



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
- MESTRADO -

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO LITORAL SUL PARAIBANO**

André Lucena Pires

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa - Paraíba
Julho - 2015



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
- MESTRADO -

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO LITORAL SUL PARAIBANO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

André Lucena Pires

Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

João Pessoa - Paraíba

Julho - 2015

P667a Pires, André Lucena.
Análise da vulnerabilidade ambiental das bacias
hidrográficas do litoral sul paraibano / André Lucena Pires.-
João Pessoa, 2015.
172f. : il.
Orientador: Tarciso Cabral da Silva
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Engenharia civil e ambiental. 2. Indicadores ambientais.
3. Bacia hidrográfica. 4. Vulnerabilidade.

UFPB/BC

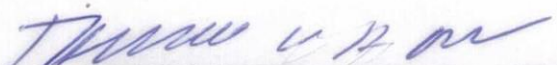
CDU: 624.504(043)

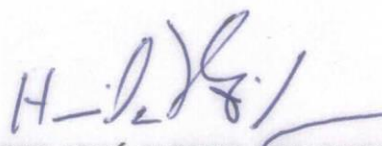
**"ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO
LITORAL SUL PARAIBANO"**

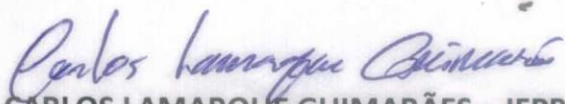
ANDRÉ LUCENA PIRES

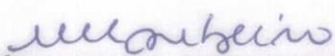
Dissertação aprovada em 13 de julho de 2015

Período Letivo: 2015.1


Prof. Dr. TARCISO CABRAL DA SILVA – UFPB
Orientador


Prof. Dr. HAMÍLCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA – UFPB
Examinador Interno


Prof. Dr. CARLOS LAMARQUE GUIMARÃES – IFPB
Examinador Externo


Prof. Dr. MÁCIA MARIA RIOS RIBEIRO – UFCG
Examinadora Externa

João Pessoa/PB
2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar meu caminho sempre colocando as pessoas certas nos momentos necessários ao longo dessa jornada, dando-me saúde e tranquilidade para desenvolver os trabalhos durante essa etapa da minha vida.

À Universidade Federal da Paraíba que através da graduação, do mestrado, de todos os projetos, monitorias e trabalhos acadêmicos realizados me proporcionou uma trajetória acadêmica rica e promissora.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental dos quais fui aluno, por todo conhecimento, trabalhos de campo e experiências recebidos nos últimos dois anos. Agradeço em especial ao professor Hamílcar Filgueira do qual fui aluno do PIBIC ainda na graduação, que me acompanhou durante esse período sempre me motivando.

Agradeço em especial ao professor Tarciso Cabral da Silva, pelo conhecimento transmitido, pela pesquisa desenvolvida, por todos seus ensinamentos e paciência.

À minha mãe, Vânia Lima, por todo apoio, dedicação e amor, pelas palavras de incentivos em toda minha caminhada.

Ao meu pai, Adauto Pires, por todo amor e carinho, que mesmo distante sempre apoiou as minhas decisões.

Agradeço em especial à minha namorada Andréa Cavalcanti, por toda ajuda e com todo seu conhecimento e experiência me ajudou a desenvolver esse trabalho.

Agradeço aos meus irmãos Ana Carolina Pires e Daniel Pires pelo companheirismo e motivações em relação à carreira profissional e acadêmica.

À minha avó, Graça Lucena, com toda sua experiência e auxílio com seus ensinamentos sobre como formatar e organizar trabalhos acadêmicos.

Aos meus tios Evelyne Lucena, Cezar Candeias, Virgínia Lucena, Akira Oba e Dimas Lucena, por todo incentivo, carinho e motivação para continuar trilhando esse caminho e pelo amor transmitido em todos os momentos.

Aos meus amigos e colegas do mestrado, por todos os momentos acadêmicos e informais vividos dentro e fora da universidade, em especial aos mais atuantes: Eliamin Rosendo, Gabriela Soares, Vagner Félix, Cristhiane Fernandes e Luís Romero Barbosa. Agradeço as funcionárias da Coordenação do PPGECAM, Sara e Mirian, pelo apoio nos momentos difíceis e paciência para resolver as eventuais pendências.

RESUMO

As bacias hidrográficas da zona costeira Sul do estado da Paraíba são consideradas essenciais, pois nelas se encontram os principais mananciais utilizados para o abastecimento da Região Metropolitana de João Pessoa, nas bacias dos rios Marés, Mumbaba e Gramame e Mamuaba. Mais ao sul foram planejadas mais quatro captações de cursos d'água na bacia do rio Abiaí-Papocas pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba, visando a ampliação do sistema de abastecimento em operação. Essas bacias hidrográficas localizam-se nas mesorregiões da Mata Paraibana e Pernambucana, onde a agricultura, principalmente a cultura da cana-de-açúcar, é a mais expressiva entre os usos do solo. É desejável que essas bacias hidrográficas contribuintes aos mananciais apresentem as melhores condições relativas às propriedades do solo e do seu uso, no sentido de manter a capacidade de produção hídrica e a qualidade das águas. A análise da vulnerabilidade das bacias considerando as ameaças advindas do antropismo, torna-se indispensável haja vista o leque dessas ameaças representadas principalmente pelo uso inadequado do solo. Reconhecendo a importância de se realizar estudos diagnósticos sobre as condições ambientais de bacias hidrográficas relativas ao uso do solo, incluindo suas propriedades, nessa pesquisa é proposta a construção e aplicação de um sistema de indicadores que represente espacialmente os diversos níveis de vulnerabilidade. O Sistema para Avaliação da Vulnerabilidade de bacias hidrográficas com base em Indicadores de Uso e propriedades do Solo (SAVIUS), proposto nesta pesquisa, abrange a quantidade de áreas florestadas, áreas de matas ciliares dos rios; quantidade de áreas urbanas e indicadores que agregam mais de uma variável como a propensão ao risco à perda de solo e de ocorrência de conflitos de uso. Definiu-se uma escala de classificação da vulnerabilidade com valores variando de zero a um composta por cinco classes que variam de Muito Baixa a Muito Elevada. A análise resultante da aplicação do sistema proposto de indicadores de vulnerabilidade às bacias contribuintes aos mananciais estudados apontou um percentual de vulnerabilidade Elevada e Muito Elevada em 41,66% dos indicadores calculados. Por outro lado, foi atingido o percentual de 30,56% dos indicadores das bacias com a classificação vulnerabilidade Baixa ou Muito Baixa. A vulnerabilidade classificada como Média atingiu o percentual de 27,78 %. Os resultados das aplicações realizadas para as sete bacias demonstram as possibilidades do sistema que se destina a apoiar os gestores no processo de conhecimento das condições ambientais das bacias hidrográficas e no monitoramento e implementação de programas de gestão do território.

PALAVRAS-CHAVE: indicadores ambientais, vulnerabilidade, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The catchment areas of coastal southern state of Paraíba are considered essential, because they are the main sources that are used to supply the metropolitan region of João Pessoa, in the basins of rivers Marés, Mumbaba and Gramame and Mamuaba. Four more captations of streams in the basin of Abiaí-Papocas river were planned, further south, by the Water and Sewerage Company of the State of Paraíba aimed at expanding the supply system that is in operation. These watersheds are located in the meso-regions of Paraíba and Pernambuco Forest, where agriculture, especially the cultivation of sugarcane is the most significant among land uses.. It is desirable that these watersheds, that contributes to the sources of water, presents the best conditions for soil properties and their use in order to maintain the water production capacity and your quality. The analysis of the vulnerability of basins considering the threats arising from the anthropism, it is essential in view of the range of these threats posed mainly by inappropriate land use. Recognizing the importance of conducting diagnostic studies on environmental conditions watershed relating to land use, including the properties of the soil, this research is proposed to build and apply a system of indicators that spatially represents various levels of vulnerability. The proposed system for evaluation of vulnerability watershed, based on use indicators and properties of the soil (SAVIUS), covers the amount of forested areas, riparian forests of the rivers, amount of urban areas and indicators that add more than one variable as the propensity to risk to loss of soil and occurrence of conflicts. A vulnerability rating scale was set to values ranging from zero to one, composed of five classes ranging from very low to very high. The analysis resulting from the application of the proposed system of indicators of vulnerability to the studied basins pointed a percentage of vulnerability High and Very High in 41.66% of the calculated indicators. On the other hand, the percentage of 30.56% of the basins indicators was reached under the classification of vulnerability Low or Very Low. The vulnerability ranked as Average reached the percentage of 27.78%. The results from the applications made for the seven river basins demonstrates the possibilities of the system which is designed to support managers in the process of knowledge of the environmental conditions in the watershed and in the monitoring and implementation of land management programs.

