um levantamento em parcelas experimentais também na bacia do João Leite e encontrou o valor de 21 toneladas/km²/ano de perda de solo quando este se encontra coberto por mata estacional decidual. A relação entre o valor da perda de solo com a bacia ocupada com o valor obtido com ela protegida por vegetação foi de 2,5. Esse valor foi então arredondado para 3 e utilizado na composição da equação proposta para o cálculo da vulnerabilidade para águas superficiais, cuja espacialização resulta no mapa que é objetivo principal deste trabalho.

Os valores de vulnerabilidade para os temas geomorfologia, geologia, solos, clima e uso do solo variaram de 1,0 a 3,0 conforme Crepani et al. (2001). Já os valores das áreas de risco a qualidade das águas (zonas ripárias entorno das drenagens e do futuro reservatório e as atividades potencialmente poluidoras) receberam uma classificação mais rigorosa para se diferenciarem do mapa de vulnerabilidade ao uso do solo quando fossem unificados. Os valores de vulnerabilidade dessas áreas variaram de 1,0 (estável) a 4,0 (altamente vulnerável).

A Figura 4.1 mostra de maneira esquemática como se deu a elaboração do mapa de vulnerabilidade para a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Os itens a seguir detalham a construção de cada um dos temas necessários para a construção do mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais.

⁸ Casseti, V. **Estudo dos efeitos morfodinâmicos pluviais no Planalto de Goiânia**. Tese de Doutorado. USP, São Paulo, 1983.

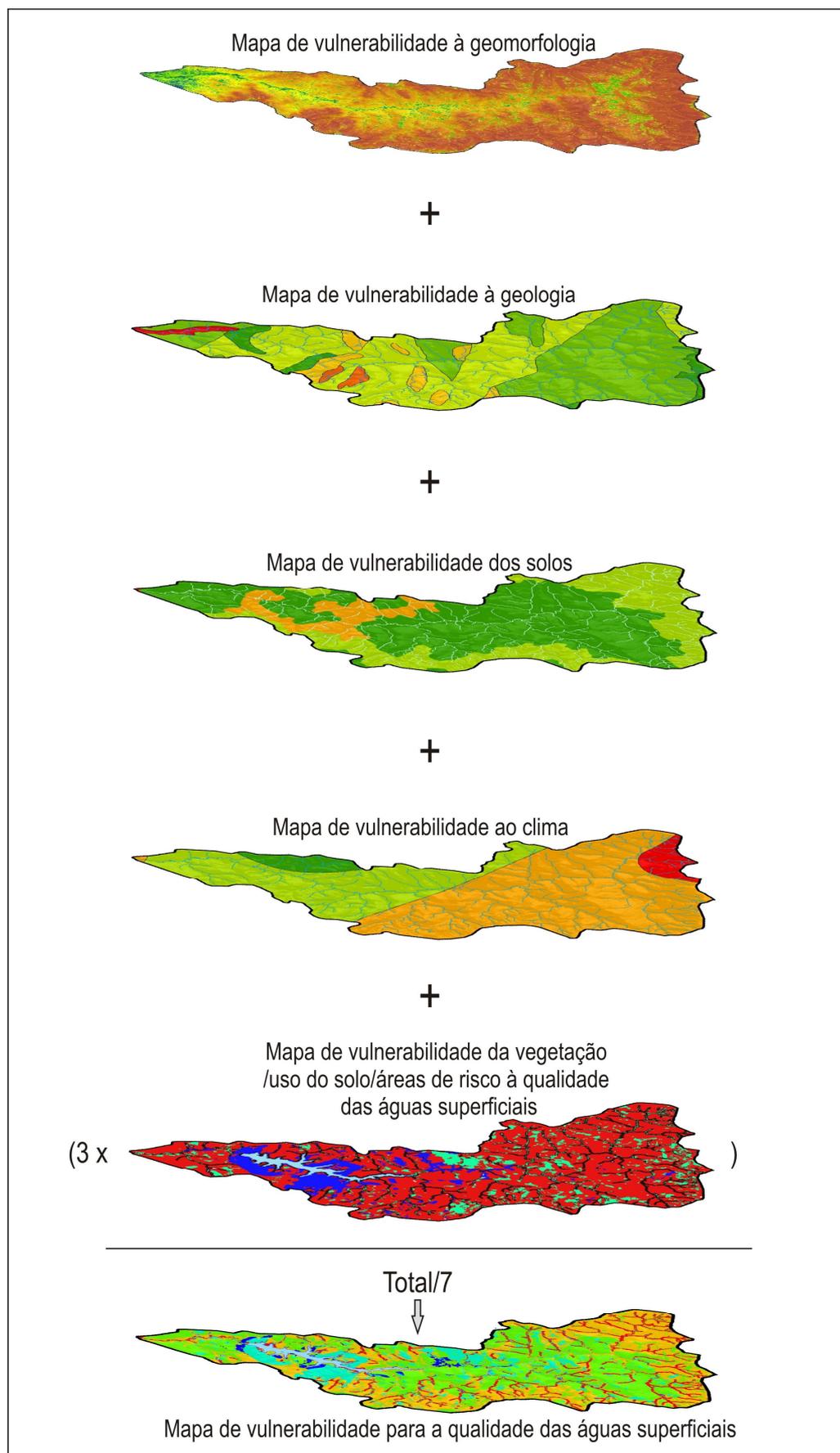


Figura 4.1 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais.

4.2.1.1 Geração do mapa de vulnerabilidade à geomorfologia

Para atribuir os valores da escala de vulnerabilidade para as unidades da paisagem em função da geomorfologia para a construção dos mapas sínteses, são utilizadas as seguintes variáveis morfométricas da área de estudo (Figura 4.2):

- Amplitude altimétrica (diferença entre a cota máxima e a mínima);
- Declividade (inclinação do relevo em relação ao plano horizontal);
- Amplitude interfluvial (distância entre dois interflúvios).

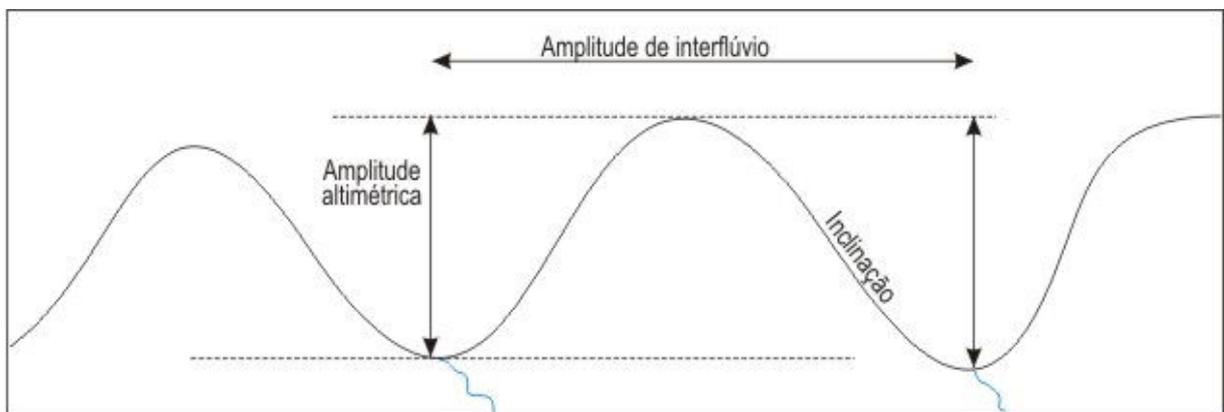


Figura 4.2 – Esquema ilustrativo das variáveis morfométricas utilizadas para gerar o mapa de vulnerabilidade geomorfológica.

Segundo Crepani et al. (2008), adotam-se essas variáveis porque:

- A amplitude interfluvial indica o grau de intensidade da dissecação do relevo pela drenagem e é fortemente relacionado com a porosidade e a permeabilidade do solo e da rocha;
- A amplitude altimétrica, que guarda uma ligação direta com o aprofundamento da dissecação, é um indicador da energia potencial disponível para o *runoff*;
- A declividade indica a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, por conseguinte, a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo *runoff*.

Assim, o mapa de vulnerabilidade à geomorfologia é resultante da determinação dos valores de vulnerabilidade dessas três variáveis morfométricas conforme apresentado na Equação 4 e esquematizado na Figura 4.3:

$$R = \frac{A + G + D}{3} \quad (4)$$

onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica;

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação;

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

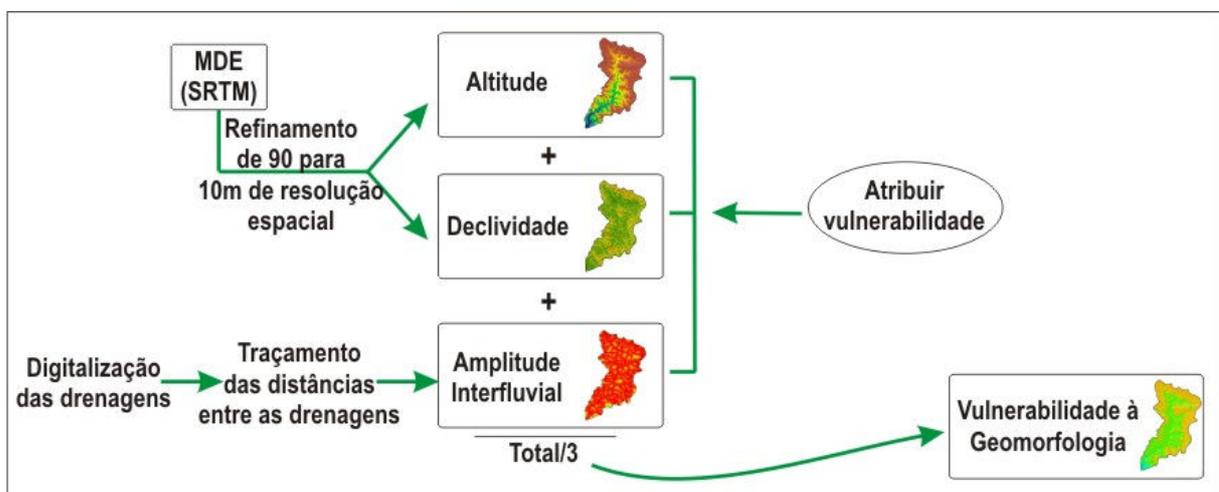


Figura 4.3 - Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à geomorfologia.

Neste trabalho foram utilizados MDEs derivados de dados SRTM para geração do mapa de vulnerabilidade da geomorfologia e as etapas para a sua elaboração encontram-se descritas a seguir.

4.2.1.1.1 Refinamento do MDE de 90 para 10 metros de resolução espacial

Um MDE é basicamente um arquivo digital que contém valores de cotas altimétricas estruturado em linhas e colunas. A partir desses valores, é possível inserir a topografia em um SIG por meio da interpolação deles para formação de um plano de informação estruturado em uma grade regular (VALERIANO, 2008).

Os dados da SRTM encontram-se disponibilizados gratuitamente com resolução espacial de 90 metros para toda a América do Sul. Crepani e Medeiros (2004) sistematizaram uma metodologia para refinar MDEs derivados de dados da SRTM de 90 para 10 metros que

foi utilizada com adaptações neste trabalho (o SIG utilizado foi o ArcGIS e não o SPRING). Assim, através da ferramenta *Resample* e da utilização do interpolador bicúbico, gerou-se uma nova grade com células de 10 metros (Figura 4.4) que foi posteriormente recortada tendo como máscara o perímetro da bacia do Ribeirão João Leite. O MDE resultante dessas operações foi utilizado para elaboração dos mapas de vulnerabilidade à amplitude altimétrica e à declividade.

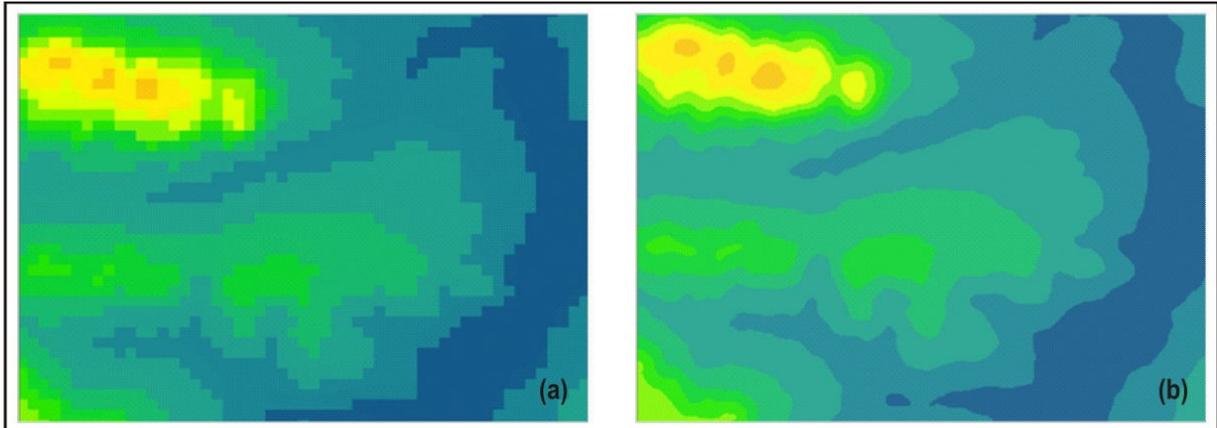


Figura 4.4 – Detalhe de um MDE original com 90 metros de resolução espacial (a) e de um MDE refinado com 10 metros de resolução espacial (b).

4.2.1.1.2 Geração do mapa de vulnerabilidade à amplitude altimétrica

O mapa hipsométrico da área foi gerado a partir da distribuição dos valores de altimetria do MDE refinado em 21 classes para posterior atribuição dos valores de vulnerabilidade/estabilidade (Quadro 4.2) como indicado em Crepani et al (2001).

Intervalos de amplitude altimétrica (m) de Crepani et al (2001)	Diferença entre os limites das classes de amplitude altimétrica (m)	Intervalo dos valores de altitude da bacia do Ribeirão João Leite (m)	Vulnerabilidade/ Estabilidade
0 - 20	20	696 - 716	1,0
20 - 29,5	9,5	716 - 725,5	1,1
29,5 - 39	9,5	725,5 - 735	1,2
39 - 48,5	9,5	735 - 744,5	1,3
48,5 - 58	9,5	744,5 - 754	1,4
58 - 67,5	9,5	754 - 763,5	1,5
67,5 - 77	9,5	763,5 - 773	1,6
77 - 84,5	7,5	773 - 780,5	1,7
84,5 - 94	9,5	780,5 - 790	1,8
94 - 103,5	9,5	790 - 799,5	1,9
103,5 - 113	9,5	799,5 - 809	2,0

113 - 122,5	9,5	809 - 818,5	2,1
122,5 - 132	9,5	818,5 - 828	2,2
132 - 141,5	9,5	828 - 837,5	2,3
141,5 - 151	9,5	837,5 - 847	2,4
151 - 160,5	9,5	847 - 856,5	2,5
160,5 - 170	9,5	856,5 - 866	2,6
170 - 179,5	9,5	866 - 875,5	2,7
179,5 - 189	9,5	875,5 - 885	2,8
189 - 200	11	885 - 896	2,9
>200	-	>896	3,0

Quadro 4.2 – Valores de vulnerabilidade para amplitude altimétrica.

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

4.2.1.1.3 Geração do mapa de vulnerabilidade à declividade

O mapa de declividade da bacia do Ribeirão João Leite foi gerado a partir do MDE refinado e utilizando a ferramenta *slope* da extensão *3D Analyst* do *ArcGIS*. Em seguida, foram atribuídos os valores de vulnerabilidade/estabilidade de acordo com Crepani et al (2001) conforme apresentado no Quadro 4.3. Os intervalos em negrito correspondem aos encontrados na bacia do Ribeirão João Leite.

Declividade (graus)	Vulnerabilidade/Estabilidade	Declividade (graus)	Vulnerabilidade/Estabilidade
<2	1,0	15,2 - 16,5	2,1
2 - 3,3	11	16,5 - 17,8	2,2
3,3 - 4,6	1,2	17,8 - 19,1	2,3
4,6 - 5,9	1,3	19,1 - 20,4	2,4
5,9 - 7,3	1,4	20,4 - 21,7	2,5
7,3 - 8,6	1,5	21,7 - 23	2,6
8,6 - 9,9	1,6	23 - 24,4	2,7
9,9 - 11,2	1,7	24,4 - 25,7	2,8
11,2 - 12,5	1,8	25,7 - 27	2,9
12,5 - 13,8	1,9	>27	3,0
13,8 - 15,2	2,0		

Quadro 4.3 – Valores de vulnerabilidade para declividade.

Fonte: Crepani et al. (2001).

4.2.1.1.4 Geração do mapa de vulnerabilidade ao grau de dissecação do relevo pela drenagem

A etapa inicial para geração do mapa do grau de dissecação do relevo pela drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite foi a própria digitalização desse

manancial e seus tributários no *Google Earth* através da ferramenta “adicionar linha”. Em seguida, o arquivo resultante desse processo foi salvo no formato *kml* e transformado em *shapefile* no *ArcGIS* com o uso da ferramenta *Import data from kml* presente na extensão *XTools*. Em seguida foi utilizada a ferramenta *Euclidean distance* da extensão *Spatial Analyst Tools* do *ArcGIS* para traçar a distância entre as drenagens. Os valores de vulnerabilidade/estabilidade (Quadro 4.4) foram atribuídos de acordo com Crepani et al. (2001). Os valores em negrito correspondem aos encontrados na bacia em estudo.

Amplitude do interflúvio (m)	Vul./Est.	Amplitude do interflúvio (m)	Vul./Est.	Amplitude do interflúvio (m)	Vul./Est.
> 5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	< 250	3,0

Quadro 4.4 – Valores de vulnerabilidade para a intensidade da dissecação do relevo.
Fonte: Crepani et al. (2001).

4.2.1.2 Geração do mapa de vulnerabilidade à geologia

Para construção do mapa de vulnerabilidade à geologia atribuíram-se os valores de vulnerabilidade de acordo com o tipo de litologia existente na área conforme apresentado na Figura 4.5 e tendo como referência o Quadro 4.5 (as rochas destacadas em negrito são as existentes na área de estudo), que por sua vez foi retirado de Crepani et al. (2001). Segundo esses autores, esse quadro foi construído considerando o grau de coesão das rochas uma vez que em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese).



Figura 4.5 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à geologia.

Rocha	Vuln. /Est.	Rocha	Vuln. /Est.	Rocha	Vuln. /Est.
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, quartzo muscovita, biotita, clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, granito, dacito	1,1	Piroxenio, anfíbolito , kimberlito, dunito	1,8	Conglomerados, subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo diorito, granulitos	1,2	Hornoblenda, tremolita, actinolita xisto	1,9	Grauvacas, arcózios	2,6
Migmatitos, gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, xistos granatíferos	2,0	Siltitos, argilitos	2,7
Fonólito, nefelina, sienito, traquito, sienito	1,4	Filito, metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, diorito, basalto	1,5	Ardósia, metargilito	2,2	Calcário, dolomitos, margas, evaporitos	2,9
Anortosito, gabro, peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos inconsolidados: aluviões, colúvios, etc.	3,0

Quadro 4.5 – Valores de vulnerabilidade para as rochas mais comuns.
Fonte: Crepani et al. (2001).