KEYWORDS: environmental indicators, vulnerability, basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo	43
Figura 2 – Fluxograma da pesquisa adotada	52
Figura 3 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Marés	71
Figura 4 – Representação cartográfica da classificação do indicador cobflo para a bacia hidrográfica do rio Marés.....	73
Figura 5 – Mapa de ocorrências de matas ciliares na bacia hidrográfica do rio Marés.....	74
Figura 6 – Mapa do indicador de matas ciliares das sub-bacias hidrográficas do rio Marés	75
Figura 7 – Mapa do indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Marés.....	77
Figura 8 – Mapa de risco a propensão à perda do solo da bacia hidrográfica do rio Marés	83
Figura 9 – Mapa do indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Marés.....	84
Figura 10 – Mapa de distribuição do uso potencial da terra das sub-bacias hidrográficas do rio Marés.....	86
Figura 11 – Mapa de conflitos de usos da bacia hidrográfica do rio Marés.....	87
Figura 12 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Mumbaba	88
Figura 13 – Representação cartográfica da classificação do indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba	89
Figura 14 – Mapa de ocorrência de matas ciliares da bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	91
Figura 15 – Mapa do índice de mata ciliar para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba ..	92
Figura 16 – Cartograma do indicador de áreas urbanizadas das sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba.....	93
Figura 17 – Mapa de risco a propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Mumbaba	99
Figura 18 – Mapa do indicador de propensão à perda de solo para as sub-bacias do rio Mumbaba.....	100
Figura 19 – Mapa de conformidades de usos da bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	102
Figura 20 – Cartograma representando a distribuição dos conflitos de usos nas sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba	103
Figura 21 – Representação cartográfica do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba.....	104
Figura 22 – Mapa do indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba	106
Figura 23 – Mapa de ocorrência de matas ciliares da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba.....	108
Figura 24 – Mapa do indicador de matas ciliares para as sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba	109
Figura 25 – Mapa de áreas urbanizadas das sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba.....	111
Figura 26 – Mapa de propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio gramame - mamuaba	113
Figura 27 – Mapa do indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba	114
Figura 28 – Mapa do cálculo do coeficiente de rugosidade das sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba	116

Figura 29 – Distribuição dos conflitos de usos nas sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba.....	118
Figura 30 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas.....	120
Figura 31 – Mapa do indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas	121
Figura 32 – Áreas de matas ciliares das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.....	125
Figura 33 – Mapa do indicador de matas ciliares das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.....	126
Figura 34 – Mapa do indicador de áreas urbanizadas das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.....	129
Figura 35 – Representação cartográfica do cálculo do coeficiente de rugosidade das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas	133
Figura 36 – Representação cartográfica do cálculo do risco à propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas	136
Figura 37 – Representação cartográfica dos resultados do cresol para as sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas	137
Figura 38 – Conflitos de uso das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas	140
Figura 39 – Valores e classificação do indicador de vulnerabilidade por sub-bacia hidrográfica	145
Figura 40 – Valores e classificação do indicador de vulnerabilidade	145

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Expressões para os índices morfométricos.....	47
Quadro 2 – Parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas da área de estudo.....	47
Quadro 3 – Aspectos Socioeconômicos da área de estudo	49
Quadro 4 - Escala de propensão ao risco à perda de solo	56
Quadro 5 Classificação em relação à intensidade pluviométrica	57
Quadro 6 – Classificação dos riscos referente à geologia da área de estudo	58
Quadro 7 – Risco para a Amplitude Altimétrica.....	59
Quadro 8 – Declividade e a propensão ao risco	59
Quadro 9 – Classificação de risco em relação a amplitude do interflúvio	60
Quadro 10 – Pesos adotados para os níveis de risco da pedologia.....	61
Quadro 11 – Risco para o uso do solo das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.....	62
Quadro 12 – Risco para o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba	62
Quadro 13 – Risco para o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Marés.....	62
Quadro 14 – Risco para o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	63
Quadro 15 – Classes do uso do solo potencial	64
Quadro 16 – Pesos adotados para os usos e ocupação do solo.....	64
Quadro 17 – Classes de conflitos de usos	65
Quadro 18 – Escala de propensão à perda de solo para o cálculo do CRESOL.....	68
Quadro 19 – Classificação dos indicadores de vulnerabilidade	70
Quadro 20 – Porcentagem das áreas para o tema Uso do Solo da bacia hidrográfica do rio Marés	72
Quadro 21 – Indicador de áreas florestadas para a bacia hidrográfica do rio Marés	73
Quadro 22 – Áreas de ocupação nas margens dos rios e reservatório – Marés.....	75
Quadro 23 – Indicador de mata ciliar na bacia hidrográfica do rio Marés	76
Quadro 24 – Indicador de Áreas urbanizadas da bacia hidrográfica do rio Marés	77
Quadro 25 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema climatológico	78
Quadro 26 – Porcentagem das áreas para o tema geologia da bacia hidrográfica do rio Marés.....	79
Quadro 27 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema geológico	79
Quadro 28 – Porcentagem das áreas para o tema geologia, da bacia hidrográfica do rio Marés	79
Quadro 29 – Propensão ao risco à perda de solo para a amplitude altimétrica	80
Quadro 30 – Propensão ao risco à perda de solo para a declividade.....	81
Quadro 31 – Porcentagem das áreas para o tema pedologia da bacia hidrográfica do rio Marés.....	81
Quadro 32 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema pedológico	82
Quadro 33 – Propensão ao risco à perda de solo para o uso do solo.....	82
Quadro 34 – Distribuição dos valores do risco à propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Marés	83
Quadro 35 – Indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias do rio Marés.....	85
Quadro 36 – Indicações de usos conforme o coeficiente de rugosidade para a bacia hidrográfica do rio Marés	86
Quadro 37 – Indicador de conflitos de uso para as sub-bacias do rio Marés	87
Quadro 38 – Porcentagem das áreas do tema uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	89
Quadro 39 - Indicador de áreas florestadas para a bacia do rio Mumbaba	90
Quadro 40 – Áreas de ocupação nas margens dos rios para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	91
Quadro 41 – Indicador de mata ciliar para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	92

Quadro 42 – Indicador de áreas urbanizadas para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba	94
Quadro 43 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema climatológico	94
Quadro 44 – Porcentagem das áreas do tema Geologia para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	95
Quadro 45 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema geológico	95
Quadro 46 – Porcentagem das áreas do tema Geologia para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	96
Quadro 47 – Propensão ao risco à perda de solo para a hipsometria	96
Quadro 48 – Propensão ao risco à perda de solo para a declividade.....	97
Quadro 49 – Porcentagem das áreas do tema pedologia para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	97
Quadro 50 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema pedológico	98
Quadro 51 – Propensão ao risco à perda de solo para o uso do solo.....	98
Quadro 52 – Propensão ao risco à perda de solo para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba.....	99
Quadro 53 – Indicador de propensão à perda de solo para as sub-bacias do rio Mumbaba.....	101
Quadro 54 – Atributos do uso do solo potencial para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba ..	102
Quadro 55 – Indicador de conflitos de usos das bacias hidrográficas do rio Mumbaba	103
Quadro 56 – Áreas e porcentagens das categorias de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba	105
Quadro 57 – Indicador de áreas florestadas da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba	107
Quadro 58 – Áreas de ocupação nas margens dos rios da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba.....	108
Quadro 59 – Indicador de mata ciliar das sub-bacias do rio Gramame e Mamuaba.....	110
Quadro 60 – Indicador de áreas urbanizadas das sub-bacias do rio Gramame e Mamuaba.....	112
Quadro 61 – Propensão à perda de solo da bacia hidrográfica dos rios Gramame – Mamuaba	113
Quadro 62 – Indicador de propensão à Perda de solo das sub-bacias do rio Gramame e Mamuaba.....	115
Quadro 63 – Coeficiente de Rugosidade para abacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba	117
Quadro 64 – Indicador do cálculo dos conflitos de uso (CONFSOL) para as sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba	119
Quadro 65 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas	120
Quadro 66 – Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias do rio Aterro	122
Quadro 67 - Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias do rio Dois Rios.....	123
Quadro 68 - Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias do rio Taperebus	124
Quadro 69 - Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias do rio Papocas	124
Quadro 70 – Áreas de ocorrências de matas ciliares da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas	126
Quadro 71 – Indicador de mata ciliar para as sub-bacias do rio Aterro.....	126
Quadro 72 - Indicador de mata ciliar para as sub-bacias do rio Dois Rios	127
Quadro 73 - Indicador de mata ciliar para as sub-bacias do rio Taperebus	128
Quadro 74 - Indicador de mata ciliar para as sub-bacias do rio Papocas.....	129
Quadro 75 – Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias do rio Aterro.....	130
Quadro 76 – Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias do rio Dois Rios	131
Quadro 77 - Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias do rio Taperebus	131
Quadro 78 - Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias do rio Papocas.....	132

Quadro 79 – Indicações de usos conforme o CR para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro	133
Quadro 80 – Indicações de usos conforme o CR para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios	134
Quadro 81 – Indicações de usos conforme o CR para as sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus	134
Quadro 82 – Indicações de usos conforme o coeficiente de rugosidade para as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas	135
Quadro 83 – Propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas	136
Quadro 84 - Indicador de propensão à Perda de solo das sub-bacias do rio Aterro	137
Quadro 85 - Indicador de propensão à Perda de solo das sub-bacias do rio Dois Rios	138
Quadro 86 - Indicador de propensão à Perda de solo das sub-bacias do rio Taperebus	139
Quadro 87 - Indicador de propensão à Perda de solo das sub-bacias do rio Papocas	139
Quadro 88 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro	140
Quadro 89 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios	141
Quadro 90 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus	142
Quadro 91 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas .	142
Quadro 92 – Comparativo entre os indicadores para cada bacia hidrográfica	143

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AESA-PB – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA – Agência Nacional de Águas
APP – Áreas de Preservação Permanente
CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
COBFLO – Indicador de Cobertura Florestal
CONFSOL – Indicador de Conflitos de Usos
CR – Coeficiente de Rugosidade
CRESOL – Indicador de Propensão à Perda de Solo
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
GPS – Sistema de Posicionamento Global
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MATCIL – Indicador de Matas Ciliares
MDE – Modelo Digital de Elevação
OCDE – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OLI – Operacional Terra Imager
PIB – Produto Interno Bruto
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
REDD – Redução de Emissões causadas por Desmatamento e Degradação Florestal
SAVIUS – Sistema para Avaliação da Vulnerabilidade em bacias hidrográficas baseado em Indicadores de propriedade e Uso do Solo
SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais
SIG – Sistemas de Informação Geográfica
SPRING – Software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
UNISDR – Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres
URBAN – Indicador de Áreas Urbanizadas
UTB – Unidade Territorial Básica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	20
1.1.1 OBJETIVO GERAL	20
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Conceito de Vulnerabilidade Ambiental.....	21
2.2 Bacia Hidrográfica como Espaço para Gestão Ambiental	22
2.3 Aspectos Legais sobre Proteção Ambiental	24
2.4 Vulnerabilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas	30
2.5 Indicadores de Vulnerabilidade Ambiental.....	31
2.5.1 ÁREAS FLORESTADAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	34
2.5.2 MATAS CILIARES	36
2.5.3 ÁREAS URBANIZADAS	38
2.5.4 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	39
2.5.5 CONFLITOS DE USO DO SOLO	41
3 ÁREA DE ESTUDO	42
3.1 Aspectos Físicos	43
3.1.1 CLIMA	44
3.1.2 GEOLOGIA	44
3.1.3 PEDOLOGIA	44
3.1.4 GEOMORFOLOGIA	45
3.1.5 VEGETAÇÃO	46
3.2 Aspectos Hidrológicos.....	46
3.3 Aspectos Socioeconômicos	47
3.3 Obras de Armazenamento e Captação de Água.....	49
4 METODOLOGIA	50
4.1 Integração, Tratamento dos Dados e SIG	52
4.2 Elaboração dos Mapas Temáticos Base.....	53
4.2.1 CLIMA	53
4.2.2 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA	53
4.2.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	53
4.3 Áreas Florestadas nas Bacias Hidrográficas.....	54
4.4 Propensão à Perda de Solo	54
4.4.1. RISCO PARA O TEMA CLIMATOLOGIA.....	56

4.4.2 RISCO PARA O TEMA GEOLOGIA.....	57
4.4.3 RISCO PARA O TEMA GEOMORFOLOGIA	58
4.4.4 RISCO PARA O TEMA PEDOLOGIA	60
4.4.5 RISCO PARA O TEMA USO DO SOLO	61
4.5 Definição do Uso Potencial	63
4.6 Mapeamento dos Conflitos de Uso do Solo	64
4.7 Construção e Cálculo dos Indicadores de Vulnerabilidade.....	65
4.7.1 INDICADOR DE COBERTURA FLORESTAL	66
4.7.2 INDICADOR DE MATAS CILIARES	67
4.7.3 INDICADOR DE ÁREAS URBANAS	67
4.7.4 INDICADOR DE PROPENSÃO A PERDA DE SOLO	68
4.7.5 INDICADOR DE CONFLITOS DE USO DO SOLO.....	69
4.7.6 CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE	69
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1 Bacia Hidrográfica do Rio Marés.....	71
5.1.1 USO DO SOLO.....	71
5.1.2 INDICADOR DE ÁREAS FLORESTADAS.....	72
5.1.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES	74
5.1.4 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS	76
5.1.5 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO.....	78
5.1.5.1 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO.....	84
5.1.6 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE.....	85
5.1.7 CONFLITOS DE USOS	87
5.2 Bacia Hidrográfica do Rio Mumbaba	88
5.2.1 USO DO SOLO.....	88
5.2.2 INDICADOR DE ÁREA FLORESTADA	89
5.2.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES	90
5.2.4 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS	93
5.2.5 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO.....	94
5.1.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE.....	101
5.1.4 CONFLITOS DE USOS	103
5.3 Bacia Hidrográfica do Rio Gramame e Mamuaba	104
5.3.1 USO DO SOLO.....	104
5.3.2 INDICADOR DE ÁREAS FLORESTADAS.....	105

5.3.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES	107
5.3.4 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS	110
5.3.5 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO	112
5.3.6 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE	115
5.3.7 CONFLITOS DE USOS	117
5.4 Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí-Papocas	119
5.4.1 USO DO SOLO.....	119
5.4.2 INDICADOR DE ÁREAS FLORESTADAS	121
5.4.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES	125
5.4.3 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS	129
5.4.4 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE	132
5.4.5 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO	135
5.4.6 CONFLITOS DE USOS	140
5.5 Comparação Entre as Vulnerabilidades das Bacias Hidrográficas Estudadas	143
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
REFERÊNCIAS.....	150
APÊNDICE A: CARTA GEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARÉS	158
APÊNDICE B: CARTA GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARÉS	160
APÊNDICE C: CARTA PEDOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARÉS	162
APÊNDICE D: CARTA PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARÉS	164
APÊNDICE E: CARTA GEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUMBABA	166
APÊNDICE F: CARTA GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUMBABA	168
APÊNDICE G: CARTA PEDOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUMBABA	170
APÊNDICE H: CARTA PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUMBABA	172

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve um considerável aumento na demanda de água nos centros urbanos do mundo devido ao crescimento da população e, conseqüentemente, da malha urbana, fato que, nos países em desenvolvimento geralmente tem acontecido de forma desordenada em algumas áreas, normalmente periféricas ou propensas a riscos de desastres ambientais. Essa demanda faz com que os gestores busquem alternativas para o suprimento hídrico das cidades. Associado a essa realidade, as áreas mais afastadas das metrópoles, que são propícias para obras de novas captações ou barragens, apresentam algumas áreas urbanizadas, possuindo em sua maior parte áreas de lavouras e atividades de mineração. Dessa forma, muitos locais próximos aos rios, lagos e demais corpos hídricos potenciais para suprimento hídrico vêm sendo frequentemente ocupados, degradados e as águas contaminadas.

Por outro lado, a degradação das terras pode prejudicar o uso dos recursos naturais renováveis pelo conjunto de processos que atuam sobre ela, podendo ser por origem natural, como erosões, e também por fatores antrópicos, oriundos do uso e ocupação inadequada do solo. As degradações em áreas de preservação ambiental envolvem as margens dos rios e sua mata ciliar, podendo causar danos tanto no solo, quanto na qualidade da água e na capacidade produtiva da bacia. Por isso, é preciso assegurar a conservação desses recursos para que sejam utilizados de forma sustentável pela população, respeitando-se a legislação vigente (GUERRA et al., 2010).

Em escala nacional, os corpos hídricos das bacias hidrográficas que atravessam a zona rural e áreas urbanas estão comprometidos devido às degradações e poluições de áreas que não possuem um controle e fiscalização apropriados, dificultando a criação de novas áreas de abastecimento urbano e prejudicando a qualidade de vida das populações (MELO, 2013). Contaminantes como produtos de higiene, tintas, resíduos industriais, efluentes e fertilizantes estão entre alguns dos agentes poluidores que prejudicam os mananciais.

No contexto local, as principais fontes de abastecimentos de água da região metropolitana de João Pessoa (açudes de Marés e Gramame – Mamuaba) operam em sua capacidade máxima, o que fez com que quatro novas captações fossem planejadas em áreas mais distantes da Grande João Pessoa. Contudo, não se sabe como os processos degradantes existentes nas bacias hidrográficas contribuintes podem interferir na manutenção da qualidade e da quantidade da água desses mananciais. Sabe-se que

fatores como aspectos de áreas vegetadas, nível de propensão à perda do solo, integridade das matas ciliares, e o uso do solo, são determinantes para a produção da água nas melhores condições.

No caso das bacias hidrográficas na região litorânea Sul do estado da Paraíba, deve-se planejar a ocupação do solo de forma a prover a manutenção da capacidade hídrica de produção e evitar a perda da qualidade das águas dos rios. Por manutenção da capacidade de produção hídrica de uma bacia hidrográfica, entende-se como a busca pela constância a médio e longo prazo dos valores médios das vazões de base dos seus cursos d'água perenes (BEZERRA, 2013).

Os espaços litorâneos brasileiros cumprem funções estratégicas nos setores econômicos e na vida social dos estados. O processo de ocupação da zona costeira foi intensificado a partir da década de 60 do século passado. A forma desordenada de produção desses espaços, onde a frequência de áreas urbanas é maior, torna-se agravada, sob o ponto de vista ambiental, devido ao alto nível de vulnerabilidade dos ecossistemas costeiros. Na conjunção entre a celeridade e volume dos processos urbanizadores e a fragilidade das áreas envolvidas define-se a premência da ação planejadora na zona costeira, seja o planejamento preventivo nas áreas ainda sem ocupação ou corretivo que busque soluções para os problemas já existentes (MORAES, 1999).

A zona costeira do litoral Sul do estado da Paraíba é configurada por paisagens diversificadas e caracterizadas pela presença de elementos naturais e artificiais que conferem a este espaço grande fragilidade (CABRAL DA SILVA et al., 2008). Neste cenário se integram malhas urbanas constituídas de pequenas e bucólicas cidades e bairros da capital do estado da Paraíba, Áreas de Proteção Ambiental, mata atlântica e ecossistemas associados, dunas, falésias, estuários de diversos rios, barras, lagoas costeiras, planícies costeiras com terraços marinhos planos e de baixas declividades, terrenos declivosos de encosta, e áreas de tabuleiro com cotas mais altas. Problemas associados ao uso inadequado do solo nas bacias hidrográficas, como as erosões localizadas, têm ocorrido haja vista a grande pluviosidade observada na região do litoral Sul do Estado.

Essa região concentra um número razoável de cidades, incluindo a capital do estado da Paraíba, João Pessoa. Diversos empreendimentos industriais têm tido instalação recente, a exemplo de indústrias cimenteiras, com repercussões notórias no aumento na demanda de água. Por outro lado, a irrigação é bastante desenvolvida nas

lavouras, com destaque para a cana-de-açúcar. Portanto, as bacias hidrográficas litorâneas devem ser consideradas como prioritárias, estratégicas e merecedoras de estudos visando o planejamento do uso do solo buscando a manutenção da qualidade ambiental e a sustentabilidade das atividades exercidas na região.

Nesse sentido, os estudos relativos às questões da vulnerabilidade ambiental tornam-se fundamentais na medida em que apontam espacialmente os problemas e a sua dimensão por meio de cartogramas. Assim, ações corretivas posteriores podem ser planejadas em nível de bacia hidrográfica, rios e margens de reservatórios fluviais.

As vulnerabilidades ambientais refletem o potencial de degradação em uma região como respostas a qualquer perturbação dos padrões e processos, onde o modelo adotado deve ser capaz de apontar fragilidades no espaço analisado, diferenciar as regiões segundo o grau relativo de maior ou menor fragilidade, por meio de indicadores que reflitam possíveis alterações nos diferentes componentes do meio. (CRUZ et al., 2013).

Dessa forma, esse estudo trata da análise da vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas contribuintes às captações de água da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), na região litorânea Sul do estado da Paraíba, especificamente, bacias hidrográficas e sub-bacias dos rios Marés, Mumbaba, Gramame e Mamuaba; e as sub-bacias do rio Abiaí-Papocas (Aterro, Dois Rios, Taperubus, Papocas) que contribuirão com mais quatro captações, essas ainda a serem implantadas, onde todas têm a finalidade de captar água para o abastecimento da região metropolitana de João Pessoa.