4.2.1.3 Geração do mapa de vulnerabilidade do solo

Para gerar o mapa de vulnerabilidade do solo, considera-se seu grau de maturidade. Segundo Crepani et al. (2001) a maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos. Assim, conforme apresentado na Figura 4.6 e tendo como referência o Quadro 4.6, atribuiu-se os valores de vulnerabilidade para os solos encontrados na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (em negrito).



Figura 4.6 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à geologia.

Classificação de solos (Embrapa)	Vulnerabilidade/Estabilidade
Latossolos amarelos	1,0
Latossolos vermelho-amarelos	
Latossolos vermelhos	
Latossolos brunos	
Latossolos húmicos	
Latossolos bruno húmicos	
Argissolos	2,0
Argissolos luvisolos alissolos nitossolos	
Argissolos nitossolos	
Luvisolos	
Chernossolos	
Planossolos	
Espodossolos	
Cambissolos	2,5
Neossolos litólicos	3,0
Neossolos flúvicos	
Neossolos regolíticos	
Neossolos quartzarênicos	
Vertissolos	
Organossolos	
Gleissolos	
Gleissolos plintossolos	
Plintossolos	
Afloramento rochoso	

Quadro 4.6 – Valores de vulnerabilidade dos solos.
Fonte: Crepani et al. (2001).

4.2.1.4 Geração do mapa de vulnerabilidade ao clima

Segundo Crepani et al. (2004) é especialmente importante conhecer a intensidade pluviométrica quando se trata de processos erosivos porque ela representa uma relação entre quanto chove (pluviosidade total) e a duração da chuva.

Os valores de intensidade pluviométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite foram calculados a partir de dados de precipitação pluvial e de dias de chuva, de oito estações pluviométricas e utilizando-se a Equação 5 (Crepani et al., 2004):

$$\text{Intensidade pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação média anual}}{\text{Número de dias com chuva}/30} \quad (5)$$

A localização das estações pluviométricas encontra-se na Figura 4.7 e os valores de intensidade pluviométrica desses postos na Tabela 4.1.

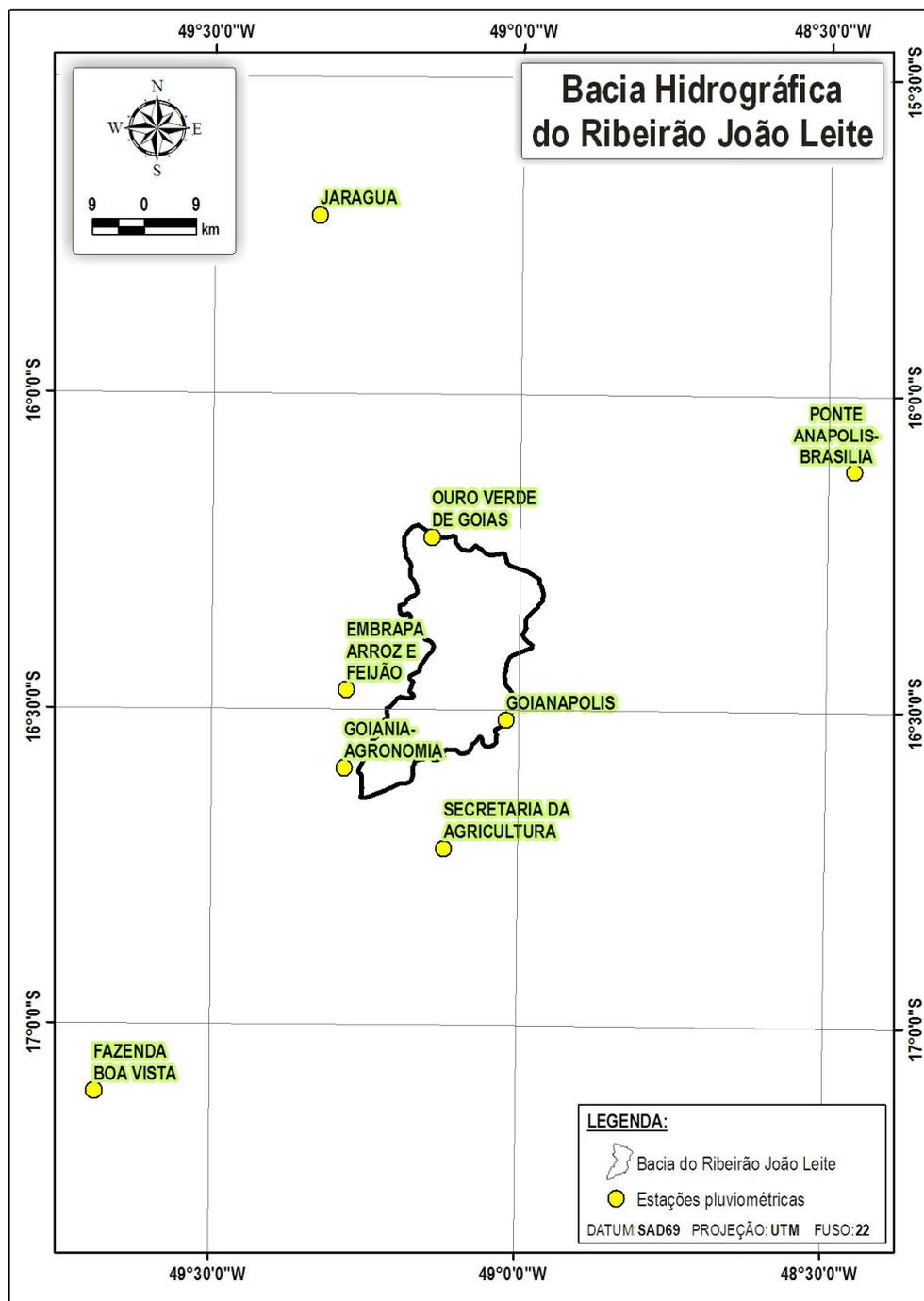


Figura 4.7 – Estações pluviométricas próximas e na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Tabela 4.1 – Valores de precipitação pluvial média mensal e anual, número de dias com chuva e valores de intensidade pluviométrica calculados para cada estação pluviométrica.

Posto	Jaraguá	Fazenda Boa Vista	Ouro Verde de Goiás	Goianápolis	Ponte Anápolis Brasília	CCTA - Secretaria da Agricultura	Goiânia – Agronomia	Embrapa Arroz e Feijão
Código	1549003	1749001	1649009	1649004	1648001	1649002	1649005	---
Período	1976/ 1994 2000/ 2005	1973/ 1998 2004/ 2006	1975/ 1987 1989/ 1998 2003/ 2006	1974/ 1987 1994/ 1998 2003/ 2006	1969/ 1991 2000/ 2007	1977/ 1990 1992/ 1996	1979/1981 1983/1993	1978/ 2002
Jan	336,7	277,6	321,6	277,0	244,1	258,7	236,7	233,4
Fev	263,9	216,3	224,9	204,6	194,1	205,2	205,7	204,8
Mar	233,4	214,9	263,6	254,7	210,0	196,4	195,3	210,7
Abr	125,4	104,0	112,5	107,5	120,9	127,0	124,0	104,6
Mai	25,3	32,2	41,2	41,7	32,3	51,0	20,5	33,7
Jun	9,5	9,7	8,3	7,0	8,1	7,0	8,4	6,4
Jul	5,6	5,1	6,0	5,1	9,6	9,2	8,2	7,7
Ago	16,3	13,6	12,7	12,4	11,6	17,4	23,9	13,3
Set	49,2	58,4	52,6	38,9	58,0	46,8	66,6	53,4
Out	147,8	128,8	157,6	154,3	148,5	167,1	155,1	149,1
Nov	216,0	212,6	243,5	222,7	223,9	232,0	222,6	217,2
Dez	329,4	252,3	261,7	276,0	280,1	267,4	252,8	240,1
P.M.A.¹	1758,4	1525,4	1706,2	1601,9	1541,0	1585,2	1519,8	1474,4
N.D.C.²	108	118	119	115	119	112	133	133
N.D.C/30³	3,6	3,9	4,0	3,8	4,0	3,7	4,4	4,4
I.P. (mm/mês)⁴	488,4	387,8	430,1	417,9	388,5	423,6	342,8	331,9

Fonte: série histórica dos postos pluviométricos Jaraguá, Fazenda Boa Vista, Ouro Verde de Goiás, Goianápolis, Ponte Anápolis/Brasília (HIDROWEB, 2009), CCTA/Secretaria da Agricultura, Goiânia/Agronomia e Embrapa Arroz e Feijão (ASSAD, 2005).

¹ Precipitação média anual (mm);

² Número de dias com chuva (média do período);

³ Número de dias com chuva (média do período) dividido por trinta;

⁴ Intensidade pluviométrica (mm/mês).

Os valores de intensidade pluviométrica foram interpolados no *ArcGIS* utilizando a ferramenta *Natural Neighbor* da extensão *3D Analyst Tools*. Tal operação deu origem a uma superfície numérica que foi dividida em intervalos de classe tendo como referência o Quadro 4.7 que mostra os valores de vulnerabilidade à perda de solo, relacionados aos valores de

intensidade pluviométrica. Esses valores variam de 1,0 (estável) a 3,0 (vulnerável) considerando que quanto maior a erosividade da chuva, maior é a perda de solo nas unidades de paisagem. O mapa de vulnerabilidade à intensidade pluviométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite resulta dos valores de intensidade pluviométrica encontrados para essa área divididos em intervalos de classe com os seus respectivos valores de vulnerabilidade (em negrito).

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vuln./ Est.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vuln./ Est.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vuln./ Est.
< 50	1,0	200 – 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 – 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 – 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 – 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 – 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 – 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 – 375	2,3	> 525	3,0

Quadro 4.7 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: Crepani et al. (2001).

A Figura 4.8 mostra as etapas de construção do mapa de vulnerabilidade à intensidade pluviométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

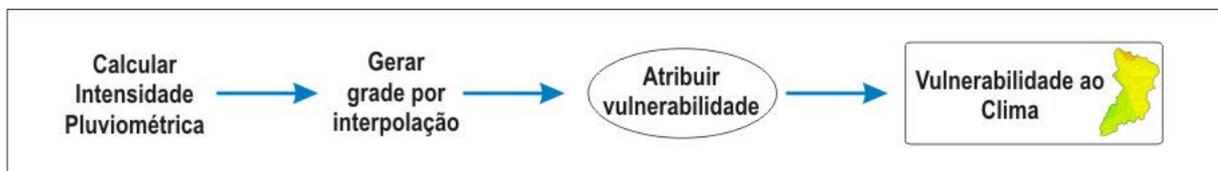


Figura 4.8 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade à intensidade pluviométrica.

4.2.1.5 Geração do mapa de vulnerabilidade a vegetação/uso do solo/áreas de risco a qualidade da água superficial

O mapa de vulnerabilidade para uso do solo/cobertura vegetal/áreas de risco à qualidade da água superficial da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite teve como base o mapa de uso do solo da bacia na escala 1:50.000. Utilizou-se a ferramenta *erase* no ArcGIS para apagar as áreas correspondentes às áreas de risco à qualidade da água superficial. Ao mapa resultante desse processo, foram adicionados os próprios mapas das áreas de risco à qualidade da água superficial. Assim, esse mapa contém os valores de vulnerabilidade do uso

do solo originais conforme a metodologia de Crepani et al (2001) e os valores de vulnerabilidade atribuídos às áreas de risco à qualidade da água superficial. O esquema de como esse mapa foi produzido é apresentado na Figura 4.9.

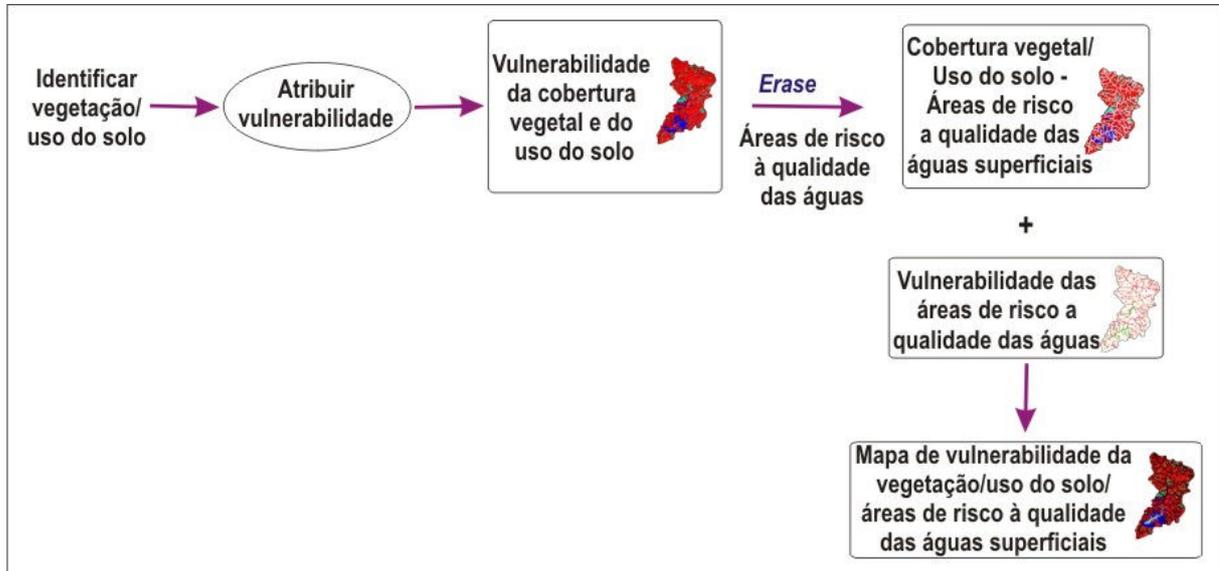


Figura 4.9 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade a vegetação/uso do solo/áreas de risco a qualidade da água superficial

4.2.1.5.1 Geração do mapa de vulnerabilidade da cobertura vegetal e do uso da terra

Para geração do mapa de vulnerabilidade ao uso do solo/cobertura vegetal foi inicialmente construído o mapa de uso do solo/cobertura vegetal. Essa etapa foi realizada no *Google Earth* na escala 1:50.000 através da ferramenta “adicionar polígono” que possibilitou mapear as áreas de agropecuária, áreas urbanas, solos expostos e diferentes tipos de cobertura vegetal através da interpretação das imagens presentes neste *software*. O arquivo resultante desse processo foi salvo no formato *kml* e transformado em *shapefile* no *ArcGIS* através da ferramenta *Import data from kml* presente na extensão *XTools*. A legenda do mapa de uso do solo/cobertura vegetal deste trabalho foi construída tendo como referência o mapeamento de uso do solo na escala 1:250.000 realizado pela Agência Ambiental de Goiás e já apresentado neste trabalho no capítulo 3 (Figura 3.9). Já os valores de vulnerabilidade atribuídos para cada classe de uso da terra e cobertura vegetal (Quadro 4.9) têm como referência o trabalho de Crepani et al. (2001).

Uso da terra e cobertura vegetal	Vulnerabilidade/ Estabilidade
Agropecuária	3,0
Área Urbana e Núcleo Rural	3,0
Floresta Estacional Decidual Submontana	1,0
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	1,6
Savana Arborizada (Cerrado típico/Cerrado denso)	1,7
Solo Exposto	3,0

Quadro 4.8 – Valores de vulnerabilidade para as classes de uso da terra e cobertura vegetal. Fonte: Crepani et al (2001).

4.2.1.5.2 Geração do mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais

O uso do solo ao redor das drenagens, ao redor do futuro reservatório e a localização das atividades potencialmente poluentes são consideradas áreas de risco à qualidade das águas superficiais neste trabalho. Assim, elas foram mapeadas e receberam valores de vulnerabilidade que variam de 1,0 (estável) a 4,0 (altamente vulnerável). A Figura 4.10 mostra de maneira esquemática como se deu a construção do mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais da área de estudo.

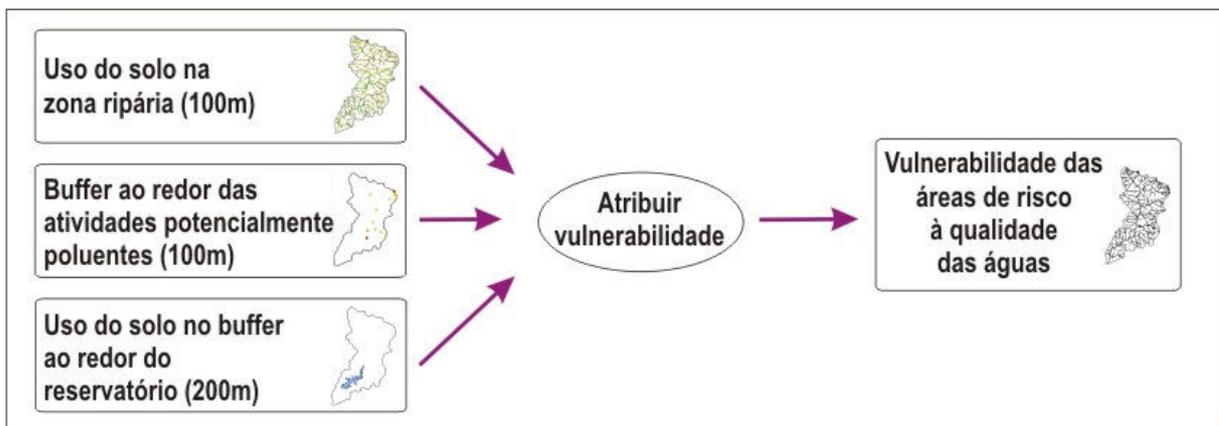


Figura 4.10 – Esquema metodológico de geração do mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais.

4.2.1.5.2.1 Geração do mapa de vulnerabilidade dos *buffers* ripários no entorno das drenagens

Diversos trabalhos destacam a relação entre o uso do solo na proximidade das margens das drenagens para a qualidade da água (AZRINA et al., 2006; BONNET et al., 2007B; RABELO et al., 2009). Tratam-se, portanto, de áreas de risco à qualidade da água. Pires (1995) defende inclusive a adoção de 150 metros de largura de área natural ao redor de córregos, pois considera que a largura de 30 metros de área de preservação permanente (APP) estabelecida na legislação ambiental vigente (Lei 4.771/65 com redação alterada pela Lei 7.803/89) é muito pequena para a proteção dos sistemas aquáticos.

Buscando um meio termo entre a recomendação de Pires (1995) e a legislação ambiental, adotou-se neste trabalho o conceito de *buffer* ripário – faixa de 100 metros no entorno de corpos d'água – utilizada por Bonnet et al. (2007b) e Bonnet et al. (2007c) – e investigou-se o uso do solo nessas zonas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Em seguida, atribui-se valores de vulnerabilidade para cada um dos usos encontrados, conforme apresentado no Quadro 4.8.

Uso da terra e cobertura vegetal	Vuln./Estab.
Agropecuário	4,0
Solo Exposto	4,0
Área urbana e núcleo rural	4,0
Savana arborizada	1,7
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	1,6
Floresta Estacional Decidual Submontana	1,0
Massa d'água	0

Quadro 4.9 – Valores de vulnerabilidade atribuídos aos usos encontrados nos *buffers* ripários ao redor das drenagens na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

4.2.1.5.2.2 Geração do mapa de vulnerabilidade das atividades potencialmente poluidoras

As atividades humanas são potenciais poluidoras dos mananciais, pois seus efluentes alteram a qualidade das águas, principalmente se não houver o tratamento adequado dos mesmos. Assim, também se considerou a localização dessas atividades como áreas de risco. A seguir, o Quadro 4.11 traz uma lista das atividades encontradas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite e o grau de vulnerabilidade atribuído a cada uma delas.