É proposto um sistema de indicadores de vulnerabilidade ligado ao uso e propriedades do solo nas bacias hidrográficas a partir de estudos onde são recomendados os mais importantes nessa temática. O Sistema para Avaliação da Vulnerabilidade em bacias hidrográficas baseado em Indicadores de propriedade e Uso do Solo (SAVIUS) é apresentado considerando um conjunto de cinco indicadores, aplicáveis em sub-bacias hidrográficas, bacias ou até em áreas de municípios.

A análise comparativa entre as bacias hidrográficas que é efetuada nesse trabalho baseia-se na determinação e comparação dos indicadores ambientais definidos segundo o sistema SAVIUS, relativos à quantidade de áreas florestadas, áreas de matas ciliares dos rios, quantidade de áreas urbanas e indicadores que agregam mais de uma variável como a propensão ao risco à perda de solo e os indicadores de usos potenciais do solo e de ocorrência de conflitos de usos.

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar e comparar as condições ambientais das bacias hidrográficas contribuintes às sessões de captação de água para abastecimento público na região litorânea Sul do estado da Paraíba, por meio de indicadores de vulnerabilidade ambiental.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os processos de degradação ambiental das bacias hidrográficas contribuintes às captações para abastecimento público de água;
- Construir um sistema de indicadores temáticos relevantes para a análise das vulnerabilidades ambientais de bacias hidrográficas;
- Avaliar os níveis de vulnerabilidade no espaço geográfico das bacias hidrográficas;
- Realizar análise comparativa das vulnerabilidades ambientais entre as bacias hidrográficas estudadas;
- Contribuir para o planejamento territorial especificando os graus de vulnerabilidade nas áreas das bacias hidrográficas e os usos apropriados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito de Vulnerabilidade Ambiental

O uso do termo "vulnerabilidade" tem crescido nos últimos anos no campo das ciências sociais e climáticas. Este termo tem sido utilizado para compreender os estados de exposição e sensibilidade do território frente a determinadas ameaças. A vulnerabilidade pode ser analisada a partir de várias abordagens para os objetivos e campos de estudo.

Vulnerabilidade ambiental, entendida como uma componente do risco, pode ser compreendida como o risco de degradação do ambiente natural, relacionada à erosão do solo, perda de biodiversidade, assoreamento, contaminação do recurso solo, água, etc (COSTA et al., 2007). No caso de estruturas ou subsistemas físicos, a vulnerabilidade traduz o grau de destruição ou de perda de funcionalidade: vulnerabilidade física ou fragilidade de estruturas (e. g. vulnerabilidades de aquíferos ou sistemas de abastecimentos).

A vulnerabilidade natural mostra a predisposição do ambiente frente a fatores ambientais (GRIGIO, 2008). Já a vulnerabilidade ambiental, segundo Tagliani (2003), é definida como qualquer susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer.

O Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNISDR) define a vulnerabilidade como uma condição produto das ações humanas. Indica o grau em que a sociedade está exposta, ou protegida do impacto das ameaças naturais. Depende do estado de assentamentos humanos e sua infra-estrutura, a maneira que a administração pública trata as políticas de gestão de risco e o nível de informação e educação da sociedade sobre os riscos existentes e como lidar com eles (ONU, 2014).

O crescimento e a concentração da população e das atividades humanas em muitas circunstâncias, com deficiências de planejamento, conjuntamente com o manejo ambiental deficiente e a ocorrência de desmatamentos e avanços excessivo de algumas culturas agrícolas pode gerar territórios vulneráveis (GRECO, 2015).

Consideram-se territórios vulneráveis os que apresentam uma exposição elevada e duradoura a riscos e ameaças que, pela sua gravidade, exigem intervenções coordenadas envolvendo diferentes atores e distintos instrumentos de política. Os territórios podem ser vulneráveis por razões intrínsecas, como acontece, por exemplo,

com alguns trechos da zona costeira face à subida do nível médio do mar (GOVINT, 2014). No entanto, a maioria dos territórios considerados vulneráveis o são porque as comunidades ou as atividades econômicas aí prevaletentes apresentam vulnerabilidades estruturais. Nestes casos, os “territórios vulneráveis” correspondem a concentrações geográficas, de dimensão variável, de situações de acentuada vulnerabilidade social e econômica: bairros com elevados índices de pobreza e exclusão, áreas rurais em processo de desertificação e em declínio demográfico persistente entre outras.

As alterações dos impactos ambientais nos sistemas naturais e na sociedade são utilizados em grande escala nas pesquisas, baseados na perspectiva de que as águas superficiais estão entre os recursos vitais na terra, e as mudanças provocadas pelo uso e ocupação inadequado do solo, podem causar alterações climáticas no meio, causando efeitos negativos de ordem social, econômica e climática, comprometendo a saúde das pessoas (FEYISA et al., 2013).

Sporl & Ross (2004) afirmam que qualquer mudança nos diferentes atributos da natureza, como por exemplo: vegetação, clima, relevo, corpos hídricos e solos, podem comprometer o equilíbrio dinâmico e a funcionalidade do ecossistema. O estudo integrado dessas variáveis possibilita um diagnóstico preciso das fragilidades dos ambientes naturais, sendo de extrema importância para o planejamento e ordenamento territorial.

2.2 Bacia Hidrográfica como Espaço para Gestão Ambiental

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoada pelo exutório. Têm-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e os infiltrados para os lençóis profundos. A transformação de chuva em vazão é função de diversos fatores entre eles os parâmetros descritivos da geomorfologia, cobertura vegetal, tipo de solo e do antropismo.

A bacia hidrográfica tem sido reconhecida como o espaço geográfico adequado para as ações de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, integrando-se com o desenvolvimento de políticas ambientais, sociais e econômicas. Assim, tem se difundido o conceito e a necessidade de se realizar o manejo integrado de bacias. Por outro lado, Duda & El-Ashry (2000) afirmam que, apesar do termo manejo integrado de

bacias hidrográficas ter sido idealizado como solução para problemas diversificados nas bacias, muitos resultados têm sido decepcionantes desde que ações de uso do solo e de biodiversidade não se têm integrado com as atividades dos setores de recursos hídricos.

Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO & PORTO, 2008).

Ainda segundos esses autores, a gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990 quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92. Diz o Princípio nº 1 que a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos.

Para a gestão de recursos hídricos, a participação dos municípios nos organismos de bacia tem sido a principal, ou talvez a única, forma de interação com outros atores públicos e privados relacionados com a água. A lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) e seus textos regulamentares asseguraram a participação dos municípios enquanto usuários de recursos hídricos no âmbito das esferas públicas deliberativas (comitês e conselhos estaduais). Entretanto, nenhum texto legal definiu com clareza a relação entre a gestão das águas com o planejamento local do território cuja competência e responsabilidade é, sobretudo, dos governos municipais (CARNEIRO et al., 2006).

Nesse sentido, permanecem indefinições quanto ao papel fundamental do município como formulador e implementador de políticas urbanas de impacto nos recursos hídricos, quer por meio de determinações contidas em planos diretores, leis de uso e ocupação do solo, zoneamentos, códigos de obras, parcelamentos do solo, políticas de regularização fundiária urbana, dentre outras, quer pela ausência formal, ou de fato, desses instrumentos.

Muitos fatores dificultam a atuação do município na gestão da água, sendo o principal a impossibilidade legal, por determinação Constitucional, dos municípios gerenciarem diretamente os recursos hídricos contidos em seus territórios, a não ser por repasses de algumas atribuições através de convênios de cooperação com Estados ou a União.

No entanto, a bacia hidrográfica como modelo de gestão é adotada por instituições e profissionais da área de recursos hídricos e engenharia ambiental,

geografia, biologia e ecologia dentre outras áreas afins. É bastante difundida quando se quer analisar uma paisagem de forma completa, por estar inserido na dinâmica natural do meio ambiente em seus aspectos morfológicos e do escoamento superficial, sendo suficiente para uma simulação da modelagem ambiental buscando a realização de diagnósticos (MAGALHÃES JR. 2011).

Reconhecendo a importância das inter-relações dos recursos hídricos com o território, Cunha (2015) afirma que uma articulação robusta da gestão da água e do território, com dinâmicas próprias e específicas de cada sector, é essencial para a proteção dos recursos hídricos e dos serviços dos ecossistemas associados, bem como para minimizar os riscos de uma ocupação inadequada do solo e para facilitar a adaptação às alterações climáticas.

2.3 Aspectos normativos sobre proteção ambiental

Para que seja possível desenvolver ações de planejamento e de gestão ambiental envolvendo os recursos hídricos, o território e as paisagens, enquanto elementos sujeitos aos impactos e pressões devido às ações antrópicas, parte-se do pressuposto da existência de um conjunto de instrumentos legais definidores que dão suporte às políticas de proteção, fiscalização e desenvolvimento dito sustentável. Esta base legal é determinante para a sua consideração na elaboração de novos modelos para o planejamento.

Impacto ambiental pode ser definido como mudança sensível, positiva ou negativa, nas condições de saúde e bem estar das pessoas e na estabilidade do ecossistema do qual depende a sobrevivência humana. Dessa maneira são considerados os efeitos e as transformações provocados pelas ações humanas nos aspectos do meio ambiente físico e que se refletem, por interação, nas condições ambientais que envolvem a vida humana (CHRISTOFOLETTI, 1993 p. 132).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 001/86 dispõe em seu artigo 1º que impacto ambiental é (BRASIL, 1986):

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais.

A Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, entre outros fins, representou um avanço na legislação ambiental, haja vista os princípios explicitados no artigo 2º, entre outros importantes avanços (BRASIL, 1981):

Art. 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;

II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;

III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;

VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

VIII - recuperação de áreas degradadas,

IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;

X - educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

A Lei nº 7.661/88 que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro define princípios, objetivos e instrumentos entre os quais os planos de gestão a nível nacional, estadual e municipal (BRASIL, 1988). A zona costeira brasileira é definida no Decreto nº 5.300/2004. Segundo esse Decreto os municípios defrontantes com o mar são partes integrantes da zona costeira brasileira, bem como os não defrontantes distantes até cinqüenta quilômetros da linha da costa, que contemplem, em seu território, atividades ou infra-estruturas de grande impacto ambiental na zona costeira ou ecossistemas costeiros de alta relevância (BRASIL, 2004).

Para que uma área seja considerada urbanizada de forma consolidada e formal, deve conter pelo menos quatro dos seguintes itens abaixo relacionados conforme a resolução CONAMA nº 303/2002 (BRASIL, 2002).

Segundo o Artigo 2º da Resolução CONAMA nº 303/2002, as áreas urbanas são:

XIII - área urbana consolidada: aquela que atende aos seguintes critérios:

a) definição legal pelo poder público;

b) existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana:

1. Malha viária com canalização de águas pluviais,

2. Rede de abastecimento de água;
 3. Rede de esgoto;
 4. Distribuição de energia elétrica e iluminação pública;
 5. Recolhimento de resíduos sólidos urbanos;
 6. Tratamento de resíduos sólidos urbanos; e
- c) densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km².

No Brasil, a regulação do uso e ocupação do solo em áreas urbanas e rurais é realizada pelo município, que irá determinar os usos de acordo com suas políticas de prioridades e seu Plano Diretor. O Estado e a União é que administram os recursos hídricos destinados ao abastecimento urbano e outros usos sendo comum não haver comunicação ou interesse por parte dos gestores municipais em auxiliar de forma planejada o aumento da demanda de água para a população, ocasionando uma série de problemas para a comunidade (CARNEIRO, 2006).

As Áreas de Preservação Permanente são áreas definidas e protegidas pelo Código Florestal (BRASIL, 2012) e estão localizadas em faixas marginais de cursos d'água, represas e lagos naturais, ao redor de nascentes, entre outras. Essas áreas vêm sendo alvo de conflitos em zonas urbanas e rurais de todo o país devido à pressão gerada pelo aumento da população, do consumo e pela consequente expansão das atividades humanas e da especulação imobiliária.

Em relação às margens dos cursos fluviais, ocupadas naturalmente pelas matas ciliares, essas, quando mantidas em sua largura mínima estabelecida de 30 metros ao longo das margens, além de recobrirem áreas de grande fragilidade e relevância ecossistêmica, que são as várzeas, contribuem ainda para a recarga de lençóis freáticos e para a regulação das cheias dos canais fluviais.

Percebe-se que o principal problema relacionado à aplicação da legislação sobre Área de Preservação Permanente (APP), está na dificuldade de se fiscalizar e principalmente regularizar todos os usos e ocupações ocorridos ou iniciados antes da entrada da legislação em vigor e que perduram até hoje, além de outros desrespeitos à legislação por interesses políticos e ou econômicos alheios à preocupação ambiental.

Alguns dos casos mais complexos residem na questão da ocupação de APP em áreas urbanas, visto que as cidades e os núcleos populacionais são historicamente localizados às margens de corpos d'água.

Enriquecendo a discussão sobre a ocupação urbana de APP, Araújo (2002) escreve:

As cidades, não raro, nascem e crescem a partir de rios, por motivos óbvios, quais sejam, além de funcionar como canal de comunicação, os rios dão suporte a serviços essenciais, que incluem o abastecimento de água potável e a eliminação dos efluentes sanitários e industriais. Ao longo desses cursos d'água, em tese, deveriam ser observadas todas as normas que regulam as APP. Na prática, todavia, essas e outras APPs têm sido simplesmente ignoradas na maioria de nossos núcleos urbanos, realidade que se associa a graves prejuízos ambientais, como o assoreamento dos corpos d'água, e a eventos que acarretam sérios riscos para as populações humanas, como as enchentes e os deslizamentos de encostas (ARAÚJO, 2002 p. 14).

Sobre o Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. (BRASIL, 2012), este estabelece normas para cursos de rios e matas ciliares e são consideradas APPs os seguintes casos: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Ainda no Código Florestal, define-se Reserva Legal como a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa;

Os temas referidos são analisados e destacados os sub temas de interesse a seguir (BRASIL, 2012):

CAPÍTULO II DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Da Delimitação das Áreas de Preservação Permanente:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei.

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de: a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo

d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros; b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

CAPÍTULO IV

DA ÁREA DE RESERVA LEGAL

Da Delimitação da Área de Reserva Legal:

Art. 12. Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente, observados os seguintes percentuais mínimos em relação à área do imóvel, excetuados os casos previstos no art. 68 desta Lei: (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

I - localizado na Amazônia Legal:

- a) 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas;
- b) 35% (trinta e cinco por cento), no imóvel situado em área de cerrado;
- c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em área de campos gerais;

II - localizado nas demais regiões do País: 20% (vinte por cento).

Art. 14. A localização da área de Reserva Legal no imóvel rural deverá levar em consideração os seguintes estudos e critérios:

I - o plano de bacia hidrográfica;

II - o Zoneamento Ecológico-Econômico

III - a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com Área de Preservação Permanente, com Unidade de Conservação ou com outra área legalmente protegida;

IV - as áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade; e

V - as áreas de maior fragilidade ambiental.

§ 1º O órgão estadual integrante do Sisnama ou instituição por ele habilitada deverá aprovar a localização da Reserva Legal após a inclusão do imóvel no CAR, conforme o art. 29 desta Lei.

A Lei nº 9.433/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e adota como princípios no Art. 1º, os seguintes fundamentos (BRASIL, 1997):

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

No entanto, deve-se destacar as Diretrizes Gerais sobre a implementação da PNRH estabelecidas no Capítulo III, Art 3º:

- I - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;
- II - a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País;
- III - a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
- IV - a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;
- V - a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo;
- VI - a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Conforme o Artigo. 4º dessa Lei, a União articular-se-á com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum. Para fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional e o gerenciamento dos Recursos Hídricos se faz necessário a elaboração de Planos Diretores conforme definição da Lei. Os planos serão elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País. Os Planos de Recursos Hídricos são planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos e terão o seguinte conteúdo mínimo:

- I - diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;
- II - análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo;
- III - balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;
- IV - metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis;
- V - medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados, para o atendimento das metas previstas;
- VI - (VETADO)
- VII - (VETADO)
- VIII - prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos;

Por sua vez, a Lei nº 11.445/2007 referente à Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), vem estabelecer o fortalecimento do poder estadual e municipal e o aumento da participação da sociedade civil organizada na gestão dos assuntos de saneamento básico, em virtude da maior responsabilidade técnica e legal dada ao Estado e Município e da maior oportunidade de participação dos organismos de controle social. Os serviços de saneamento básico, segundo a lei, compreendem o

abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública, visando à proteção do meio ambiente.

Deve ser destacado da Lei nº 11.445/2007 o disposto nos princípios fundamentais especificamente referido no Art. 2º, inciso VI: *articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante.*

Assim, pode ser constatado que é disponível todo um aparato legal para preservação e proteção ambiental no campo e nas cidades. Tratam-se de leis modernas e coerentes com os princípios da sustentabilidade, à disposição dos gestores públicos e da sociedade civil.

2.4 Vulnerabilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas

Toda ação que modifique o estado natural do meio, como alguns tipos de uso do solo (desmatamento, corte de barrancos e disposição inadequada de resíduos sólidos no solo), pode resultar, de acordo com as características locais aliadas à intensidade desta ação, em efeitos adversos, com repercussão na vulnerabilidade ambiental.

Relativamente aos recursos hídricos e suas relações com as condicionantes climáticas, do solo, da conformação topográfica das bacias e da vegetação existente, devem ser enfocados as variações provocadas pelo antropismo que afetam a estabilidade dos solos, a formação do escoamento fluvial no sentido de se aumentar as vazões de pico e diminuir as vazões de base dos hidrogramas dos rios da bacia, além de prejudicar a qualidade das águas. Sobre esta última, a ocorrência de áreas urbanas e atividades agrícolas e pecuárias no território da bacia tem sido considerada como ameaças frequentes, tornando muitas vezes, segundo o grau de ocorrência dessas atividades nas bacias, a análise da vulnerabilidade como uma necessidade essencial para o planejamento dos recursos hídricos relativamente à gestão do território.

É importante a escolha de aspectos característicos para o estudo pretendido visando à caracterização da vulnerabilidade ambiental para que os mesmos se mostrem sensíveis às análises realizadas nas bacias hidrográficas como um todo, tornando-se

relevante que se tenham dados de base na mesma escala ou o mais próximo possível, aumentando a confiabilidade dos resultados.

Uma vez que é necessário ampliar a base de informações sobre as influências antrópicas que ocorrem nas bacias hidrográficas, deve-se buscar técnicas e instrumentos que reduzam custos e tempo para identificação de áreas vulneráveis. Assim, o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido importantes ferramentas para o monitoramento ambiental, pois elas permitem analisar a dinâmica da cobertura vegetal e do uso do solo e associar essas transformações às condições físicas do meio, aos mecanismos de produção agropecuários e à qualidade de vida das populações locais (LORENA et al., 2001).

2.5 Indicadores de Vulnerabilidade Ambiental

A Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) define um indicador como sendo um parâmetro, ou um valor derivado de um parâmetro, descrevendo um estado de fenômeno do meio ambiente ou de uma zona geográfica. Tem um significado que se estende além da informação diretamente emitida pelo valor do parâmetro (OCDE, 1993).

No Brasil, só a partir da década de 1970, com o surgimento de novas dinâmicas populacionais aliadas à concentração econômica, entre outros fatores, e a necessidade de projetos para tais modificações, as agências estatais passaram a inserir em suas pesquisas a preocupação social, abarcando os indicadores nos temas de relatórios oficiais, atribuindo-lhes assim, mais notoriedade no seu uso, neste momento referidos às temáticas sociais e econômicas (MARTINELLI, 2004).

Os indicadores têm como papel principal a transformação de dados em informações relevantes para os tomadores de decisão e o público. Em particular, eles podem ajudar a simplificar um arranjo complexo de informações sobre saúde, meio ambiente e desenvolvimento, possibilitando uma visão “sintetizada” das condições e tendências existentes (OMS, 2002).

Os indicadores têm sido bastante utilizados em estudos ambientais. Diversos indicadores têm sido desenvolvidos no sentido de descrever o estado de variáveis ambientais em nível regional, estados, municípios ou de países.

A importância de se utilizar indicadores é que eles permitem agregar uma série de parâmetros distintos de diferentes áreas do conhecimento, gerando um banco de dados que fornece resultados de fácil leitura para tomadores de decisão, construindo subsídios para a adoção de políticas públicas ou privadas de forma coerente sempre com os preceitos da sustentabilidade. (CALIJURI et al., 2009).