Id	Empreendimento	Atividade	Efluentes	Vul./ Estab.
1	Rical Alimentos	Indústria alimentícia	Água para lavagem de piso e para estocagem da tripa	3,5
2	Pedro Catarina Filho	Indústria alimentícia	Água para limpeza de pisos e tachos, com resíduos sólidos de açúcar	3,5
3	Doces Lu	Indústria alimentícia	Água para lavagem de pisos e tachos com resíduos de açúcar	3,5
4	Itamaraty Ind. e Com. de Produtos de Limpeza LTDA	Indústria química	Água para lavagem de pisos, recipientes plásticos com restos de produtos químicos	4,0
5	Frigossuíno Suíno Distribuidora LTDA -	Frigorífico/abatedouro	Água com sangue, gordura, pelos e para limpeza de pisos	3,5
6	Cerealista Manchester LTDA	Indústria alimentícia	Não tem tratamento industrial	3,5
7	Frigorífico Serviços LTDA - Antigo Santana	Frigorífico/abatedouro	Água para lavagem de pisos, lavagem da carne com presença de sangue, pelos e sebo	3,5
8	Frinópolis Ind. e Com. de Suínos e Bovinos LTDA	Frigorífico/abatedouro	Água com sangue, pelos e sebo	3,5
9	Free Pesca - Marcos Bezé	Granja, confinamento e piscicultura	Água com resíduos da ração	3,5
10	Psicultura Sérgio Hamaoka	Granja, confinamento e piscicultura	Água dos tanques	3,5
11	Improagro Ind. de Produtos Alimentícios Goianópolis LTDA	Indústria alimentícia	Não produz efluente industrial	3,5
12	Granja Santa Teresa	Granja, confinamento e piscicultura	Água com dejetos	3,5
13	Akesse Centro Oeste LTDA - Piscinas de fibra	Metal, papel, plástico e madeira	Não produz efluente	3,5
14	Aterro sanitário da prefeitura de Terezópolis	Aterro sanitário	Chorume	4,0
15	Estância da Vovó - Suinocultura	Granja, confinamento e piscicultura	Esterco líquido	3,5
16	Saty Alimentos LTDA	Indústria Alimentícia	Água para descarregamento, lavagem das verduras e limpeza de pisos	3,5

Quadro 4.10 – Valores de vulnerabilidade atribuídos às atividades encontradas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Fonte: Adaptado de Papaleo e Martins Júnior, 2008.

Os valores de vulnerabilidade atribuídos a cada uma dessas atividades tiveram como critério o Anexo VIII (Atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais) da Lei nº 10.165/2000. A localização dos empreendimentos foi retirada de Papaleo e Martins Júnior (2008) e utilizada para elaborar o mapa de vulnerabilidade com um *buffer* de 100 metros ao redor do ponto onde elas se localizam.

4.2.1.5.2.3 Geração do mapa de vulnerabilidade do *buffer* ao redor futuro reservatório

A preservação da vegetação ao redor do futuro reservatório é de fundamental importância para garantir a qualidade de sua água. O próprio projeto da barragem prevê que uma faixa de 200 metros de proteção ao redor do lago em sua cota máxima. Assim, mapeou-se qual o uso do solo nessa faixa e atribuiu-se os valores de vulnerabilidade apresentados no Quadro 4.12.

Uso da terra e cobertura vegetal	Vulnerabilidade
Agropecuária	4,0
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	1,6
Floresta Estacional Decidual Submontana	1,0
Massa d'água	0,0

Quadro 4.11 – Valores de vulnerabilidade atribuídos ao *buffer* de 200 metros ao redor do futuro reservatório do Ribeirão João Leite.

4.2.2 Atividades de campo

O trabalho de campo na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite para avaliação dos resultados foi realizado no dia 03 de junho de 2009. Foram percorridos aproximadamente 103 km utilizando um GPS Garmim (modelo *etrex*) para realizar a checagem da verdade terrestre e de pontos considerados críticos e/ou duvidosos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo contempla os resultados alcançados com a aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior.

Inicialmente são apresentados os mapas de vulnerabilidade dos temas geomorfologia, geologia, solos, clima e uso do solo, analisando-se como se deu a distribuição espacial dos valores de vulnerabilidade predominantes em cada tema. Na seqüência são apresentados os mapas das áreas de risco à qualidade das águas e seus respectivos valores de vulnerabilidade. Em seguida apresenta-se o mapa resultante da integração dos anteriores, intitulado de mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais dessa bacia.

Procurou-se, também, cruzar as informações entre os temas mais diretamente relacionados como forma de interpretar os resultados obtidos.

Por fim, apresenta-se a documentação fotográfica resultante da checagem feita no campo das características da bacia.

5.1 MAPA DE VULNERABILIDADE À GEOMORFOLOGIA

O mapa de vulnerabilidade à geomorfologia resulta da média aritmética dos mapas de vulnerabilidade à amplitude altimétrica, ao grau de dissecação pela drenagem e à declividade. Assim, são primeiramente apresentados os mapas que a ele deram origem.

5.1.1 Mapa de vulnerabilidade à amplitude altimétrica

A diferença entre a cota máxima (1.143 metros) e mínima (696 metros) encontrada na bacia do Ribeirão João Leite é de 447 metros. As áreas de menor altitude localizam-se a jusante da barragem. As áreas mais elevadas localizam-se em sua maioria nas extremidades da bacia e são as que recebem os maiores valores de vulnerabilidade: 2,7 a 3,0. Cerca de 50% da área é considerado vulnerável. As classes menos vulneráveis localizam-se mais próximas ao curso do rio principal. O mapa de vulnerabilidade à amplitude altimétrica referida bacia é apresentado na Figura 5.1.

O que se observa ao se confrontar a vulnerabilidade à amplitude altimétrica com a vulnerabilidade ao clima (mapa a ser apresentado no item 5.4) é que, de forma geral, nas

altitudes mais elevadas predominam as duas classes de maior intensidade pluviométrica encontradas na bacia. Como uma preocupação adicional, também se nota, quando se relaciona a altitude com declividade e uso do solo, que nas extremidades da bacia encontram-se as áreas mais altas coincidindo em grande parte com áreas de relevo mais movimentado e que, no geral, estão menos protegidas.

5.1.2 Mapa de vulnerabilidade à declividade

Com relação à declividade, a bacia do Ribeirão João Leite é, em geral, pouco vulnerável (Figura 5.2). Embora os valores de vulnerabilidade tenham variado de 1,0 a 2,8 para esta característica, mais de 80% da área possui valores entre 1,0 e 1,3 distribuídos principalmente no interior da bacia e nas proximidades de sua foz com o Rio Meia Ponte. Os valores elevados de vulnerabilidade encontram-se geralmente nas bordas.

Apesar da maioria da bacia ser considerada estável, consiste objeto de preocupação, como já exposto, o fato de grande parte das áreas de maior altitude e com declividade acentuada apresentar-se com cobertura inadequada.

5.1.3 Mapa de vulnerabilidade ao grau de dissecação do relevo pela drenagem

Com as drenagens mapeadas na escala de 1:50.000, a distância máxima entre os rios na bacia do Ribeirão João Leite é de 2.735 metros. Entretanto, a amplitude interfluvial mais freqüente é de até 1.000 metros. Assim, os valores de vulnerabilidade referentes ao grau de dissecação também foram elevados (entre 2,7 e 3,0) e no geral, a bacia é considerada altamente dissecada, conforme pode ser observado na Figura 5.3. Este resultado está parcialmente de acordo com Crepani et al. (2001, p. 73) que afirma que “rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, apresentam maior quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno”, se for considerado que nessa bacia predominam rochas coesas, mas solos porosos. Apesar da característica referida, os solos da bacia do Ribeirão João Leite podem, por manejo inadequado, ter sua permeabilidade reduzida. Isso está de acordo com Silva et al. (2006): a condutividade hidráulica e a resistência à penetração são propriedades do solo bastante sensíveis aos efeitos da compactação.

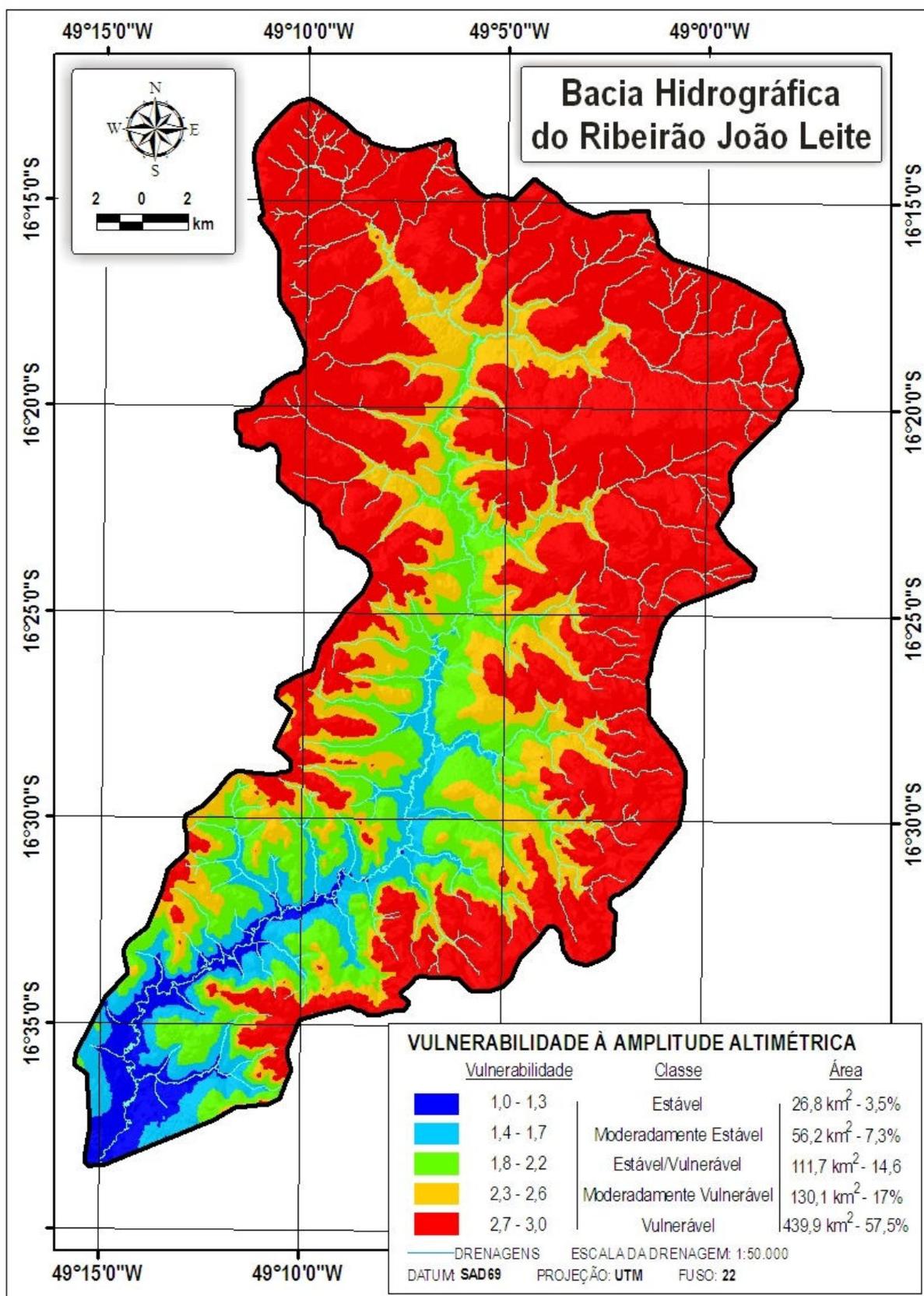


Figura 5.1 – Mapa de vulnerabilidade à amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

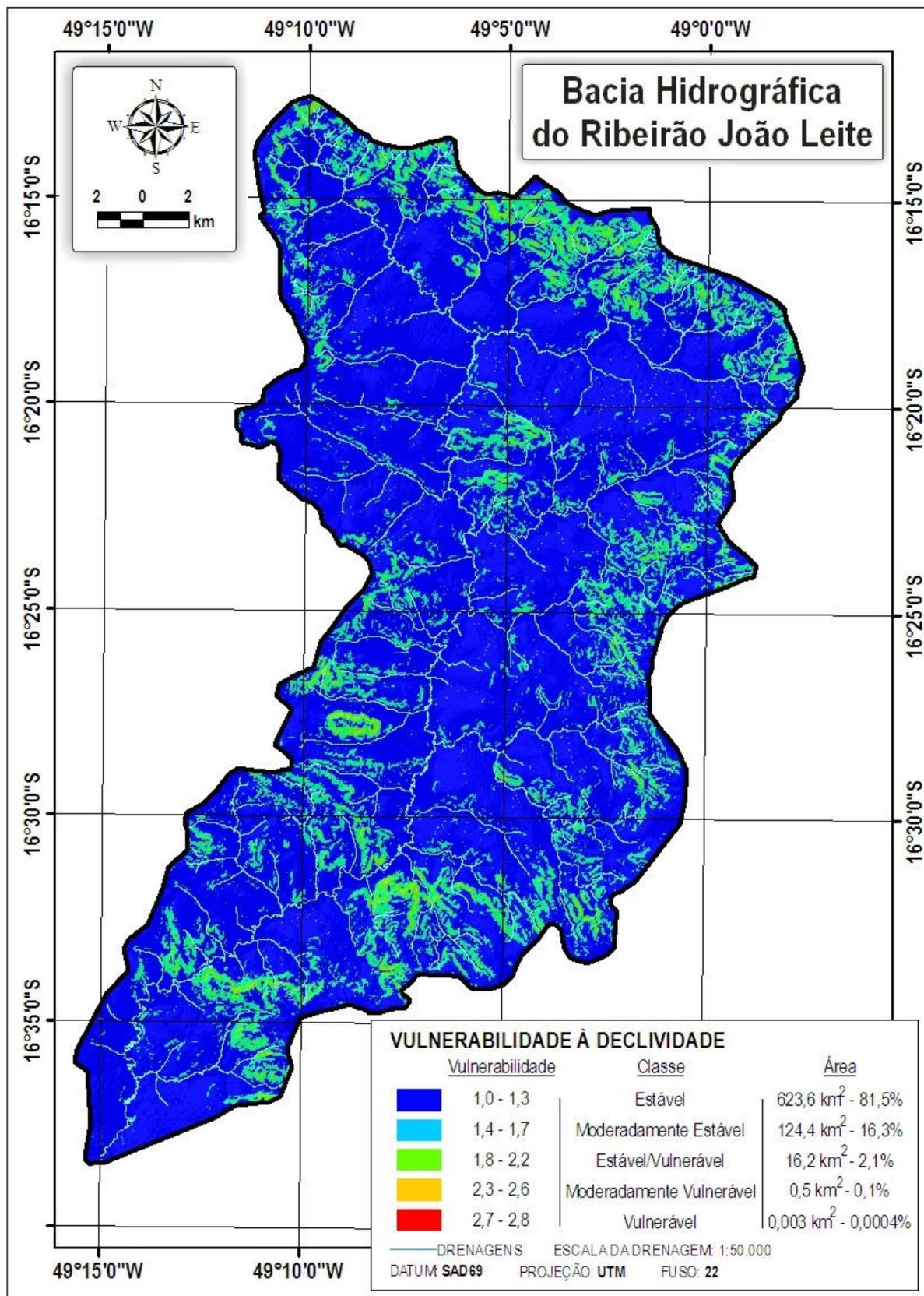


Figura 5.2 – Mapa de vulnerabilidade à declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

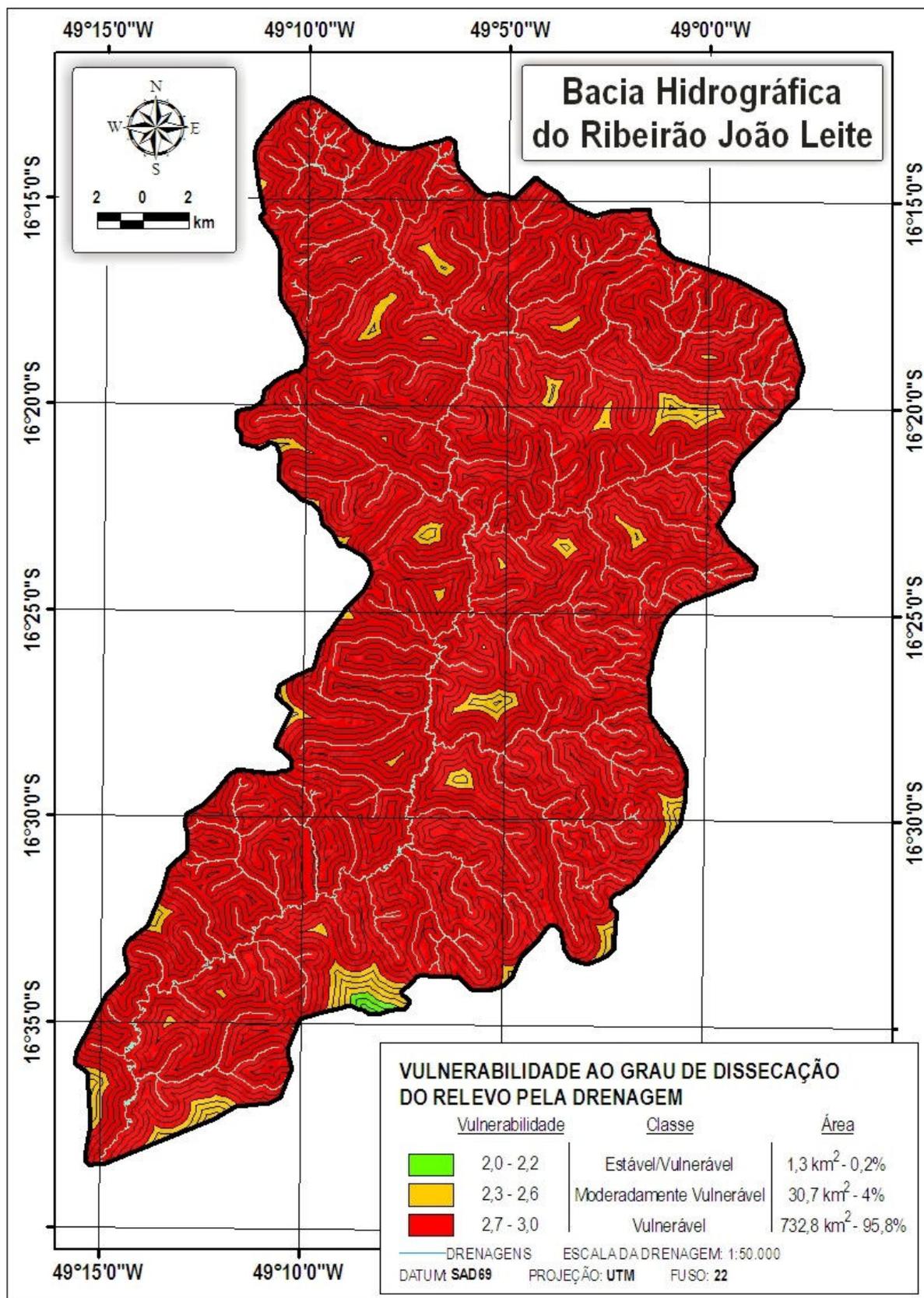


Figura 5.3 – Mapa de vulnerabilidade ao grau de dissecação do relevo pela drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

O mapa de vulnerabilidade à geomorfologia apresentado na Figura 5.4 aponta a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite como uma área de relevo em equilíbrio entre estável e vulnerável em praticamente metade de sua área. Já a classe “moderadamente vulnerável” aparece mais concentrada nas bordas, que é onde se encontram as áreas de altitude elevada, relevo movimentado e forte dissecação pela drenagem. O relevo aparece como “moderadamente estável” nas proximidades do local onde o Ribeirão João Leite deságua no Rio Meia Ponte. Essa região possui as cotas mais baixas associadas a um relevo plano. Nascimento (1998) identifica essa área como terraço fluvial da bacia do Rio Meia Ponte e afirma trata-se justamente de uma área receptora de sedimentos. Segundo Casseti (1990) trata-se de uma área com evidências de assoreamento pela crescente necessidade de dragagem da barragem de nível utilizada para captação atual e da notória intensificação do número de enchentes.

5.2 MAPA DE VULNERABILIDADE À GEOLOGIA

O mapa de vulnerabilidade à geologia na bacia do Ribeirão João Leite é apresentado na Figura 5.5. Nele, os valores de vulnerabilidade variam de 1,0 (estável) a 3,0 (vulnerável). Segundo Crepani et al. (2001), os valores mais próximos a 1,0 representam as áreas com rochas mais coesas, e, por consequência, mais resistentes à erosão e favoráveis aos processos de formação de solos. Já as litologias de vulnerabilidade 3,0 são facilmente erodíveis. Dessa forma, mais de 90% da bacia do Ribeirão João Leite é composta por rochas resistentes à erosão. A exceção é uma área ao redor do Ribeirão João Leite próxima a sua foz, cuja litologia é composta basicamente por areia, argila e cascalho, materiais de baixa coesão. Considerando a homogeneidade deste tema e a preponderância de valores que indicam estabilidade, nota-se que sua influência no mapa final é contribuir para valores de vulnerabilidade mais baixos.

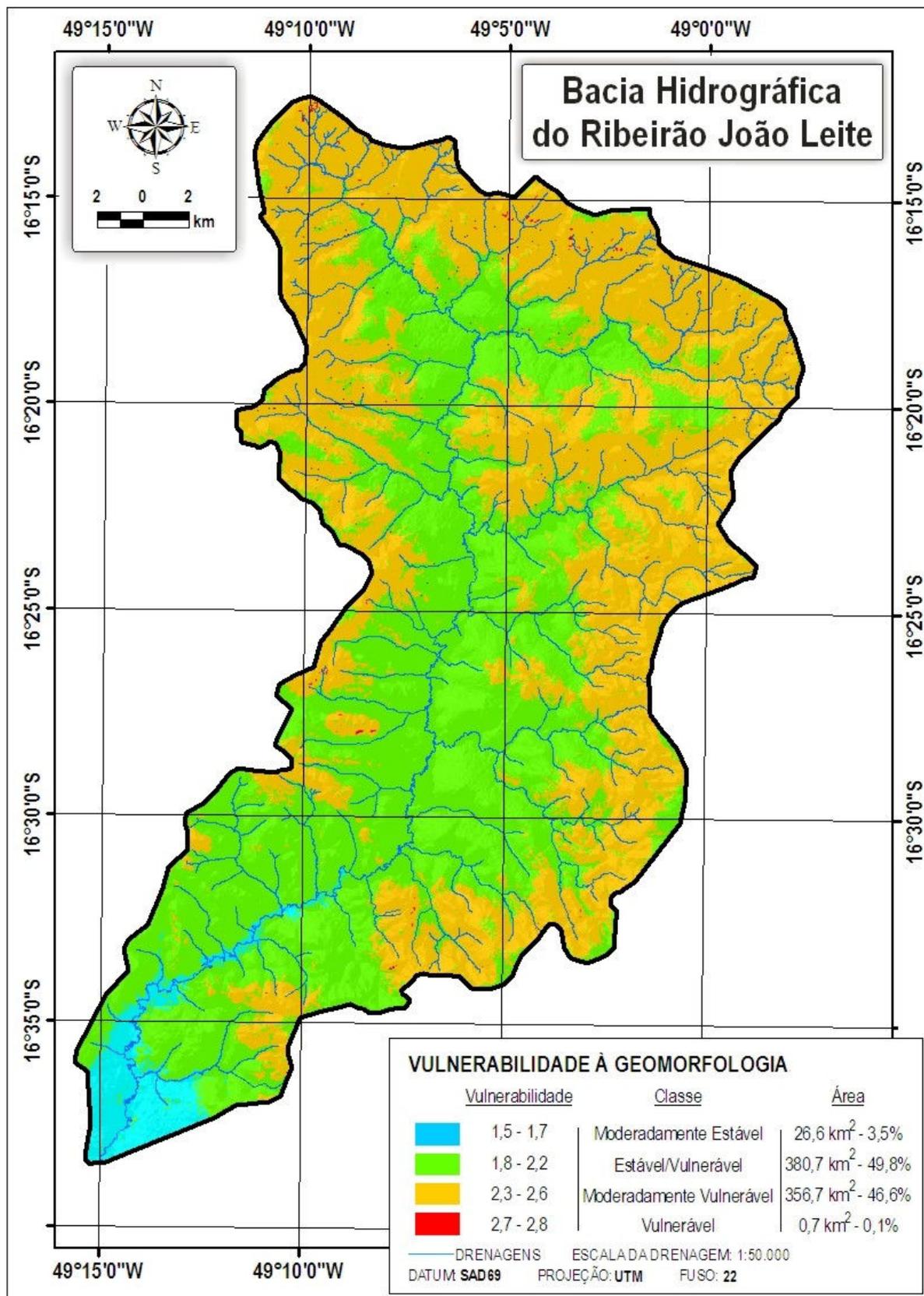


Figura 5.4 – Mapa de vulnerabilidade à geomorfologia da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

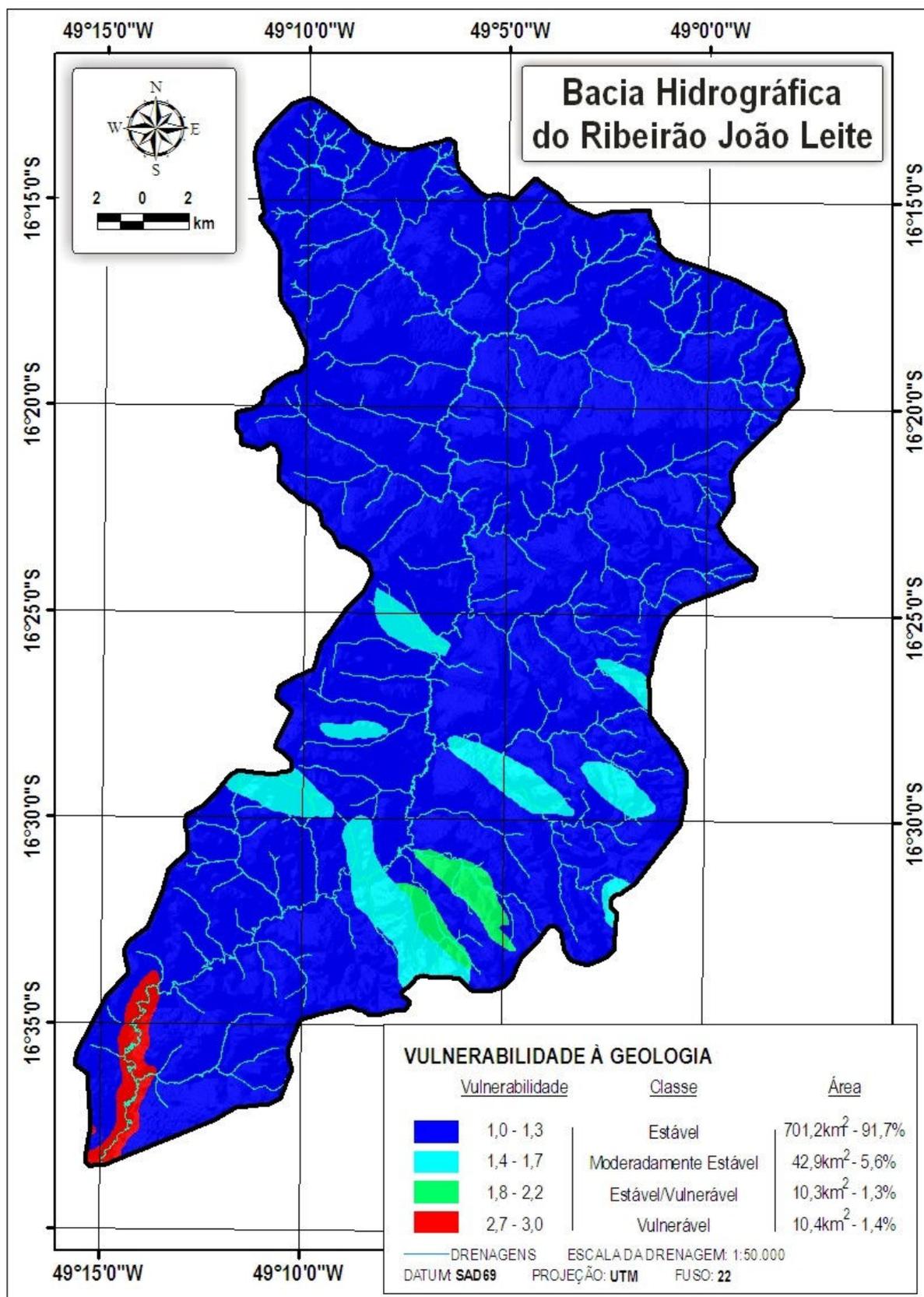


Figura 5.5 – Mapa de vulnerabilidade à geologia da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

5.3 MAPA DE VULNERABILIDADE DOS SOLOS

Quase 60% da área da bacia do Ribeirão João Leite é composta por latossolos, solos estáveis segundo Crepani et al. (2001). Nas bordas da porção norte, leste e sudeste, localizam-se os argissolos e os nitossolos, solos considerados de média erodibilidade (BERTOL et al., 2007; MARTINS FILHO et al., 2009). A quantidade de solos mapeados como vulneráveis à erosão é mínima e aparece somente na foz do curso principal (Figura 5.6). Ressalva-se que, mesmo um quadro natural majoritariamente estável, sujeita-se a outros fatores não considerados na construção de mapa de vulnerabilidade ao solo, conforme ocorrido no presente trabalho. Nascimento e Sales (2003), em seu trabalho de atualização cadastral das erosões levantadas por Nascimento (1994) no município de Goiânia, encontraram 81,1% das ocorrências de erosão associadas à latossolos e apenas 7,8% das erosões relacionadas aos cambissolos ou solos litólicos. Assim, nota-se que a interferência humana pode resultar na instalação de processos erosivos, mesmo em solos portadores de alto desenvolvimento físico, o que normalmente determinaria a maior resistência de seus agregados à erosão.

5.4 MAPA DE VULNERABILIDADE AO CLIMA

O mapa de vulnerabilidade ao clima (Figura 5.7) apontou a bacia do Ribeirão João Leite como moderadamente vulnerável à intensidade pluviométrica. Embora o período chuvoso seja ao longo dos meses de outubro a abril, o número de dias com chuva é, em média, de 120 por ano. Assim, nota-se que as precipitações ocorrem de maneira concentrada, o que favorece o aumento do processo de escoamento, a perda de solo e a instalação de processos erosivos.

De acordo com Crepani et al. (2001) os valores de intensidade pluviométrica encontrados (362 a 431 mm/mês) correspondem ao que é esperado para a região Centro-Oeste como pode ser visto na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Características das chuvas nas diversas regiões do Brasil.

Região	Pluviosidade média anual (mm)	Duração do período chuvoso (meses)	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	
			Mínima	Máxima
Norte	1.400 a 3.400	7 a 12	116,6	485,7
Nordeste	300 a 2.000	1 a 3	100,0	2.000,0
Sudeste	900 a 3.600	6 a 12	75,0	600,0
Sul	1.200 a 2.000	9 a 12	100,0	222,2
Centro-Oeste	1.000 a 3.000	7 a 11	90,9	428,5

Fonte: Crepani et al. (2001).

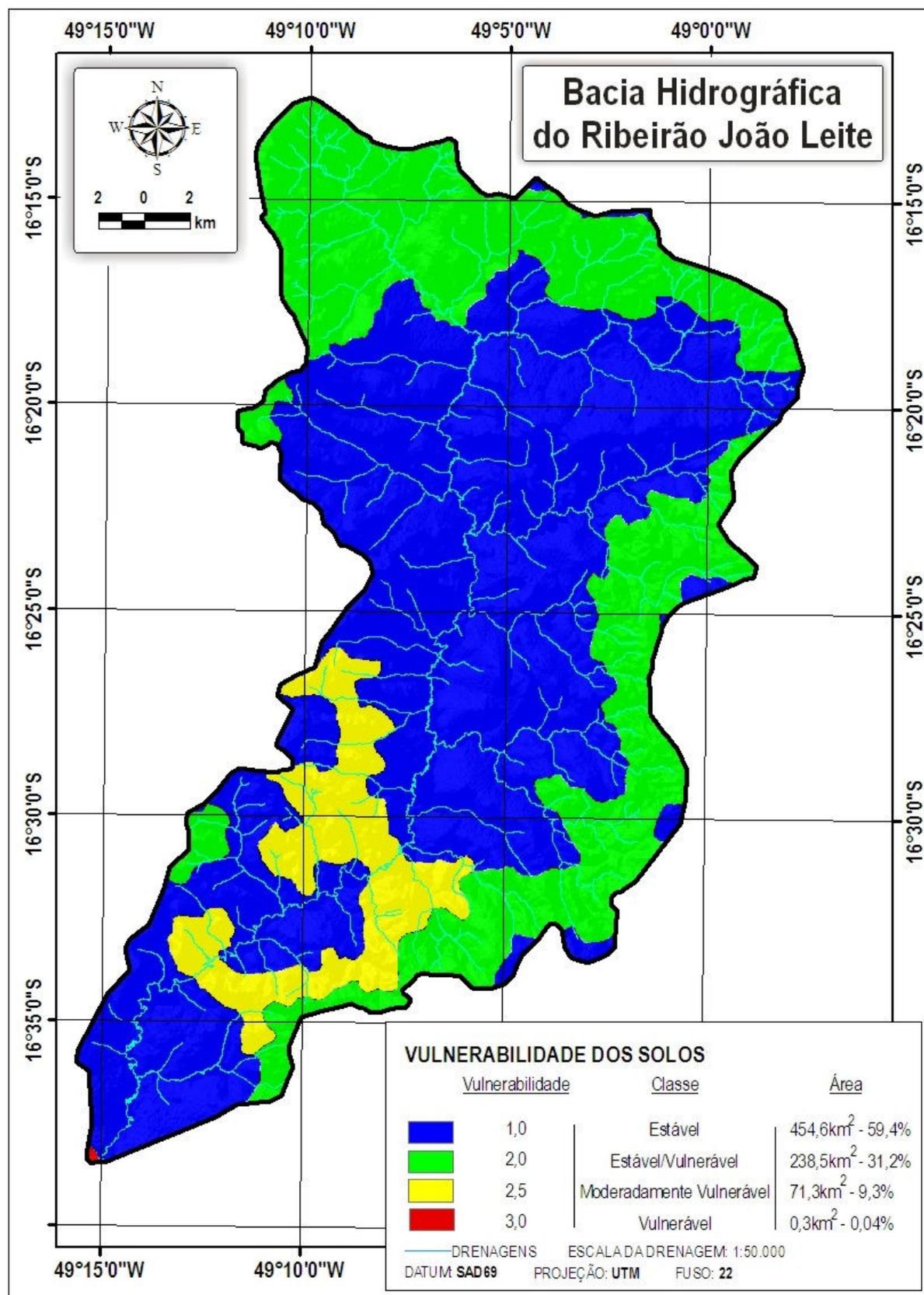


Figura 5.6 – Mapa de vulnerabilidade dos solos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

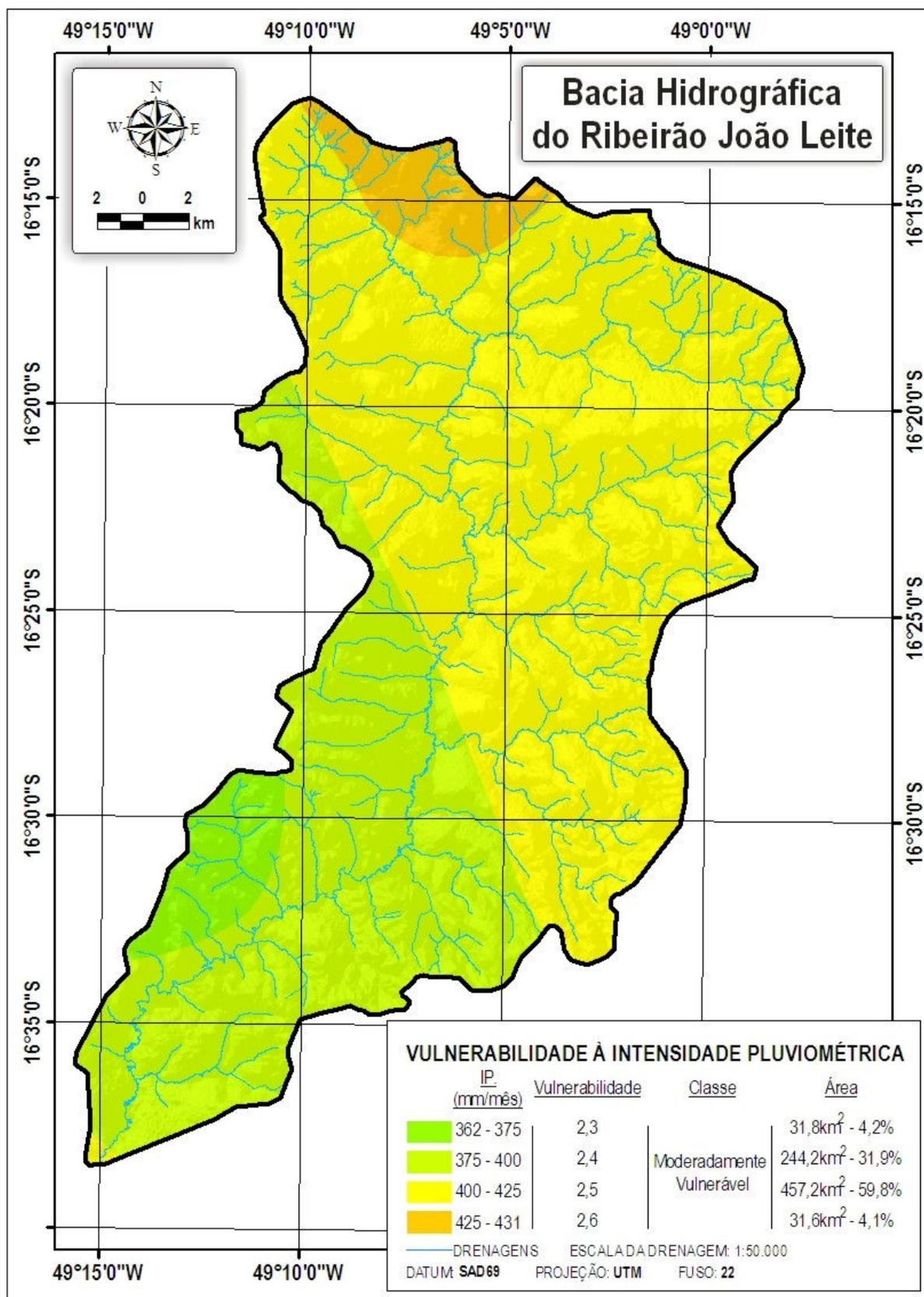


Figura 5.7 – Mapa de vulnerabilidade à intensidade pluviométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Papaleo e Martins Júnior (2008, p. 15) citando SEMARH (2007)⁹ afirmam que a distribuição pluviométrica na bacia encontra-se associada à topografia, com os “maiores índices na seção setentrional (1.711 mm anuais em Ouro Verde de Goiás e 1.650 mm em Anápolis) e menor na porção centro-meridional (1.633 mm em Goianópolis e 1.605 mm em Goiânia)”. A espacialização da intensidade pluviométrica confirma essa informação: as áreas de maior altitude são também as de maior precipitação pluvial média.