A distribuição espacial dos indicadores de vulnerabilidade pode ser feita tomando-se como unidade de estudo e análise a sub-bacia da bacia hidrográfica, permitindo o entendimento das variações relacionadas às influências das características intrínsecas naturais e antrópicas no território das bacias como um todo.

Magalhães Jr. et al., (2003) afirmam que indicadores são informações pontuais no tempo e no espaço, e que utilizados de forma integrada permitem a visualização da realidade, e na forma de índice pode reproduzir cenários futuros de processos de natureza ambiental, social e econômica. Para isso realizaram uma interessante pesquisa, baseada em três objetivos principais: i) avaliar a importância que os indicadores podem ter na gestão dos recursos hídricos do Brasil; ii) identificar um conjunto de indicadores reconhecidos como prioritários por um conjunto de especialistas representativo da comunidade científica deste setor, e; iii) identificar eixos prioritários para a gestão dos recursos hídricos e as lacunas de dados essenciais para a determinação dos indicadores. A avaliação dos indicadores foi baseada na técnica Delphi, um painel de consulta de especialistas desenvolvido na década de 1950 por Olaf Helmer e Norman Dalkey, ambos cientistas da empresa americana Rand Corporation (MAGALHÃES JR. et al., 2003). Como resultado do painel realizado com um grupo de 50 especialistas foram listados onze indicadores que receberam os maiores índices de aprovação, entre os quais o índice de cobertura vegetal e o índice de urbanização. Também foi listado o Índice de susceptibilidade do solo à erosão acelerada como indicadores sugeridos espontaneamente e mais votados como prioritários. O índice de comprimento de rios com matas ciliares em conformidade legal foi considerado como um dos exemplos de indicadores alternativos sugeridos pelos especialistas consultados por Magalhães Jr. et al., (2003).

Metzger et al. (2006) enfatizam a importância dos ecossistemas terrestres e o fornecimento de serviços ambientais para as pessoas e a sociedade como a biodiversidade, alimentos, fibras, recursos hídricos, sequestro de carbono e recreação. Reconhecem que a maioria das avaliações de impacto ambiental não aborda a vulnerabilidade do sistema humano-ambiental sob a ótica das mudanças ambientais. Os

autores descrevem a Análise Terrestre de Ecossistemas Avançada e Modelagem (ATEAM) como uma nova ferramenta, com o uso de indicadores, para responder a questões multidisciplinares como as acima citadas. O modelo foi aplicado no continente europeu e concluiu-se, em destaque, que há vulnerabilidade a mudanças do uso do solo no sul da Europa, entre outras importantes constatações.

Salvati et al. (2011) realizaram uma abordagem baseada em processo que visa classificar grandes áreas em diferentes classes de vulnerabilidade da terra e a degradação do solo (LD e SD) em países Mediterrâneos. Para isso utilizaram um amplo conjunto de variáveis ambientais e sócio-econômicas para descrever cinco processos de degradação do solo (erosão, salinização, impermeabilização, contaminação e compactação) além do clima, considerados em conjunto como determinantes finais da degradação da terra na Itália. Foi utilizado o índice multivariado de capacidade de Degradação do Solo e Vulnerabilidade (MSDVI) para a estimativa do nível de vulnerabilidade terra.

O indicador ESA, definido por Imbrenda et al. (2014), fornece uma avaliação da vulnerabilidade global da terra e se baseia em indicadores estruturais e sócio-econômicos, integrando diversas informações relevantes incluindo o grau de compactação potencial causado por máquinas agrícolas. Nesse modelo, dados de satélites são utilizados para obter propriedades de cobertura vegetal, constituindo um procedimento de fácil utilização e adaptável.

Falando sobre objetivos de se ter perspectivas de sinergias em termos institucionais legislativos e técnicos científicos, Cunha (2015) escreve:

“É imperioso que se faça uma reflexão sobre as inter-relações dos recursos hídricos com o território, e eventuais disfunções na articulação e coordenação destes dois domínios. O conceito de gestão integrada de recursos hídricos deve ter em conta a forma como o território é usado pelas mais diversas atividades humanas. De fato, entre outras consequências, a utilização do território pode influenciar o regime de escoamento alterando as disponibilidades de água, potenciar a exposição das massas de água à poluição, ocasionar perda de biodiversidade e aumentar a vulnerabilidade das zonas costeiras. A análise dos impactos de intervenções, por exemplo, na agricultura, na urbanização ou nos transportes tem de equacionar as diversas pressões que estas atividades provocam nos meios hídricos. Mesmo pensando em escalas mais reduzidas, a localização das cidades e a evolução da respetiva estrutura interna podem induzir alterações quer em termos de procura de água, introduzindo desequilíbrios no balanço hídrico, quer em termos de cargas poluentes. Não podemos deixar de lembrar aqui que as sucessivas intervenções no espaço urbano têm levado à impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial e

consequentemente as aflúências aos sistemas de drenagem, introduzindo um novo fator potenciador de cheias urbanas”.

Diante desses novos desafios sobre as inter-relações dos recursos hídricos com o território uma das primeiras preocupações é sobre as vulnerabilidades ambientais referentes ao uso do solo nas bacias hidrográficas. Nesse sentido, os indicadores relativos à vulnerabilidade ambiental ligadas à ocupação do espaço geográfico, mais especificamente a presença de vegetação natural, de matas ciliares dos cursos de água, e de áreas urbanizadas; em conjunto com os indicadores de risco à propensão à perda de solo e os conflitos de uso, compõem um conjunto descritivo das vulnerabilidades ligadas a ocupação nas bacias hidrográficas. Vale ressaltar que os quatro primeiros indicadores foram apontados como de importância por Magalhães Jr. et al (2003). O indicador de conflitos de uso do solo é introduzido a partir da percepção da necessidade de consideração desse fenômeno, constatada nos trabalhos de Pissara et al., (2004), Valle Jr. et al., (2010), Silva et al., (2010) e Bezerra & Cabral da Silva (2014).

Com a necessidade de garantir o atendimento às demandas crescentes para o abastecimento de água visando atender aos municípios da Grande João Pessoa, o governo do estado da Paraíba por meio da CAGEPA tem planejado novos sistemas de captação de água. No entanto, não existem na literatura estudos sobre a vulnerabilidade das bacias hidrográficas contribuintes aos sistemas existentes ou aos planejados. Assim, uma análise integrada das bacias hidrográficas responsáveis pelo abastecimento público dessa região, se faz necessária sob a ótica moderna conhecer como esse ambiente.

O sistema de indicadores denominado Sistema para Avaliação da Vulnerabilidade em bacias hidrográficas baseado em Indicadores de propriedade e Uso do Solo (SAVIUS) foi construído no âmbito desse trabalho visando ser operacionalizado a partir de informações secundárias, ou seja, mapas, imagens e estudos existentes, onde são atribuídos os critérios de vulnerabilidade aos indicadores, segundo o seu valor calculado, variando de Muito Baixa a Muito Elevada. O sistema é aplicado às bacias hidrográficas do litoral Sul paraibano, contribuintes às captações da CAGEPA.

2.5.1 ÁREAS FLORESTADAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Um dos objetivos da Estratégia Mundial de Conservação (SALM & CLARK, 1989) é a manutenção dos processos ecológicos essenciais e suporte aos sistemas de vida (tais como a proteção e regeneração dos solos, a reciclagem de nutrientes e a

manutenção da qualidade das águas), dos quais a sobrevivência humana e o desenvolvimento dependem. O maior obstáculo para se atingir estas metas é a destruição das áreas naturais. Assim, a garantia da existência de habitats, por meio da conservação e do estabelecimento de áreas de florestas, é essencial para a manutenção nos serviços ambientais que elas proporcionam.

As bacias hidrográficas são vulneráveis a alterações da vegetação, pois essas alterações interferem nas propriedades do solo, refletindo nas propriedades da água dos rios, ou seja, a presença ou não de vegetação pode influenciar nas características da água e no ciclo hidrológico em um manancial, o que é de fundamental importância para a sustentabilidade do ambiente (BALBINOT et al., 2008).

Convém definir o que se entende por floresta, que seriam áreas relativamente extensas, cobertas de vegetação lenhosa de porte, composta por espécies nativas ou exóticas, e de ocorrência natural ou resultante de reflorestamento (BACELLAR, 2005).

Os ecossistemas florestais, constituídos por parte aérea (árvores) e parte terrestre (solos florestais), desempenham inúmeras funções: (1) mitigação do clima (temperatura e umidade); (2) diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes e recarga para os rios); (3) controle de erosão; (4) melhoramento da qualidade da água no solo e no rio; (5) atenuação da poluição atmosférica; (6) fornecimento do oxigênio (O_2) e absorção do gás carbônico (CO_2); (7) prevenção contra ação do vento e ruídos; (8) recreação e educação; (9) produção de biomassa; e (10) fornecimento de energia. Todas as funções atuam simultaneamente, sendo a maioria baseada na atividade biológica da própria floresta (KOBAYAMA, 2000).

No que diz respeito à conservação do solo é inegável a proteção exercida pela cobertura vegetal viva (floresta) e também pela morta (serapilheira), e estas características podem ser empregadas no manejo de bacias hidrográficas, para produção de água de boa qualidade (BALBINOT et al., 2008).

Modernamente têm se tratado sobre os serviços ambientais associados a categorias distintas representadas pela: retenção ou captação de carbono, conservação da biodiversidade, dos recursos hídricos e beleza cênica. Assim, a questão do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), amplamente discutido nos dias de hoje inclui possibilidades já existentes, como o mercado de carbono, e também aquelas a serem criadas, por exemplo, no contexto do próximo tratado climático para compensar a redução do desmatamento (BRASIL, 2008), o chamado mecanismo de Redução de Emissões causadas por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD).

Portanto, a avaliação da cobertura vegetal se faz necessário, considerando o papel desta na preservação, estabilidade e conservação dos solos da bacia e dos recursos hídricos nas fases superficiais e subterrâneas e nos aspectos qualitativos e quantitativos, além das funções ecológicas.