5.5 MAPA DE VULNERABILIDADE DA VEGETAÇÃO/USO DO SOLO/ÁREAS DE RISCO À QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

O mapa de vulnerabilidade da vegetação/uso do solo/áreas de risco à qualidade das águas superficiais é resultado da integração dos mapas de vegetação/uso do solo e das áreas de risco à qualidade das águas superficiais. Este último, por sua vez, é composto pelos mapas de vulnerabilidade no *buffer* de 100 metros no entorno das drenagens, vulnerabilidade na faixa de proteção de 200 metros ao redor do futuro reservatório e vulnerabilidade nos locais onde se encontram atividades potencialmente poluidoras. Assim, são primeiramente apresentados esses mapas supracitados e, por fim, os mapas de síntese.

5.5.1 Mapa de vulnerabilidade ao uso da terra

O mapa de uso da terra produzido neste trabalho e apresentado na Figura 5.8 mostra que, dos 764 km² da bacia do Ribeirão João Leite, aproximadamente 600 km² (praticamente 80% da área) são destinados a usos que favorecem os processos erosivos (agropecuária, áreas urbanizadas e solos expostos). Menos de 10% é ocupada por cobertura vegetal densa. Assim, predomina no mapa de vulnerabilidade ao uso da terra, a classe “vulnerável” (Figura 5.9).

Trata-se de uma situação indesejada para uma bacia de abastecimento público, porém, administrável desde que a ocupação dessa área se dê de maneira planejada e se adotem práticas conservacionistas de manejo.

⁹ Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás – SEMARH (2007). Plano de Manejo da APA do João Leite. Goiânia: Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste (ITCO). CD Rom.

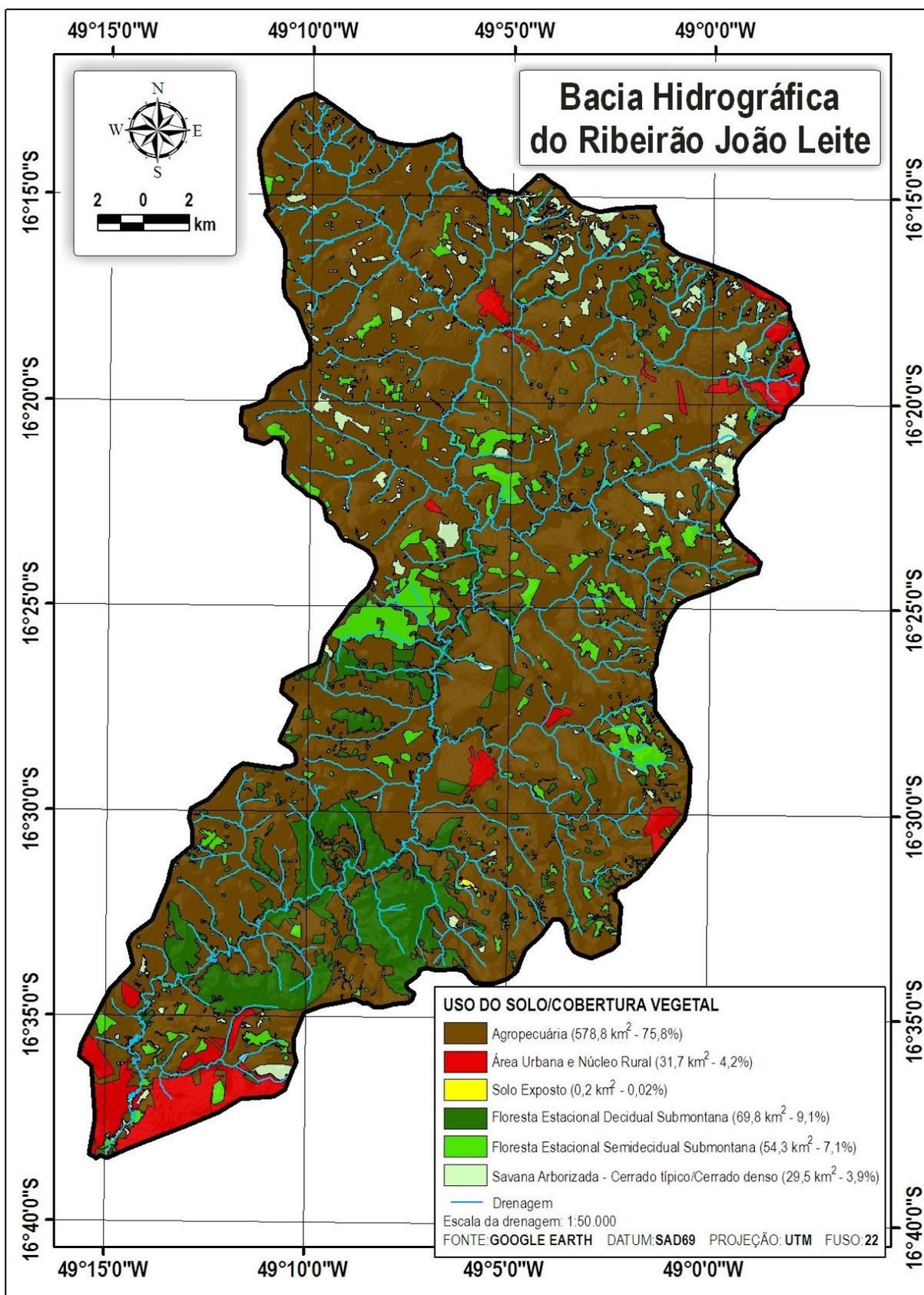


Figura 5.8 – Mapa de uso do solo/cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

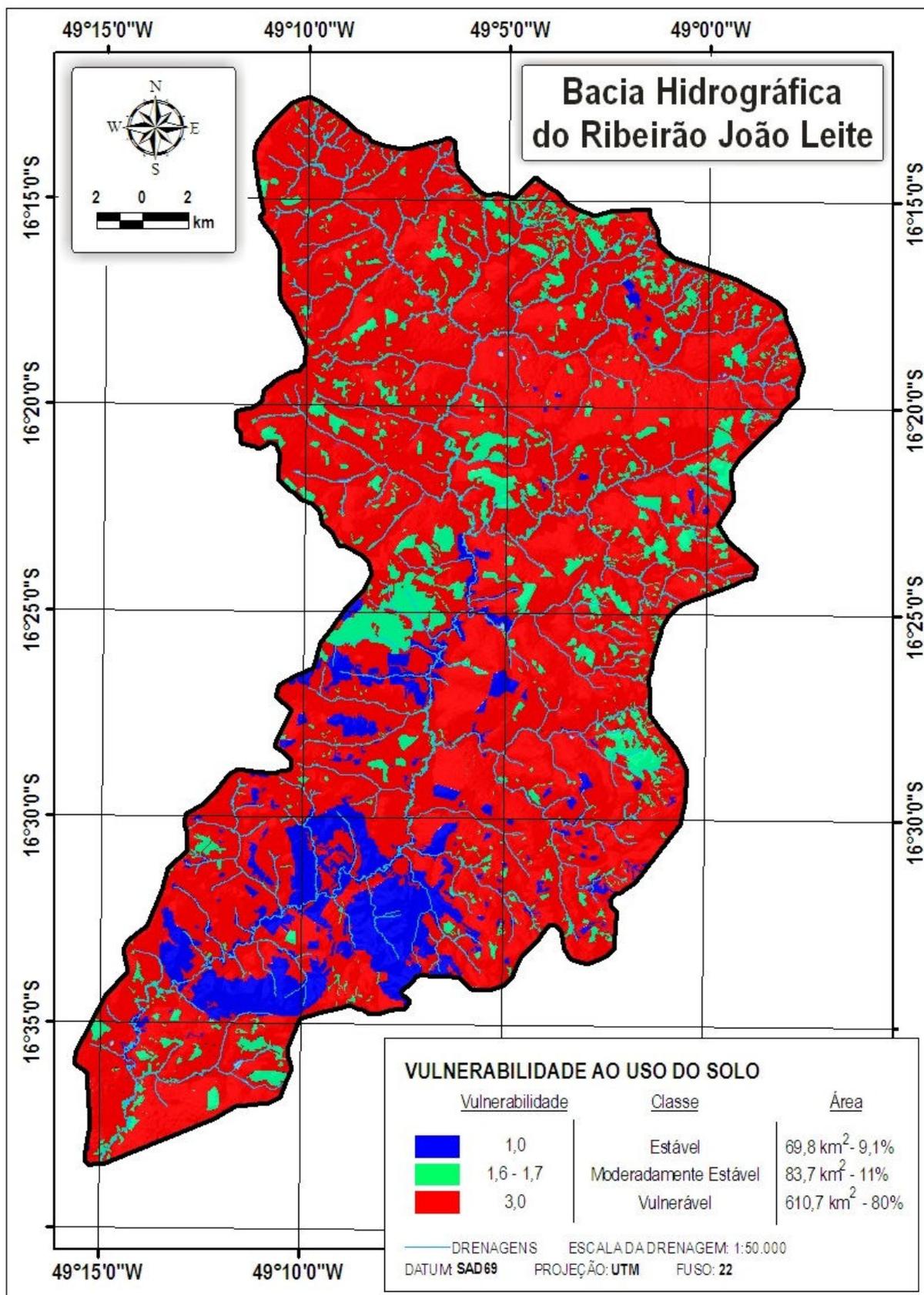


Figura 5.9 – Mapa de vulnerabilidade ao uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

5.5.2 Mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais

Neste trabalho os *buffers* ripários ao redor das drenagens e do futuro reservatório e os *buffers* ao redor de onde se localizam atividades potencialmente poluidoras foram considerados áreas de risco à qualidade das águas superficiais. Nos tópicos a seguir comentase a vulnerabilidade encontrada para cada uma dessas áreas e, em seguida, elas são analisadas em conjunto.

5.5.2.1 Mapa de vulnerabilidade dos *buffers* ripários ao redor das drenagens

Os *buffers* ripários ao redor das drenagens representam aproximadamente 17 % da área da bacia. São cerca de 131 quilômetros quadrados dos quais 70% é considerada de vulnerabilidade muito alta para a qualidade da água superficial. Nessa categoria estão inclusos os seguintes usos da terra: solos expostos, áreas urbanas e agropecuária. Este último uso é o preponderante (mais de 95%). Tal situação reforça o que foi constatado por Papaleo e Martins Júnior (2008) e Rabelo et al (2009) que encontraram valores de fósforo total na água coletada na bacia em total desacordo com os padrões de qualidade de água. Ambos atribuíram esses resultados ao uso intensivo de fertilizantes no manejo agrícola dentro da bacia.

As drenagens são circundadas por 11,3 % de *buffers* ripários classificados como estáveis. Ou seja: apenas 11,3 % das áreas próximas aos mananciais se encontram protegidas por vegetação densa nessa bacia. Os 16,2 % da classe “moderadamente estável” estão associados à presença de floresta estacional semidecidual e savana arborizada, remanescentes de vegetação original menos densa. Bonnet et al. (2007b) ao calcular Índices de Qualidade da Água (IQAs) de 15 pontos ao longo do Ribeirão João Leite entendeu que um dos fatores preponderantes sobre a qualidade da água nessa bacia é o aporte de sedimentos por *run-off* e que este tem relação direta com a sazonalidade pluviométrica e com as condições de cobertura vegetal no *buffer* ripário no entorno das drenagens.

Tal cenário seria complicado em qualquer bacia hidrográfica. No caso da bacia do Ribeirão João Leite, ele é agravado por ela ser utilizada para abastecimento público. A presença de vegetação é um componente chave na zona ripária, uma vez que ela altera o fluxo do escoamento superficial e provoca o seu meandramento, o que diminui a sua velocidade. Conseqüentemente, o tempo de permanência do fluxo é aumentado e isso favorece a infiltração e retenção da água no solo (DUCROS; JOYCE, 2003). Além disso, alguns

trabalhos (SLIVA ; WILLIAMS, 2001; MAYER et al., 2007; LI et al., 2009) apontam que a existência de vegetação ciliar pode melhorar e manter a qualidade da água por filtragem de sedimentos e nutrientes de águas superficiais e subterrâneas através de processos de deposição, absorção, captação pelas plantas e desnitrificação no solo.

A recomposição da vegetação ciliar está prevista nos planos ambientais desenvolvidos pela SANEAGO apenas no entorno do reservatório por se tratar da área de impacto mais direto.

O mapa de vulnerabilidade nos *buffers* ripários ao redor das drenagens da bacia do Ribeirão João Leite encontra-se apresentado na Figura 5.10.

5.5.2.2 Mapa de vulnerabilidade das atividades potencialmente poluidoras

Conforme apresentado no Quadro 4.11, as atividades potencialmente poluidoras encontradas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite são diversificadas, o que por sua vez, resulta em efluentes de composição variada. A localização dos empreendimentos com essas atividades foi retirada do trabalho realizado por Papaleo e Martins Júnior (2008). Esses autores relatam que essas informações foram levantadas via cadastros da Agência Ambiental de Goiás, das prefeituras dos municípios localizados na bacia e da SANEAGO. Eles informam que, na maioria dos empreendimentos pesquisados, não havia conhecimento detalhado sobre as características qualitativas e quantitativas de seus efluentes e ressaltam a necessidade de aprimoramento desses dados em um estudo mais específico. Nem todas as atividades potencialmente poluidoras listadas pelos autores referidos foram incluídas nesse trabalho, pois de acordo com as coordenadas fornecidas pelos mesmos, algumas delas ocorrem fora do perímetro da bacia.

A Figura 5.11 mostra a distribuição de 16 empreendimentos com atividades potencialmente poluidoras – 8 indústrias, 3 frigoríficos, 4 granjas e 1 aterro sanitário – ao longo da bacia e seus respectivos graus de vulnerabilidade. Nota-se que em Anápolis se concentra o maior número de empreendimentos da bacia tendo como base os dados utilizados e que o aterro sanitário de Terezópolis de Goiás localiza-se a aproximadamente 2 quilômetros do futuro reservatório. Tal situação merece atenção, pois o município de Anápolis sequer é abastecido pela bacia e o reservatório situa-se à montante da área urbana de Terezópolis de Goiás. Segundo informações da SANEAGO, encontra-se em fase de construção em

Terezópolis de Goiás uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que contemplará inclusive o tratamento terciário com o intuito de evitar e/ou reduzir que efluentes prejudiciais cheguem ao reservatório.

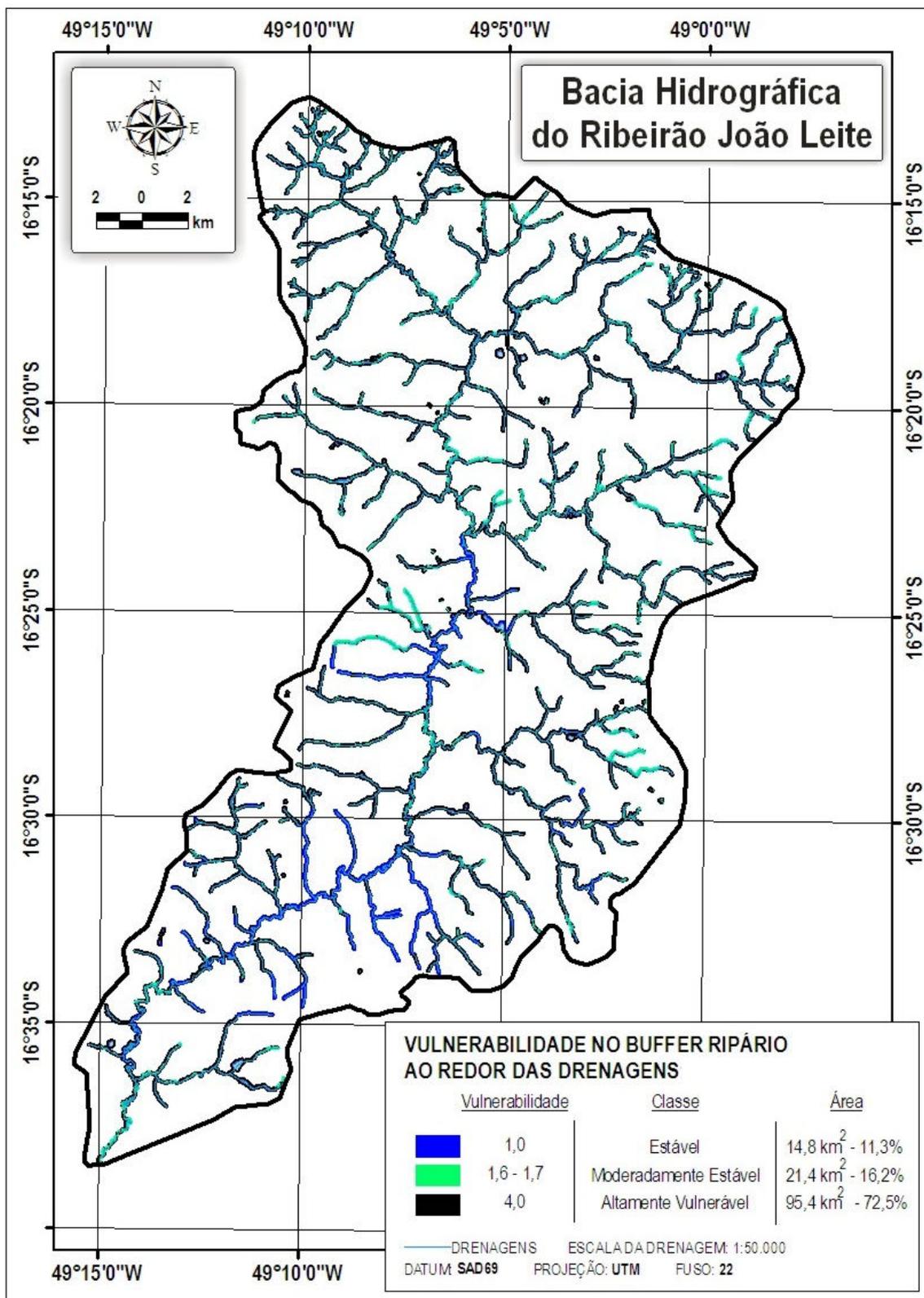


Figura 5.10 – Mapa de vulnerabilidade dos *buffers* ripários (100 metros) ao redor das drenagens da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