2.5.2 MATAS CILIARES

As zonas ripárias são áreas de saturação hídrica de uma bacia hidrográfica encontradas principalmente ao longo das margens e nas cabeceiras da rede de drenagem, mas podendo ocorrer também em partes mais elevadas de encostas, dependendo da topografia e das condições de transmissividade do solo. Exercem importante função do ponto de vista hidrológico e ecológico, contribuindo assim para a manutenção da saúde ambiental e da resiliência da bacia (PERT et al., 2010).

Sob a ótica da hidrologia florestal, por outro lado, ou seja, levando em conta a integridade da microbacia hidrográfica, as matas ciliares ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, tanto em termos hidrológicos, como ecológicos e geomorfológicos. Estas áreas têm sido chamadas de Zonas Ripárias (LIMA & ZAKIA, 2001).

O ecossistema ripário, em sua integridade, inclui a dinâmica da zona ripária, sua vegetação e suas interações e desempenha funções relacionadas à geração do escoamento direto em microbacias, ao aumento da capacidade de armazenamento e à manutenção da qualidade da água (efeito-tampão), além de promover estabilidade das margens dos rios, equilíbrio térmico da água e formação de corredores ecológicos.

O ecossistema ripário, que inclui sua vegetação e suas interações, desempenha as seguintes funções (LIMA & ZAKIA, 2006):

- contribuição ao aumento da capacidade de armazenamento da água no solo, evitando a seca dos rios e nascentes nas épocas de poucas chuvas;
- manutenção da qualidade da água na microbacia, por meio da filtragem superficial de sedimentos (80-90 % de sedimentos), diminuição da concentração de herbicidas na água e retenção de nutrientes que chegam aos rios (menos 38% de Nitrogênio, 94 % de Fosfato e 42 % de Potássio dissolvido);
- estabilidade das margens dos rios, evitando desbarrancamento;
- manutenção do equilíbrio da temperatura da água e fornecimento de alimentos (frutos, sementes, etc.), favorecendo peixes e outros organismos aquáticos; e,

- formação de corredores ecológicos para trânsito de animais e, consequentemente, fluxo de sementes e pólen.

Mesmo diante do reconhecimento da importância da zona ripária e dos serviços ambientais que realiza, da constatação da degradação que nessas áreas das microbacias vem ocorrendo e dos conflitos nela estabelecidos, a delimitação e o manejo sustentável da zona ripária não são, normalmente, considerados no planejamento do uso da terra (ANTTANASIO et al., 2012). Ainda segundo esses autores, sendo a zona ripária fator essencial para a resiliência da microbacia, a estimativa dos riscos de degradação dos recursos naturais, no mínimo, poderá ser deficiente se não incorporar a manutenção da integridade do ecossistema ripário.

Todavia, essas áreas despertam interesses conflitantes. Por um lado, agricultores a vêem com potencial produtivo ou como meio de acesso dos animais à água. Existem também interesses para a extração de areia, o corte seletivo de madeira, a mineração, a indústria, etc. Por outro lado, sua preservação e restauração, visando proteger suas funções são essenciais na busca da sustentabilidade (LIMA & ZAKIA, 2006).

Os valores atribuídos às matas ciliares, do ponto de vista do interesse de diferentes setores de uso da terra, são bastante conflitantes: para o pecuarista, representam obstáculo ao livre acesso do gado à água; para a produção florestal, representam sítios bastante produtivos, onde crescem árvores de alto valor comercial; em regiões de topografia acidentada, proporcionam as únicas alternativas para o traçado de estradas; para o abastecimento de água ou para a geração de energia, representam excelentes locais de armazenamento de água visando garantia de suprimento contínuo (BREN, 1993).

Os produtores rurais são considerados pessoas-chave para a preservação e recuperação ambiental, visando à transição à sustentabilidade no meio rural, pois além de utilizarem os recursos naturais para produzirem alimentos e outros importantes produtos demandados pela sociedade e de serem proprietários de grande parte das áreas ocupadas por remanescentes de ecossistemas, possuem cumplicidade com a natureza. Os pequenos produtores convivem com uma dificuldade maior para se enquadrarem na legislação ambiental, referente à APP e à Reserva Legal.

2.5.3 ÁREAS URBANIZADAS

O processo de urbanização no Brasil praticamente foi iniciado no século XX, a partir do processo de industrialização, que funcionou como um dos principais fatores para o deslocamento da população da área rural para as áreas urbanas. Esses movimentos de grupos de pessoas, também chamado de êxodo rural, provocou a mudança de um modelo agrário-exportador para um modelo urbano-industrial. De acordo com o último censo do IBGE, de 2010, mais de 82% da população brasileira vive em áreas urbanas.

Até 1950 o Brasil era um país de população predominantemente rural. As principais atividades econômicas estavam associadas à exportação de produtos agrícolas, com destaque para o café e a cana-de-açúcar. A partir do início do processo industrial, em 1930, começou a se criar no país condições específicas para o aumento do êxodo rural. Além da industrialização, também esteve associado a esse deslocamento campo-cidade, dois outros fatores, como a concentração fundiária e a mecanização do campo (SANTOS & SILVEIRA, 2008).

A mudança da configuração da distribuição, passando a maioria para a população urbana frente a rural no Brasil, ocorreu no final da década de 1960. Evidentemente, maiores quantidades demandadas para abastecimento de água das cidades implicaram na implantação de novos sistemas de captação de água nos rios próximos das cidades, muitas vezes com construção de reservatórios fluviais.

Assim, as bacias hidrográficas periurbanas foram as prioritárias para a implantação de obras hidráulicas para o aumento da disponibilidade hídrica. No entanto, a urbanização, com frequência, avança em territórios das bacias. Isso tem provocado conflitos de disponibilidade qualitativa, haja vista o agravamento dos problemas de qualidade da água de reservatórios fluviais utilizados para abastecimento público.

A urbanização desordenada nas bacias hidrográficas gera diversos desequilíbrios ao meio ambiente e, conseqüentemente, danos ao homem. Uma das conseqüências provocadas pela falta de planejamento da ocupação e uso do solo é a alteração de alguns processos inerentes ao ciclo hidrológico (CLARKE & KING, 2005).

Porto (1995) afirma que a urbanização e seus impactos sobre os recursos hídricos e o meio ambiente, requerem abordagem integrada, trazendo para um mesmo núcleo de ações, aquelas relativas à quantidade e qualidade da água, os aspectos de planejamento urbano, as interações entre os diversos usos do solo urbano e,

principalmente, os aspectos institucionais e legais necessários para o embasamento e a sustentabilidade das ações de prevenção e controle.

Os principais impactos provocados pela urbanização nas redes de drenagem são o aumento do escoamento superficial, redução do escoamento subterrâneo, redução da evapotranspiração, rebaixamento do lençol freático, aumento da produção de material sólido proveniente de limpeza de ruas e da armazenagem inadequada do lixo pela população resultando na deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas Tucci (1997).

Por outro lado, no processo de escoamento de água proveniente de precipitações máximas, ocorre a interação entre fatores como o uso e cobertura do solo, a declividade e a forma da bacia hidrográfica. Nesse contexto, a maior alteração da superfície de uma bacia resulta da urbanização que causa a impermeabilização do solo, diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial ocasionando cheias e inundações (TARGA et al., 2012).

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: limpeza urbana e sua frequência, intensidade da precipitação e sua distribuição no tempo e no espaço, bem como da época do ano e do tipo de uso da área urbana (TUCCI, 2002).

A partir da evidência das diversas limitações dos sistemas clássicos de drenagem urbana, o meio técnico vem direcionando suas pesquisas para o desenvolvimento das chamadas técnicas alternativas ou compensatórias. Essas novas técnicas buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, beneficiando a qualidade de vida e a conservação ambiental. As novas tecnologias podem ser consideradas como alternativas em relação às clássicas por considerarem os impactos da urbanização de forma global, permitindo a continuidade do desenvolvimento urbano, sem gerar custos excessivos e possibilitando o tratamento conjunto das questões de drenagem pluvial com outras questões urbanísticas (CASTRO et al., 2004).

2.5.4 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A demanda crescente pelos recursos naturais tem agravado a degradação das terras em todo o mundo. A inadequação do uso e do manejo das terras tem degradado os solos, acelerando o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente (FRANCISCO et al., 2013).

A erosão é um processo que se traduz na desagregação, transporte e deposição do solo, subsolo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos ou geleiras (GALETI, 1979).

As atividades humanas constituem o principal agente deflagrador dos processos erosivos, quando a erosão normal, causada pelos fatores naturais dá lugar á erosão acelerada, resultado da interferência antrópica. A erosão hídrica laminar, definida como a remoção homogênea de uma capa de solos, uma forma de erosão menos perceptível e por isso mesmo a mais perigosa, pois não é de fácil detecção.

Entre os fatores que influenciam a perda de solo podem ser citadas, as chuvas, a infiltração, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

A erosão tem, cada vez mais, merecida a atenção dos pesquisadores, tanto no que diz respeito a manutenção da produtividade agrícola como no que se refere à necessidade de seu controle, haja vista os seus efeitos danosos aos cursos d'água de reservatórios relativamente ao assoreamento e qualidade da água, entre outros.

A erosão das terras é um dos fatores mais relevantes na degradação ambiental, uma vez que a ocupação do solo e a declividade do terreno são aspectos erosivos determinantes, torna-se importante caracterizar como acontecem essas erosões e os fatores de riscos e fragilidades que desencadeiam esses processos (GUERRA et al., 2010, FRANCISCO et al., 2013).

Com as atividades antrópicas que afetam o meio ambiente, em particular as camadas superiores dos solos, esta erosão torna-se acelerada, que traz grande prejuízo para a agropecuária e o meio ambiente, pelo fato de causar assoreamento, eutrofização das águas naturais, poluição e prejuízo na quantidade e qualidade dos recursos hídricos (VALLE JUNIOR, 2008). Alguns dos aspectos que corroboram para o aumento das degradações no meio são as alterações de uso do solo não planejadas, acima da capacidade de suporte do mesmo.

Crepani et al., (2001) classifica os solos e a propensão a sua perda em categorias morfodinâmicas, sendo: Meios Estáveis, os caracterizados como cobertura vegetal densa, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas; Meios Intergrades, compostos do balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas; e Meios Fortemente Instáveis, os com condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas, relevo com vigorosa dissecação,

presença de solos rasos, inexistência de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e geodinâmica interna intensa.