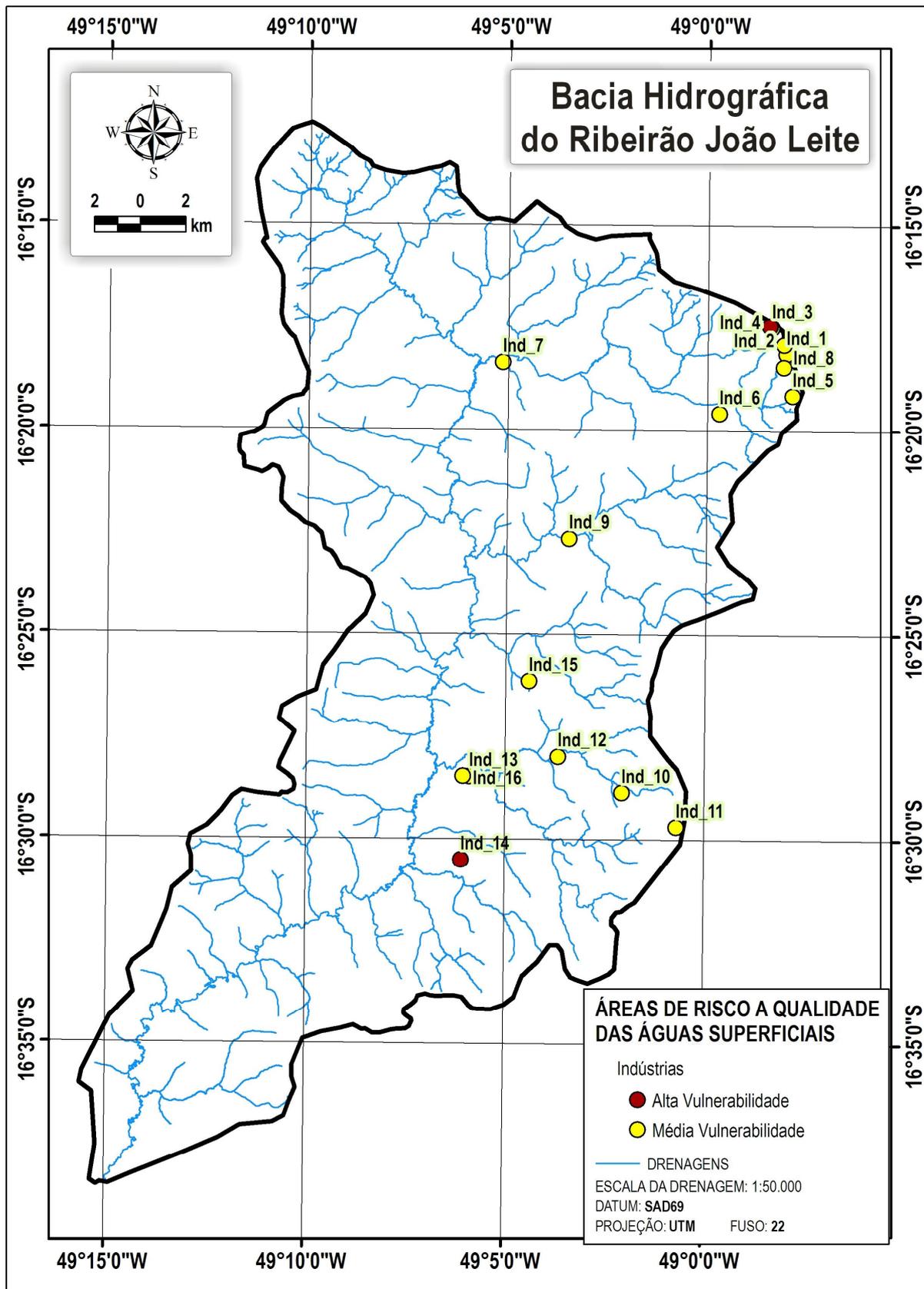


Figura 5.11 – Mapa de vulnerabilidade das atividades potencialmente poluidoras existentes na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

5.5.2.3 Mapa de vulnerabilidade no *buffer* no entorno do futuro reservatório

Embora a barragem no Ribeirão João Leite esteja sendo construída em um local que coincide com a maior concentração de vegetação densa encontrada em toda a bacia, a faixa de 200 metros ao redor de onde está previsto o alcance do lago em sua cota máxima tem como uso preponderante atual (cerca de 60%) a agropecuária, conforme apresentado na Figura 5.12. Além disso, Bonnet et al (2007a) constataram no *buffer* de 200 metros no entorno do futuro reservatório há existência de erosão laminar em cerca de 60% das áreas sob uso agropecuário e exposição de horizontes subsuperficiais do solo em 60% delas.

Um outro ponto que merece atenção é que, de acordo com as projeções de até onde o lago alcançará quando estiver em sua cota máxima, ele será interceptado pela BR-153 em cinco pontos. Segundo Papaleo e Martins Júnior (2008), a BR-153 é a rodovia mais movimentada do Estado de Goiás, inclusive com o tráfego de cargas perigosas. Esses autores afirmam que do mesmo modo que já foi detectada a presença de graxa em análises qualitativas da água dessa bacia, é plausível a preocupação com a presença de metais pesados nessas águas devido à grande geração de resíduos de pneus que podem acabar carreados até os corpos d'água.

Visando a minimização de impactos gerados pela construção da barragem e formação do lago e também a preservação de condições adequadas para a qualidade da água para abastecimento público estão sendo desenvolvidos programas ambientais pela SANEAGO que contemplam os meios físico, biótico, biofísico e antrópico conforme listados no Quadro 5.1.

O mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais da bacia do Ribeirão João Leite (Figura 5.13) reúne os mapas apresentados na Figura 5.9, 5.10 e 5.11. Assim, ele possibilita uma visão geral dessas áreas, sua quantificação, a visualização do grau de vulnerabilidade e a sua distribuição espacial.

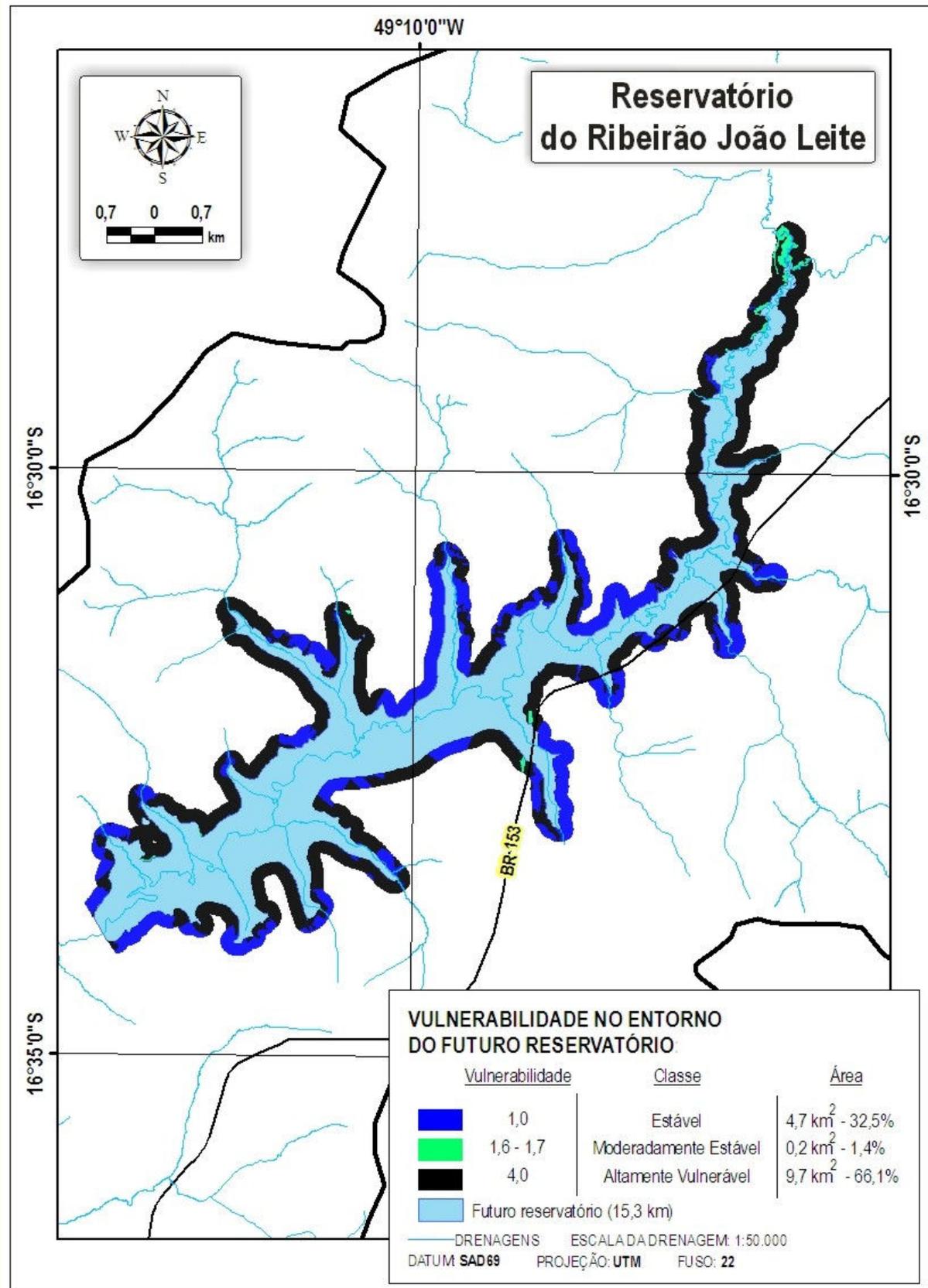


Figura 5.12 – Mapa de vulnerabilidade no *buffer* de 200 metros ao redor do futuro reservatório do Ribeirão João Leite em sua cota máxima.

Programas do Meio Físico
1 – Controle Ambiental na Etapa de Construção 2 – Controle da Erosão, Assoreamento e Poluição do Solo. 3 – Monitoramento do Lençol Freático
Programas do Meio Biótico
1 – Recomposição Florística do Entorno do Reservatório, Curvas de Nível e Preservação de Vertentes 2 – Salvamento da Fauna Atingida 3 - Monitoramento e Manejo da Ictiofauna. 4 – Estudos Limnológicos 5 – Monitoramento da Comunidade Planctônica 6 – Monitoramento de Plantas Aquáticas 7 – Vigilância Epidemiológica e Controle Sanitário de Endemias 8 – Monitoramento e Acompanhamento dos Impactos Gerados pelo Empreendimento
Programas do Meio Biofísico
1 – Implantação de Unidades de Conservação 2 – Desmatamento e Limpeza da Área a ser Inundada e da Faixa de Servidão da Adutora de Água Bruta 3 – Monitoramento do Desvio do Ribeirão João Leite 4 – Enchimento do Reservatório 5 – Descarte de Embalagens de Produtos Perigosos e Controle de Uso de Agrotóxicos na Bacia 6 – Estudos de Capacidade de Assimilação de Resíduos Tóxicos e de Carga Orgânica pelo Reservatório 7 – Recomposição Ambiental nas Áreas das Obras da Barragem, da Tomada D'água e do Caminhamento da Adutora 8 – Retirada, Controle e Neutralização dos Resíduos Ocasionalmente pela Obra
Programas Do Meio Antrópico
1 – Ordenamento Territorial e Uso do Solo no Entorno do Reservatório 2 – Salvamento do Patrimônio Arqueológico 3 – Educação Ambiental, de Interação com a Sociedade e de Ação Institucional para a Conservação Ambiental da Bacia do Ribeirão João Leite 4 – Interferência com a BR-153 e com o Posto do Japonês 5 – Plano de Recreação e Lazer Ecológico 6 – Prevenção de Acidentes com Cargas Perigosas 7 – Saúde e Segurança no Trabalho 8 – Plano de Contingência e Análise de Riscos
Programa do Meio Físico/Antrópico
1 – Relocação da Infra-Estrutura Atingida
Programa do Meio Biótico/Antrópico
1 – Descontaminação de Áreas com Potenciais Fontes de Nutrientes

Quadro 5.1 – Programas Ambientais desenvolvidos pela SANEAGO.

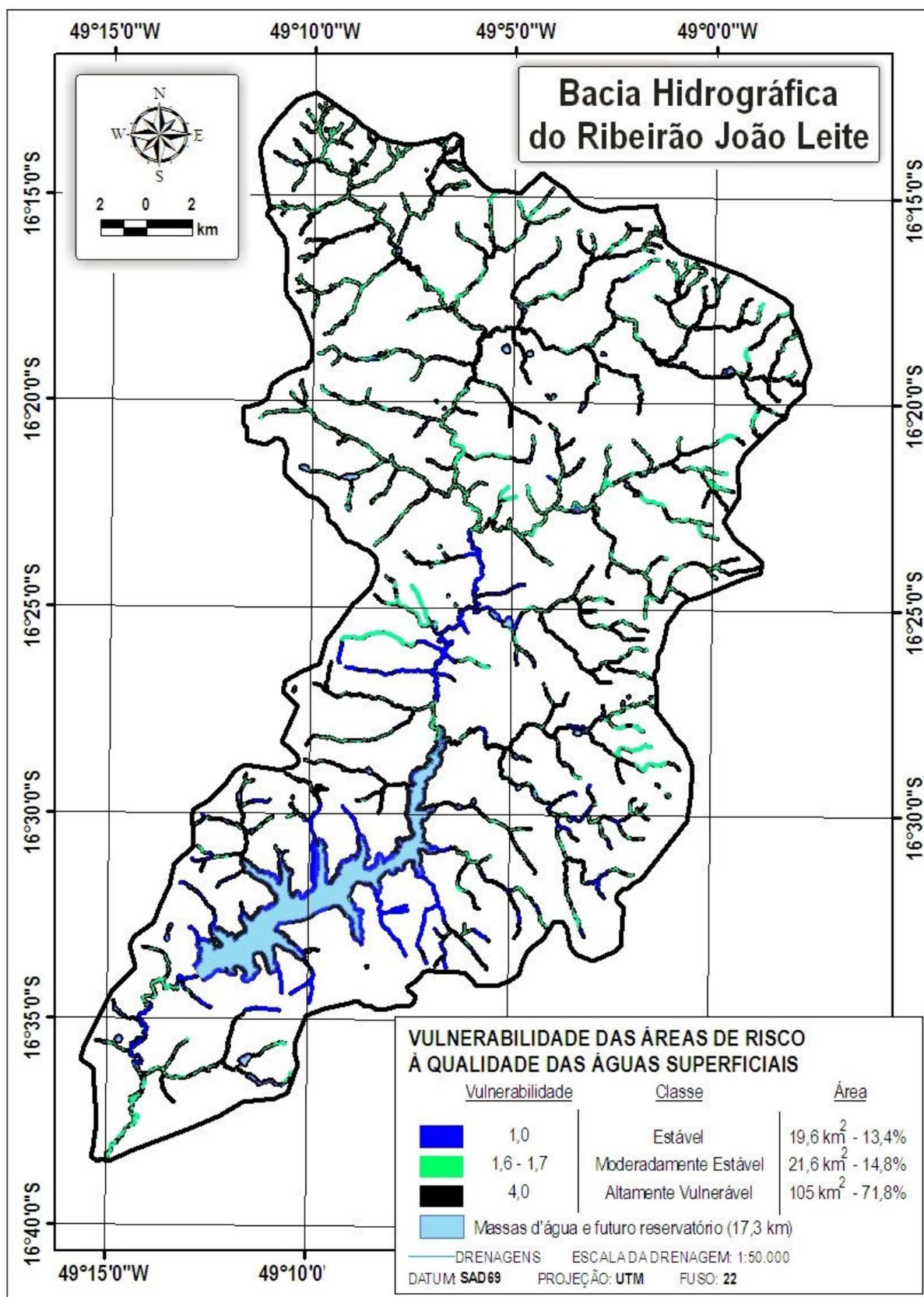


Figura 5.13 – Mapa de vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade das águas superficiais.

O mapa de vulnerabilidade para vegetação/uso do solo/áreas de risco à qualidade das águas superficiais constante na Figura 5.14 é uma síntese dos mapas apresentados nas Figuras 5.9, 5.11 e 5.13. Portanto, ele fornece informações de vulnerabilidade ao uso do solo na bacia em conjunto com a vulnerabilidade das áreas de risco à qualidade da água. Aproximadamente 65% desse mapa é classificado como “vulnerável”. A distribuição dessa classe coincide com a presença do uso agropecuário. A classe “altamente vulnerável” ocupa 13% da bacia e se relaciona com a ausência de vegetação ciliar em torno das drenagens e das massas d’água. As classes “estável” e “moderadamente estável” reunidas representam menos de 20% da área da bacia. Essas classes estão associadas à presença de vegetação remanescente. Esse mapa reforça o quão crítica é a situação dessa bacia em termos de ocupação.

5.6 MAPA DE VULNERABILIDADE PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Tendo como referência os aspectos ambientais e como se dá o uso e a ocupação da bacia do Ribeirão João Leite, o mapa de vulnerabilidade para a qualidade de suas águas superficiais (Figura 5.15) mostra que quase 40% dessa bacia pertence a classe “estável/vulnerável”. Ela se distribui ao longo de toda a bacia e coincide com as áreas onde o uso preponderante é o agropecuário, a declividade é suave, a altitude moderada e os solos são estáveis. As áreas menos vulneráveis (ou seja, as classes “estável”, “moderadamente estável” e “estável/vulnerável”) relacionam-se com a presença de remanescentes de vegetação. Já as áreas vulneráveis coincidem em grande parte com as áreas moderadamente vulneráveis à geomorfologia e, no geral, localizam-se nas bordas da bacia. As áreas altamente vulneráveis coincidem com zonas ripárias (principalmente onde o uso é agropecuário). Observa-se que a maior parte das áreas altamente vulneráveis se encontram a montante da barragem. Portanto, é insuficiente preservar apenas os 200 metros ao redor da barragem. Faz-se necessário investir na restauração e conservação da mata ciliar ao longo de toda a bacia para garantir a qualidade dessa água.

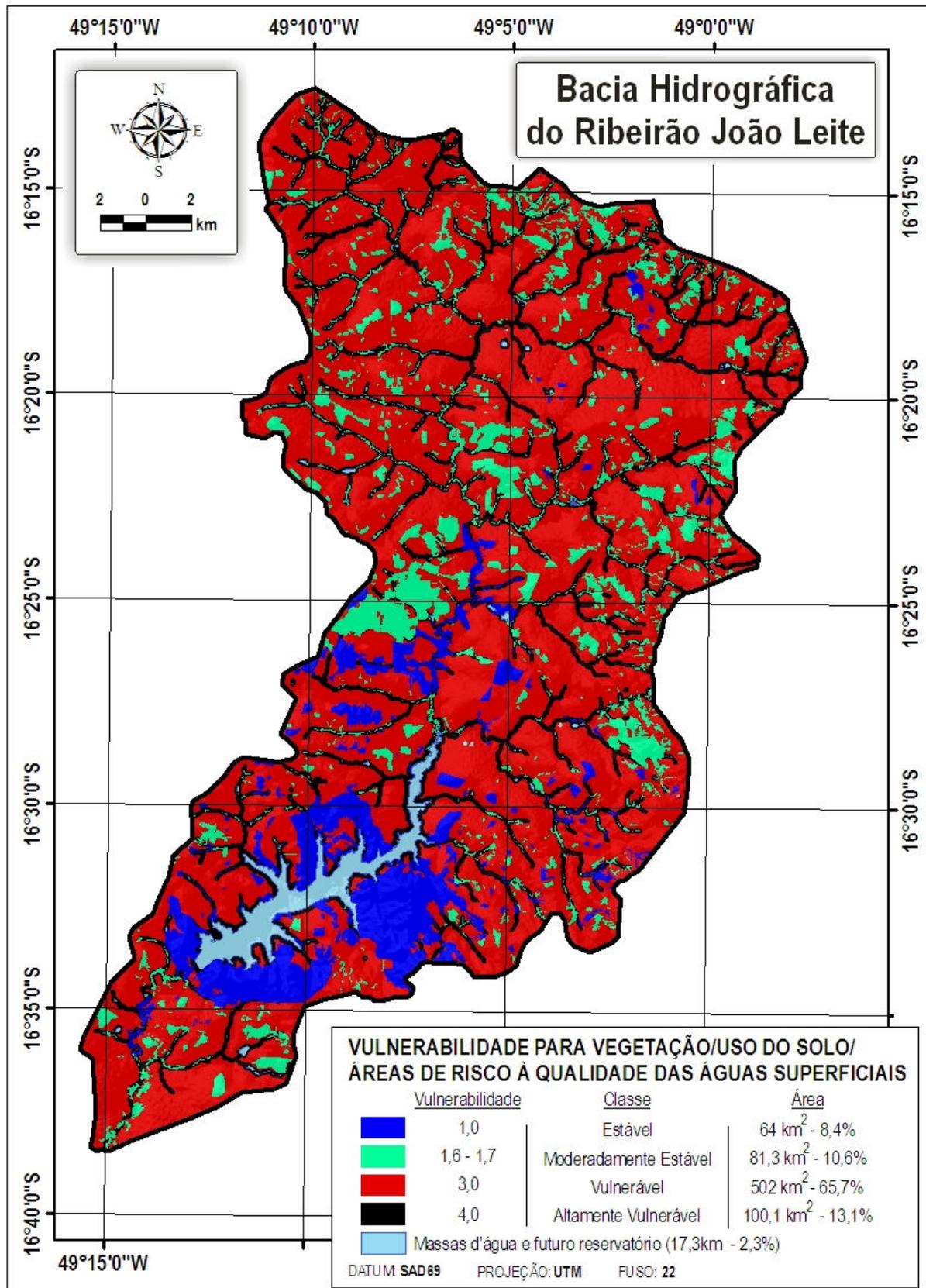


Figura 5.14 – Mapa de vulnerabilidade para vegetação/uso do solo/áreas de risco à qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

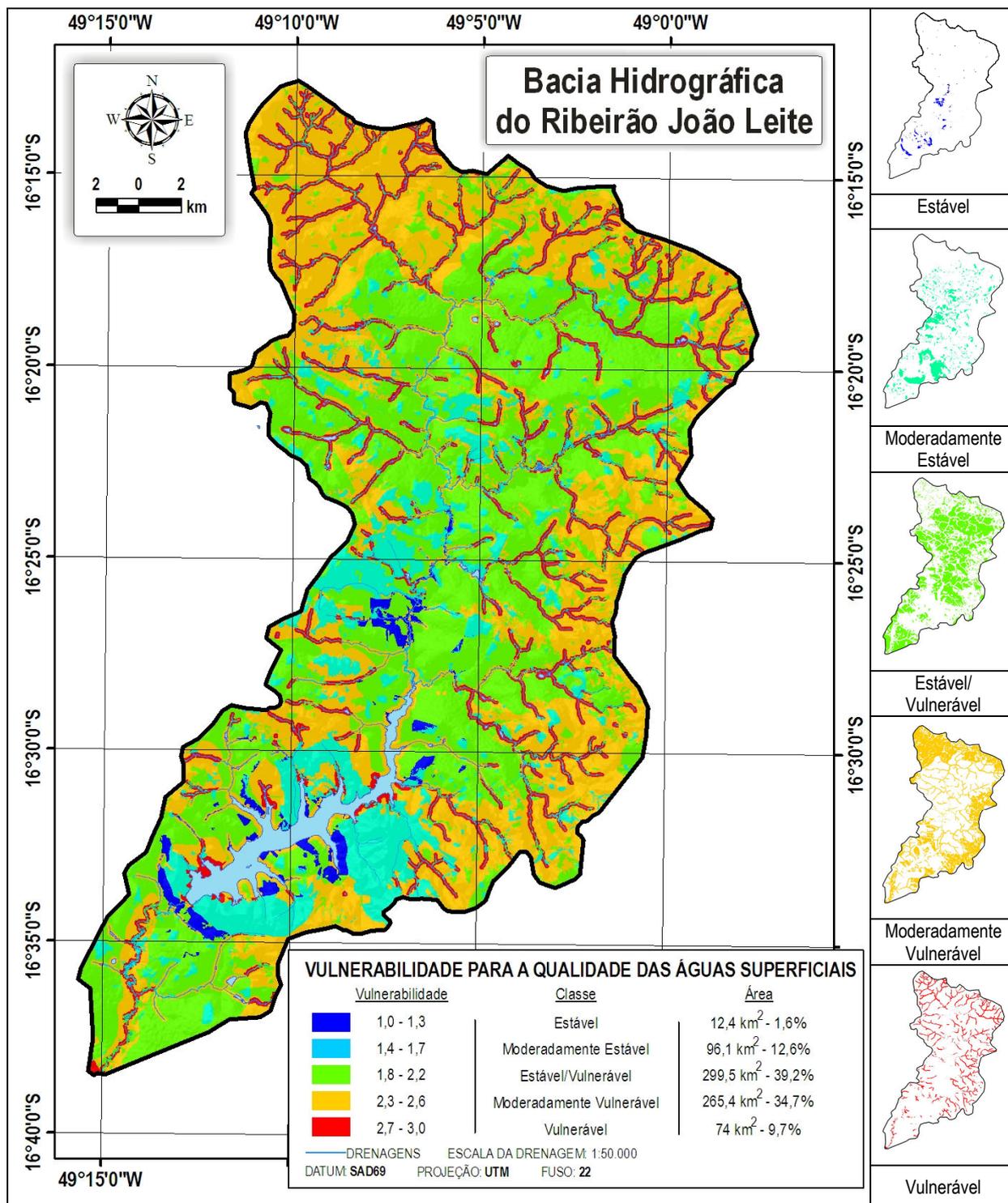


Figura 5.15 – Mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais para a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Foram encontrados alguns trabalhos com resultado de análises qualitativas da água na bacia do Ribeirão João Leite.

Bessa (1999) visando estudar aspectos ecológicos da comunidade periférica do Ribeirão João Leite coletou e analisou amostras de água de 40 pontos desse manancial. Esse autor analisou as seguintes variáveis físico-químicas: temperatura, turbidez, pH, condutividade, sílica, amônio, nitrato, nitrito, fósforo total, ortofosfato, ferro total, cloretos, dureza, cálcio, magnésio, saturação do oxigênio, sólidos totais dissolvidos e em suspensão. Concluiu que os pontos identificados como 9, 10 e 11 foram aqueles cujas características das águas foram as mais inadequadas quando comparadas com os valores indicativos de água de boa qualidade. Esses pontos correspondem a uma área localizada após a confluência do Córrego das Pedras com o Ribeirão Jurubatuba e foram mapeadas neste trabalho como “moderadamente vulneráveis”.

Bonnet et al. (2007b) utilizaram dados mensais de análises físico-químicas produzidas pela SANEAGO referente ao período de dezembro de 2003 e outubro de 2006 e coletada em 15 pontos amostrais no Ribeirão João Leite para entender a influência do uso do solo nos resultados de IQAs. Esses autores encontraram vinculação entre uso do solo e qualidade da água de até 80% nessa bacia. Segundo uma das metodologias utilizada para o cálculo de IQA, um IQA de 23 parâmetros, o melhor índice foi encontrado no ponto 6 e o pior no ponto 3. Já os IQAs calculados tendo como base o Oregon Water Quality Index (OWQI) apontaram os pontos 13 e 14 como os de melhores resultados. No presente trabalho, os pontos identificados como 6, 3, 13 e 14 por Bonnet et al (2007b) correspondem às áreas mapeadas respectivamente como: “futuro reservatório”, “vulnerável”, “futuro reservatório” e “futuro reservatório”.

Rabelo et al. (2009) calcularam os valores do IQA para os três pontos monitorados pela Agência Ambiental na bacia do Ribeirão João Leite. Em média, o ponto com água de melhor qualidade é o ponto intitulado “RMP5”, local identificado como “estável/vulnerável” no mapa de vulnerabilidade a qualidade das águas superficiais produzido neste trabalho. Os pontos identificados como RMP7 e RMP8 no trabalho de Rabelo et al. (2009) foram classificados como “moderadamente vulnerável” e “futuro reservatório” no atual estudo.

5.7 ATIVIDADES DE CAMPO

A seguir, encontram-se o mapa dos trechos percorridos (Figura 5.16), a descrição e fotografias dos pontos visitados.

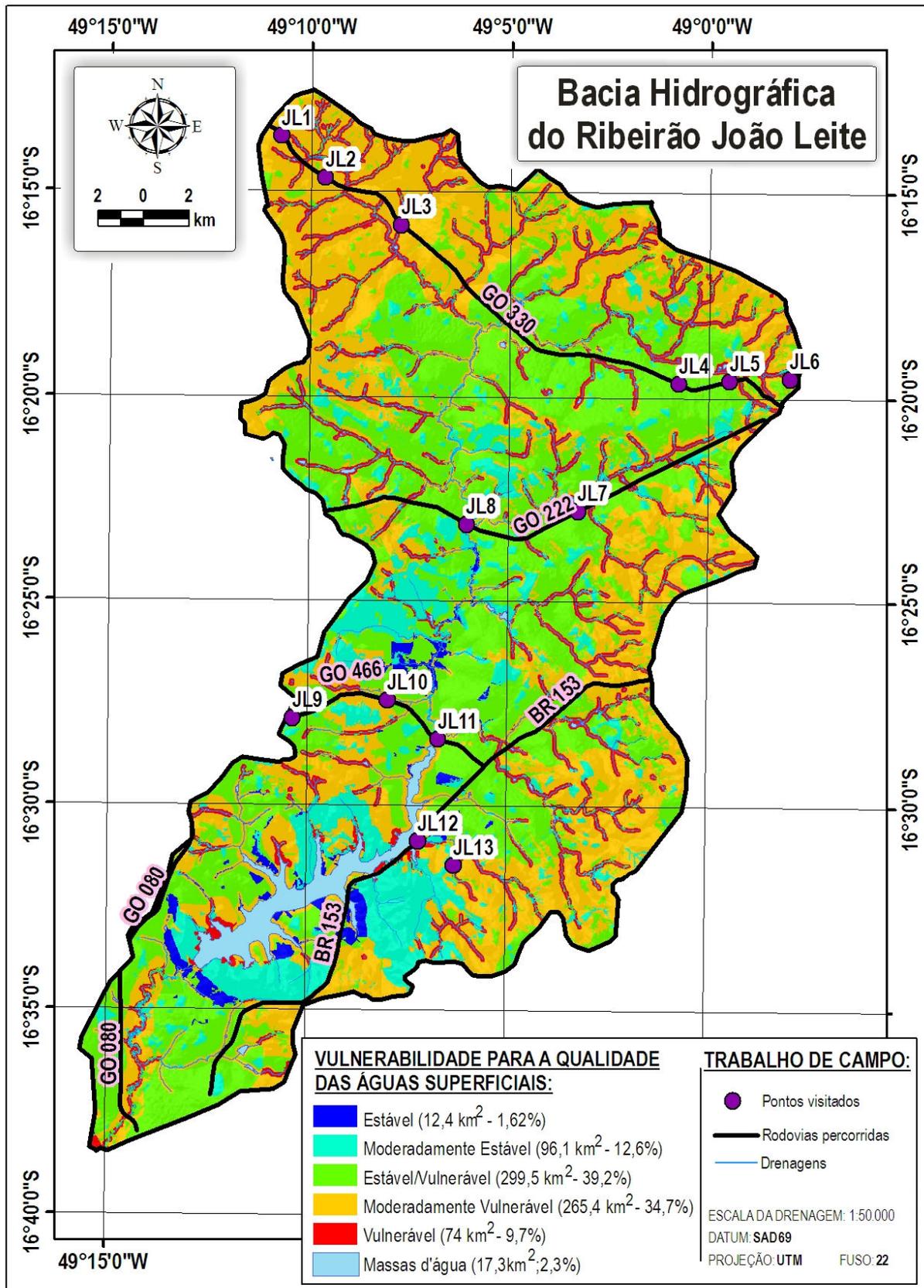


Figura 5.16 – Mapa das rodovias percorridas e dos pontos visitados no trabalho de campo na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite sobreposto ao mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais.

a) Ponto JL1 (Figura 5.17)

Vulnerabilidade: Moderadamente vulnerável.

Coordenadas: 49°10'48,6"W e 16°13'40,9"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Área de nascente, vulnerável a erosão, desmatada para uso agropecuário e interceptada pela rodovia GO-330. Observado início de processo erosivo.



Figura 5.17 – Borda noroeste da bacia do Ribeirão João Leite.

b) Ponto: JL2 (Figura 5.18)

Vulnerabilidade: Moderadamente vulnerável.

Coordenadas: 49°9'40,1"W e 16°14'38"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Área de nascente, vulnerável a erosão, desmatada para uso agropecuário e interceptada pela rodovia GO-330. Observado início de processo erosivo.



Figura 5.18 – Borda noroeste da bacia do Ribeirão João Leite.

c) Ponto: JL3 (Figuras 5.19 a 5.21)

Vulnerabilidade: Vulnerável.

Coordenadas: 49°7'46,252"W e 16°15'46,339"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Área de retirada de argila na beira do córrego. Parte da vegetação original retirada.

Presença de taboa. Drenagem assoreada e interceptada pela rodovia GO-330. Entorno desmatado para uso agropecuário.



Figura 5.19 – Local de retirada de argila próximo a um dos afluentes do Ribeirão João Leite.



Figura 5.20 – Calha que conduz os resíduos da rodovia para um dos afluentes do Ribeirão João Leite.



Figura 5.21 – Fábrica de cerâmica próxima à ponte que intercepta um afluente do Ribeirão João Leite.

d) Ponto: JL4 (Figura 5.22)

Vulnerabilidade: Estável/Vulnerável.

Coordenadas: 49°0'42,5"W e 16°19'38,6"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Vista de Anápolis da rodovia GO-330. Área de borda da bacia do Ribeirão João Leite. Local de declividade acentuada, desmatado, urbanizado e com várias fábricas de cerâmica.



Figura 5.22 – Borda nordeste da bacia do Ribeirão João Leite. Área acidentada e urbanizada (Anápolis).

e) **Ponto: JL5** (Figuras 5.23 e 5.24)

Vulnerabilidade: Vulnerável.

Coordenadas: 48°59'32,1"W e 16°19'31,9"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Início do perímetro urbano de Anápolis. Foto tirada da rodovia GO-330. De um lado, há um local de retirada de argila e do outro, um frigorífico.



Figura 5.23 – Local altamente impactado pela retirada de argila em Anápolis.



Figura 5.24 – Frigorífico em Anápolis.

f) Ponto: JL6 (Figuras 5.25 a 5.27)

Vulnerabilidade: Vulnerável.

Coordenadas: 48°57'57"W e 16°19'28,2"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Borda nordeste da bacia do Ribeirão João Leite. Área de declividade acentuada com nascente urbanizada e ponto de lançamento de esgoto em Anápolis.



Figura 5.25 – Área de nascente urbanizada até a margem em Anápolis.

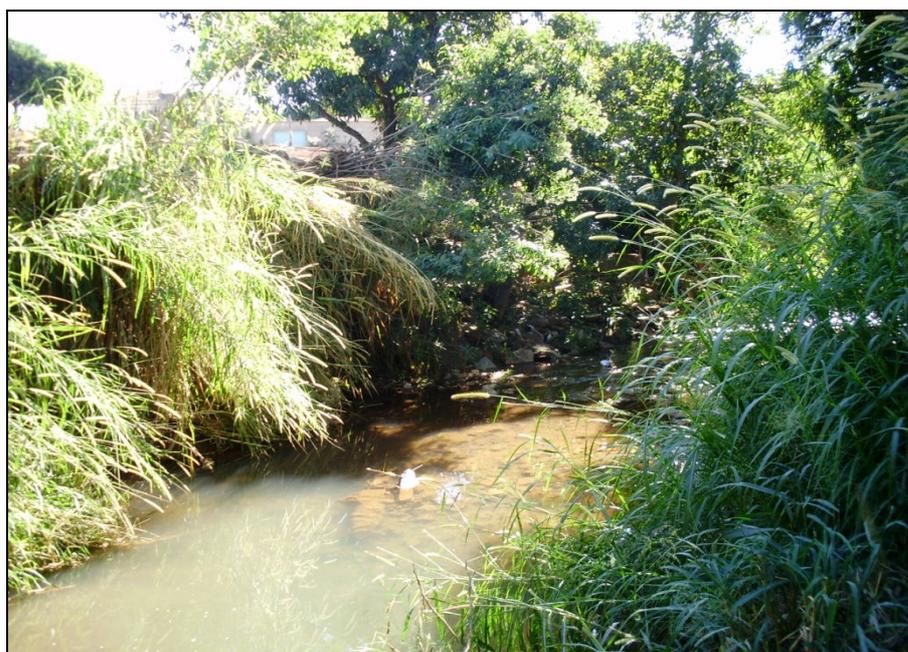


Figura 5.26 – Nascente em área urbanizada em Anápolis.



Figura 5.27 – Lançamento de esgoto em área de nascente em Anápolis.

g) Ponto: JL7 (Figura 5.28)

Vulnerável: Moderadamente Vulnerável.

Coordenadas: 49°3'13,9"W e 16°22'45,5"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Pesque-pague na rodovia GO-222. Pouca vegetação natural remanescente.

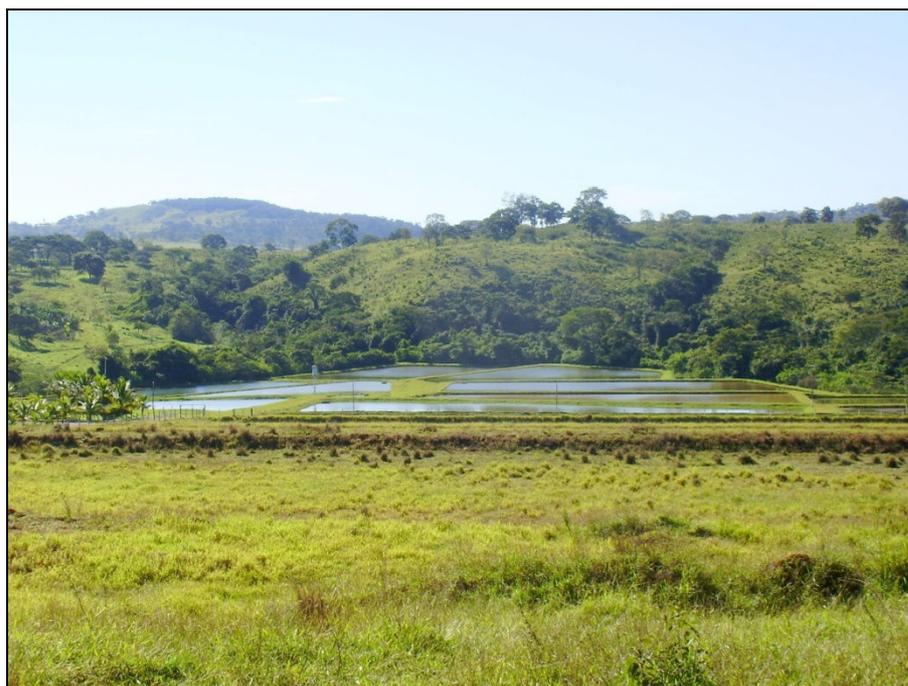


Figura 5.28 – Pesque-pague na beira da rodovia GO-222.

h) Ponto: JL8 (Figuras 5.29 e 5.30)

Vulnerabilidade: Moderadamente Vulnerável.

Coordenadas: 49°6'2,7"W e 16°23'7,7"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Ponte sobre o Ribeirão João Leite na rodovia GO-222. No geral, remanescentes de cerrado acompanham o rio, mas em alguns pontos o desmatamento alcança a margem.



Figura 5.29 – Calha que conduz os resíduos provenientes da rodovia GO-222 diretamente para o Ribeirão João Leite.



Figura 5.30 – Margem parcialmente desmatada do Ribeirão João Leite próxima a ponte localizada na rodovia GO-222.

i) Ponto: JL9 (Figura 5.31)

Vulnerabilidade: Moderadamente Estável.

Coordenadas: 49°10'24,2"W e 16°27'49,1"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Área de vegetação densa cercada por área de pastagem próxima à rodovia GO-466.



Figura 5.31 – Área de vegetação densa cercada por área de pastagem próxima à rodovia GO-466.

j) Ponto: JL10 (Figura 5.32)

Vulnerabilidade: Moderadamente Vulnerável.

Coordenadas: 49°7'57,05"W e 16°27'23,5"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Local de declividade acentuada desmatado até a margem do córrego. Processo erosivo iniciado.



Figura 5.32 – Processo erosivo em estágio inicial em área de declividade acentuada, desmatada até a margem do córrego e utilizada para pastagem.

k) Ponto: JL11 (Figura 5.33)

Vulnerabilidade: Moderadamente Vulnerável.

Coordenadas: 49°6'41,8"W e 16°28'21"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Ponte sobre o Ribeirão João Leite na rodovia GO-466. Presença de vegetação ciliar acompanhando o rio, embora em alguns pontos note-se desmatamento. Local circundado por agropecuária.

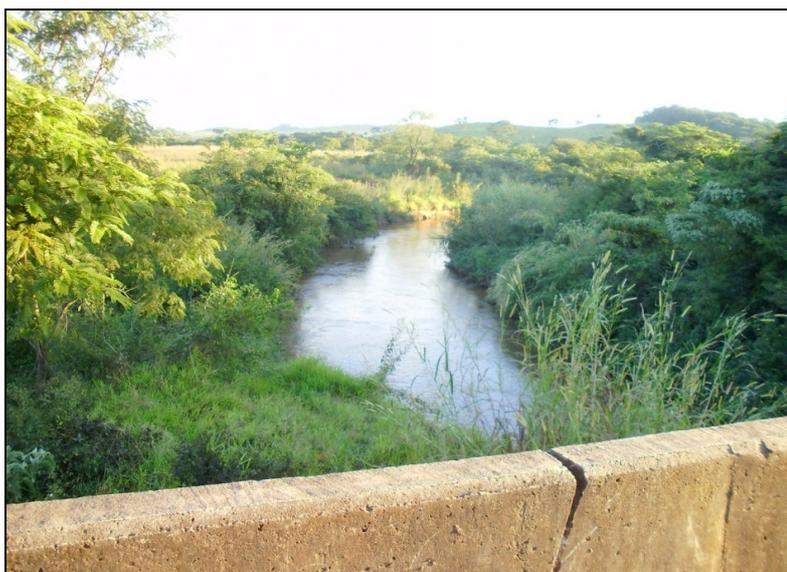


Figura 5.33 – Ribeirão João Leite visto de cima da ponte localizada na rodovia GO-466.

l) Ponto: JL12 (Figura 5.34)

Vulnerabilidade: Vulnerável.

Coordenadas: 49°7'12,8"W e 16°30'48,7"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Vegetação densa interceptada pela rodovia BR-153 próxima a afluente do Ribeirão João Leite.



Figura 5.34 – Vista do Parque Altamira de Moura Pacheco da rodovia BR-153.

m)Ponto: JL13 (Figuras 5.35 e 5.36)

Vulnerabilidade: Vulnerável.

Coordenadas: 49°6'16,7"W e 16°31'25,5"S (SAD69, UTM, Fuso 22).

Descrição: Área de extração de quartzito para venda de pedra britada.



Figura 5.35 – Área de extração de quartzito na bacia do Ribeirão João Leite.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O presente trabalho teve como objetivo identificar onde se situam as áreas que reúnem características que podem levar à deterioração da qualidade da água superficial da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Para tanto, foram utilizados como fonte dados extraídos da cartografia, de um MDE e de uma imagem orbital. A organização desses dados em um SIG possibilitou o cruzamento dessas informações e a obtenção de um mapa que as sintetiza, o que evidencia a eficiência da utilização de geoprocessamento para auxiliar no diagnóstico de problemas ambientais.

Uma das contribuições do presente trabalho foi adaptar uma metodologia de produção do mapa de perda de solos para a geração do mapa de vulnerabilidade para a qualidade das águas superficiais de uma bacia de abastecimento público. No caso da área de estudo desse trabalho, a construção desse mapa contemplou a adoção do tema “uso do solo/cobertura vegetal/áreas de risco à qualidade das águas” como o de maior peso para geração dos valores finais de vulnerabilidade. Também destaca-se que a utilização de valores de vulnerabilidade mais rigorosos para as áreas de risco à qualidade das águas mostrou-se de fundamental importância para a composição do mapa final. Ressalta-se ainda que o tema geologia, cujos valores foram classificados como preponderantemente estáveis, influenciou no aparecimento de valores mais baixos de vulnerabilidade no mapa final.

Uma consideração importante a ser feita é que a construção de mapas de vulnerabilidade para a qualidade das águas visa fornecer subsídios técnicos nos quais se podem apoiar as políticas de proteção a esses recursos. Ressalte-se, entretanto, que embora esse tipo de estudo baseie-se nas melhores informações disponíveis à época que foram produzidos, o quadro das atividades potencialmente poluidoras detalhado e atualizado será sempre necessário antes de se traçarem e se iniciarem a implantação dessas políticas.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam como relevantes para a preservação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite os procedimentos listados a seguir:

- a) A recuperação da vegetação ciliar nos *buffers* de 100 metros ao redor das drenagens e no *buffer* de 200 metros no entorno do futuro reservatório classificados como “altamente vulneráveis”;
- b) A manutenção da vegetação ciliar nos *buffers* de 100 metros no entorno das drenagens e no *buffer* de 200 metros circundante ao futuro reservatório mapeados como “estável” e “moderadamente estável”;

- c) A adoção de práticas conservacionistas de manejo de solo – principalmente nas bordas dessa bacia (área classificada como “moderadamente vulnerável”);
- d) O controle e o tratamento dos efluentes oriundos das áreas urbanas presentes nessa bacia.

É notório que o gerenciamento dessa bacia requer uma ação integrada das diversas escalas do poder público. Afinal, quase um quarto da área total da bacia do Ribeirão João Leite está inserida no município de Anápolis. Este município possui parte de sua área urbana localizada na referida bacia, mas é abastecido por manancial de outra bacia. Além disso, o reservatório que está sendo construído situa-se a jusante da área urbana do município de Terezópolis de Goiás que está totalmente inserido nessa bacia e que não se beneficiará diretamente desse barramento.

Como complemento para o refinamento do mapeamento apresentado no presente trabalho, indica-se a atualização e o cadastramento das atividades potencialmente poluidoras existentes na bacia do Ribeirão João Leite. Para trabalhos futuros sugere-se uma adaptação similar à realizada neste trabalho utilizando como base os modelos de Ross (1994) para análise da fragilidade ambiental. Tal trabalho poderia, inclusive, comparar qual dos três modelos produziria o mapa mais próximo da realidade encontrada em campo para a bacia em estudo.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, A. A. **Avaliação do potencial de risco de contaminação das águas superficiais da microbacia do Rio João Leite por agrotóxicos**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.
- AL-ADAMAT, R. A. N.; FOSTER, I. D. L.; BABAN, S. M. J. Groundwater vulnerability and riskmapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. **Applied Geography**, v. 23, p. 303–324. 2003.
- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHER, J. H.; PETTY, R. J.; HACKETT, G. **DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings**. EPA 600/2-87-035; 1987. Ada, Oklahoma. 622 p.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogoimgs/Panorama/ANAIQA.swf>>. Acesso em 10 fev. 2008.
- ASSAD, E. D. Dados Meteorológicos Básicos Utilizados no Projeto. **Impacto das variações do ciclo hidrológico no zoneamento agroclimático brasileiro, em função do aquecimento global**. Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/cthidro/dbasicos.php>>. Acesso em 18 fev. 2009.
- AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 9 ed. 332 p.
- AZRINA, M. Z.; YAP, C. K.; ISMAIL, A. R.; ISMAIL, A.; TAN, S. G. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 64, n. 3, p. 337-347. 2006.
- BABIKER, I. S.; MOHAMED, A. A. M.; HIYAMA, T.; KATO, K. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. **Science of the Total Environment**, v. 345, p. 127– 140. 2005.
- BARACUHY, J. G. de V.; KURTZ, S. M. de J. M.; KURTZ, F. C.; DUARTE, S. M. A.; LIMA, V. L. A.; ROCHA, J. S. M.; DANTAS NETO, J. Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.159-164, 2003.
- BARBOSA, F. A. R.; PAULA, J. A. de; MONTE-MÓR, R. L. de M. A Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise e Realidade de Integração Disciplinar. In: **Biodiversidade, População e Economia: uma região de Mata Atlântica**. CEDEPLAR/ECMVS/UFMG, 1997. Disponível em <<http://ideas.repec.org/h/cdp/biodiv/cap006.html>>. Acesso em 15 Abr. 2008.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um nitossolo háplico aluminico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 541-549, 2007.

BESSA, M. R. R. N. **Aspectos ecológicos da comunidade perifítica do Ribeirão João Leite (Goiás) durante um período de estiagem**. 1999. 162 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

BONNET, B. R. P.; BARROS, R. G.; ANTUNES, E. A. **Recomposição florística da faixa de proteção do reservatório da barragem do Ribeirão João Leite: Projeto Executivo**. Goiânia: Saneago/Consórcio Enerconsult-Hidroconsult-Logos. Relatório Técnico. 35 p. 2007a.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. L. Sistema de reserva legal extra-propriedade no bioma cerrado: uma análise preliminar no contexto da bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 58/02, ago. 2006.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; PONTES, M. N. C. **Impacto do uso do solo sobre a qualidade da água em uma bacia hidrográfica do Cerrado Brasileiro: uma análise segundo diferentes domínios espaciais e temporais**. 2007. Artigo integrante de Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007b.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Ampliação de ambientes ripários como alternativa às reservas legais: conciliando política florestal e conservação dos recursos hídricos no bioma Cerrado. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.27, n.1, p.97-115, edição especial, 2007c.

BRAGA, A. C. de O. Estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos: uma contribuição a partir da resistividade e condutância longitudinal. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v.26, n.1, p.61-68, 2008.

CAMPOS, J. N. B.; NETO, J. F. V.; MARTINS, E. S. Vulnerabilidade de sistemas hídricos: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.2, n.2, p. 21-44, 1997.

CASSETI, V. Concentração de sedimentos em suspensão no baixo Ribeirão João Leite-Goiânia-GO. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 9 e 10 (1-2), p. 71-97, jan./dez., 1989/90.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari – SP**. 2000. 211 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COUTO, M. dos S. **Avaliação dos riscos potenciais à qualidade das águas superficiais da Bacia do Arroio Sapucaia utilizando técnicas integradas de SIG e Sensoriamento Remoto**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S. de. PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo.** São José dos Campos: Inpe, 2004. INPE-11237-RPQ/760.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S. de., HERNANDEZ FILHO, P., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V., BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: Inpe, 2001. INPE-8454-RPQ/722.

CIVITA, M.; FORTI, O.; MARINI, P.; MICHELI, L.; PICCINI, L.; PRANZINI, G. **Carta de la vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi delle Alpi Apuane.** Mem. explic. Monografia GNDCl. – CNR. n. 399, 1990, Firenze, 56p.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S. de., PALMEIRA, A. F., SILVA, E. F. da. Zoneamento ecológico-econômico. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 285-318.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de. **Imagens fotográficas derivadas de mnt do projeto srtm para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia.** São José dos Campos: Inpe, 2004. INPE-11238-RPQ/761.

de VITO, M. **Avaliação do risco de contaminação de mananciais hídricos para o abastecimento: o caso da Bacia da Barragem do Descoberto.** Dissertação (Mestrado em em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 3. ed. São Paulo: Signus, 2007. 192 p.

DIAMANTINO, C.; HENRIQUES, M. J.; OLIVEIRA, M. M.; FERREIRA, J. P. L. **Methodologies for pollution risk assessment of water resources systems.** Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology. Guimarães, Portugal, jul. 2005.

DIAS, L. S. de O.; ROCHA, G. A.; BARROS, E. U. A. de.; MAIA, P. H. P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Bahia Análise & Dados.** Salvador, v. 14, n. 2, p. 265-271, set. 2004.

DUCROS, C. M. J.; JOYCE, C. B. Field-Based Evaluation Tool for Riparian Buffer Zones in Agricultural Catchments. **Environmental Management.** New York, v. 32, n. 2, p. 252-267, 2003.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. de.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. de F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 399-409, out./dez. 2007.

FOSTER, S. S. D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy.** Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, Países Baixos, 1987.

FOSTER, S. S. D.; R. HIRATA. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.** WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru. 1988.

Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020059.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2009.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Mundial, Washington, D.C., 2006.

FUSHITA, A. T. **Análise da fragmentação de áreas de vegetação natural e semi-natural do município de Santa Cruz da Conceição, São Paulo, Brasil**. 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 31 mar. 2008.

LabGis. Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). **Conceitos de SIG**. Disponível em: <<http://www.fgel.uerj.br/labgis/>>. Acesso em: 04 abr. 2008.

LI, S.; GU, S.; TAN, X.; ZHANG, Q. Water quality in the upper Han River basin, China: The impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. **Journal of Hazardous Materials**. v. 165, p. 317–324, 2009.

MAKINODAN, D. Y.; COSTA, S. M. F. da. Estudo das características socioeconômicas e ambientais da microbacia do Rio Comprido. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 14., 2004. Caxambú: ABEP, 2004. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/site_eventos_abep/PDF/ABEP2004_95.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2008.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do departamento de geografia**, USP, São Paulo, n.14, p. 39-46, 2001.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.29, n.1, p.8-18, jan./mar. 2009.

MAYER, P. M.; REYNOLDS JR, S. K., McCUTCHEN, M. D.; CANFIELD, T. J. **Journal of Environmental Quality**. v. 36, p. 1172–1180, 2007.

MENDES, C.A.B., CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MENEZES, L. F. de.; SILVA, T. C. da.; GADÊLHA, C. L. M.; FIGUEIREDO, E. C. T. P. de. Elaboração de mapa de vulnerabilidade dos Aquíferos Superiores no município de João Pessoa – PB, através de Técnicas de Geoprocessamento. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 30, n. 1, p. 123-132, jun. 2009.

MIMI, Z. A.; ASSI, A. Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers: A case study. **Journal of Hydrology**. n. 364, p. 298–310, 2009.

- MONTAÑO, M.; OLIVEIRA, I. S. D. de; RANIERI, V. E. L.; FONTES, A. T.; SOUZA, M. P. de. O zoneamento ambiental e a sua importância para a localização de atividades. **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**. n. 6, p. 49– 64, jun. 2007.
- NASCIMENTO, M. A. L. S. do. **Bacia do rio João Leite: influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar**. 1998, 176 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1998.
- NASCIMENTO, M. A. L. S. do. Erosões urbanas em Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, n. 14, p. 77-101, jan./dez. 1994.
- NASCIMENTO, M.A.L.S. do; SALES, M. M. **Diagnóstico das erosões urbanas no município de Goiânia**. Convênio DERMU-UFG. Relatório Final. Goiânia, 2003.
- NOBRE, R.C.M., ROTUNNO FILHO, O.C., MANSUR, W.J., NOBRE, M. M. M., COSENZA, C. A. N. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 94 p. 277–292, 2007.
- PAIVA, A. G. **Gestão de recursos hídricos: uma análise dos planos da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá entre 1994 e 1997**. 1999. 278 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Saneamento Ambiental, Universidade Mackenzie, São Paulo, 1999.
- PAPALEO, A., MARTINS JÚNIOR, O. P; (Coord.). **Goiânia terceiro milênio: modelagem e estudo de viabilidade com vistas à estruturação de empreendimento em Goiânia**. Diagnóstico final. jul, 2008.
- PIRES, J. S. R. **Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento do ambiente rural: abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antonio – SP**. 1995. 166 f. Tese (Doutorado em Ciências: Ecologia e Recursos Naturais) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.
- RABELO, C. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, J. V. G.; STONE, L. F.; SILVA, S. C.; GOMES, M. P. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 172-187, jul. 2009.
- RESENDE, I. L. de M.; ARAÚJO, G. M. de; OLIVEIRA, A. P. de A.; OLIVEIRA, A. N.; ÁVILA JÚNIOR, R. S. de. A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 9-17, jan/mar. 2004.
- RIBEIRO, C. A. A. S., SOARES, V. P., OLIVEIRA, A. M. S. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore (Brazilian Journal of Forest Science)**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 203-212, mar./apr. 2005.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Tipos de vegetação do bioma Cerrado**. Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_23_911200585232.html> Acesso em: 15 abr. 2009.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 8, p. 63–74, 1994.

SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, R. S. B; BRITES, R. S. **Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás**. In: FERREIRA JR. L. G (Org.) A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado (pp. 91-106). 1. ed. Goiânia : Editora da Universidade Federal de Goiás, 2008. 240p.

SANTOS, I. M.; ZEILHOFER, P. Modelagem hidrológica integrada em um sistema de informação geográfica. **Revista da Comissão Brasileira de Geodésia**. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2005/04.2/SZ-2005.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2008.

SAUNDERS, W. **Preparation of DEMs for use in environmental modeling analysis**. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE. San Diego: 1999. Disponível em: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap802/p802.htm>>. Acesso em: 10 maio 2009.

Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás. (**SEPLAN-GO**). Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/>>. Acesso em 10 fev. 2009.

SILVA. S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p. 842-847, 2006.

Sistema de Informações Hidrológicas (**HidroWeb**). Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> . Acesso em 18 fev. 2009.

Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (**SIEG**). Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em 20 set. 2009.

SLIVA, L.; WILLIAMS, D. D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. **Water Research**. v. 35, p. 3462–3472, 2001.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977. 97p.

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. J. S. P. Qualidade da água subterrânea. Porto Alegre: IPH/UFRGS; Recife: CT/UFPE, 2003. 53 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **A Água**. Série: Folha Explica. 1.ed. São Paulo: PUBLIFOLHA, 2005. 128 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; PARESCHI, D. C.; LUZIA, A. P. ; VON HAELING, P. H.; FROLLINI, E. H. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos avançados**, USP, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.

VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 72-104.

VALERIANO, M. de M. Mapeamento da declividade em microbacias com sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 303-310, 2003.

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

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

YARROW, M. M.; TIRONI, A.; RAMÍREZ, A.; MARÍN, V. H. An applied assessment model to evaluate the socioeconomic impact of water quality regulations in Chile. **Water Resources Management**, v. 22, p. 1531-1543, 2008.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)