2.5.5 CONFLITOS DE USO DO SOLO

Nas zonas rurais, o manejo inadequado do solo, sem a observância dos limites e riscos de degradação ambiental, tem provocado o desenvolvimento de processos erosivos acelerados (GUERRA & CUNHA, 1996).

O uso inadequado do solo, principalmente em ambientes mais susceptíveis à erosão, causam a degradação e perda de fertilidade, os quais podem ter seus efeitos aumentados quando do uso de queimadas, retirada de mata ciliar e uso demasiado de pesticidas. Estes aspectos caracterizam uma demanda tradicional, intensiva e insustentável, por recursos naturais, que apesar de todo o desenvolvimento tecnológico alcançado nas últimas décadas, não propiciou uma menor pressão sobre os ecossistemas, uma vez que os agrupamentos sociais foram intensificados, bem como a consequente pressão sobre os recursos naturais (BRUN et al., 2011).

A maioria dos problemas ambientais e econômicos de uma região tem sua origem na inexistência de um planejamento que contemple o conhecimento das dinâmicas ambientais e sócio-econômicas. Assim, Pires et al., (2002), consideram a identificação de áreas de intervenção fundamental para instrumentalizar e operacionalizar ações de gestão e manejo.

O Zoneamento Ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), como uma ferramenta fundamental e estratégica para o desenvolvimento e planejamento regional baseado na sustentabilidade ambiental. O zoneamento, a partir dos componentes do ambiente, físico, biológico e antrópico, permite apontar as vantagens e limitações do meio frente aos usos e ocupações.

Diversos autores (PISSARA et al., 2004; VALLE JÚNIOR, 2010; SILVA, et al., 2010, BEZERRA & CABRAL DA SILVA, 2014) tem utilizado nos seus estudos as análises dos cenários atual e potencial do uso do solo em bacias hidrográficas considerando os temas geologia, geomorfologia, solos, climatologia, uso e ocupação atual e potencial. Utilizam o conceito de que a ocupação do território de forma harmoniosa com a vocação natural do ecossistema não implica em inadequação ou conflito de uso do solo.

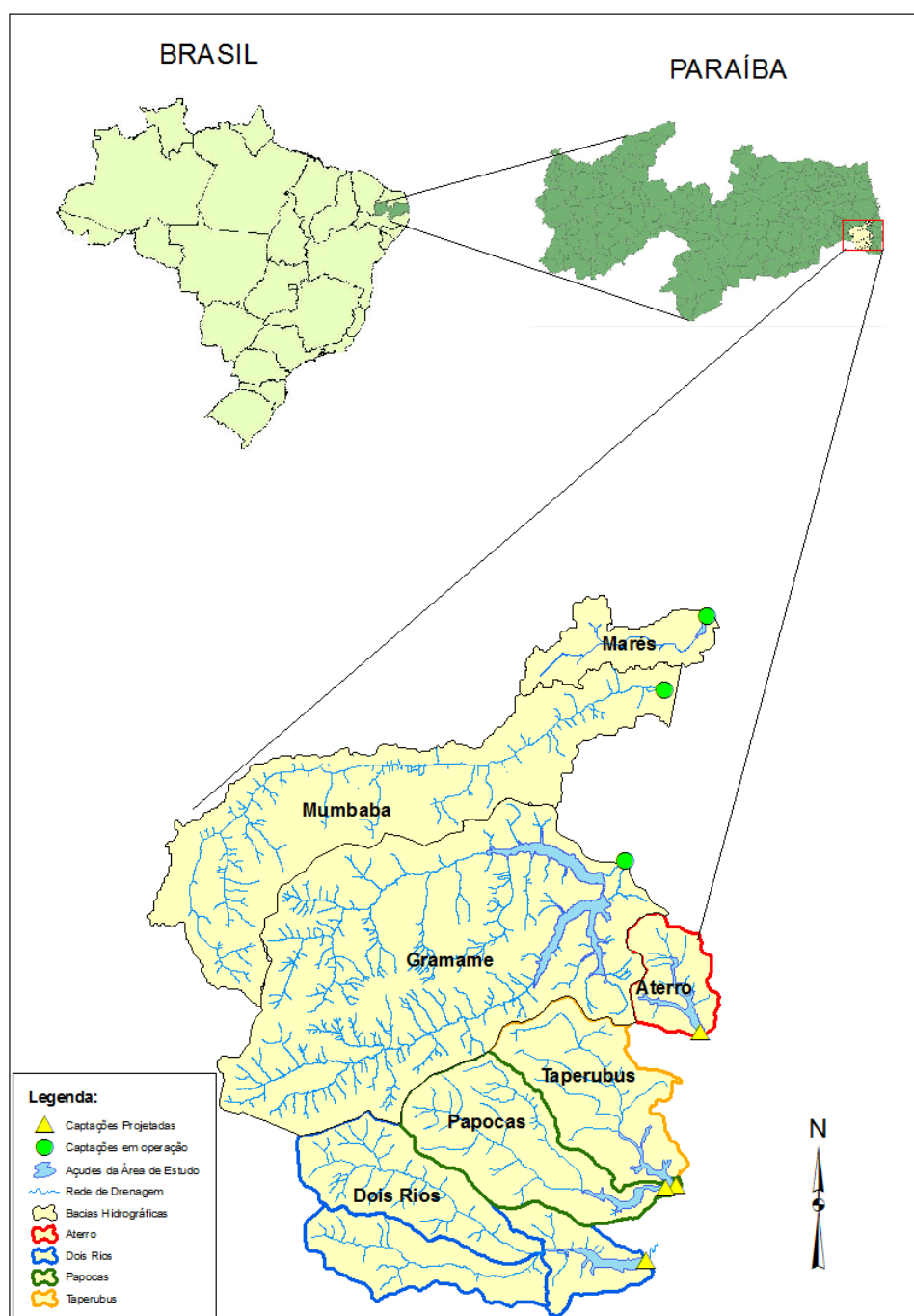
Oliveira et al., (2007) listam uma série de problemas decorrentes da inadequação do uso da terra que se resumem em: perda de solo pelo arraste de partículas; redução da produção e da produtividade agrícolas; assoreamento dos cursos d'água e contaminação das águas por agrotóxicos e produtos químicos, que são carregados juntamente com as partículas de solo.

Sabe-se que seria praticamente impossível se manter uma bacia hidrográfica, onde ocorrem usos antrópicos, com níveis plenos de estabilidade à perda de solo. No entanto, pode-se vislumbrar como meta o alcance de níveis pelo menos medianos de estabilidade e instabilidade (CAVALCANTI, 2014). Portanto, no processo de elaboração do plano da bacia hidrográfica ou do estudo ambiental, pautado em um zoneamento geoambiental, deve ser levada em consideração a possibilidade de minimização dos conflitos do uso do solo, objetivando alcançar os menores índices de risco à perda do solo.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no litoral sul do estado da Paraíba, entre as coordenadas geográficas: 07°10'12" Sul de latitude e 35°11'42" Oeste de longitude; e 07°33'42" Sul de latitude e 34°50'28" Oeste de longitude. As bacias, as captações e suas localizações podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1 – Localização da área de estudo



3.1 Aspectos Físicos

Nesse tópico serão apresentadas as informações sobre a geologia, tipos de solos, geomorfologia, clima e vegetação da área de estudo com base em análises das cartas digitais para cada tema. Os temas de clima e vegetação foram obtidos de bibliografias específicas.

3.1.1 CLIMA

Conforme a classificação de Köppen a área de estudo apresenta clima tropical com forte precipitação média anual (entre 1800 a 2100 mm/ano), apresentando temperatura média anual maior que 18 °C, com o período chuvoso entre o inverno e o outono (entre os meses de março e agosto), classificado como: As'. A temperatura média do ar apresenta valores médios anuais compreendidos entre 22 °C e 26 °C (PARAÍBA, 2011).

3.1.2 GEOLOGIA

As Formações Barreiras, Beberibe, Gramame e Maria Farinha constituem a Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba, onde estão inseridas as bacias hidrográficas dos rios Abiaí-Papocas, Gramame e Marés. Sua estratigrafia está entre o Cretácio e o Pleistoceno com sua espessura aumentando na direção do Oceano Atlântico. A Formação Barreiras é a mais extensa da região, composta por sedimentos areno-argilosos não consolidados, de origem continental disposto discordantemente sobre as Formações Beberibe, Gramame e Maria Farinha que são mais antigas.

Além das Formações anteriormente citadas, apresentam-se ainda os Depósitos Quaternários, que compreendem os depósitos de mangue, os terraços marinhos, os aluviões e sedimentos de praia (MENEZES, 2007):

- Depósitos de mangue: constituídos, em sua essência, de sedimentos pelíticos; inconsolidados, associados a restos vegetais e matéria orgânica em decomposição;
- Terraços marinhos: constituídos, basicamente, por areias quartzosas de granulação média a grossa. Representam o testemunho de antigas linhas de praia que tiveram seus níveis alterados por variações do nível do mar;
- Aluviões: localizados nas bacias fluviais e constituídos de areias siltosas, as quais, por suas características de boa porosidade e permeabilidade, apresentam grande possibilidade de infiltração de água.

3.1.3 PEDOLOGIA

Nas áreas de estudo ocorrem os seguintes tipos de solos:

Argilossolo Vermelho-Amarelo: esses solos têm como características principais argila em sua composição, diferenciação de cores (acinzentadas a avermelhadas), e uma profundidade que varia de pouco profundo a profundos conforme classificação do IBGE (2007).

Argilossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico: esse tipo de solo possui as mesmas características do Argilossolo Vermelho-Amarelo apresentando o nível de fertilidade elevado.

Neossolo Flúvico: são solos que contem em sua composição material mineral ou material orgânico e com baixa espessura (entre 30 e 50cm), tendo como principal aspecto camadas sucessivas de material aluvionar, sem relação pedogenética entre si (IBGE, 2007).

Gleissolos: são solos que ocorrem em áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (áreas de várzeas, margens de rios, planícies, etc), apresentando cores acinzentadas, esverdeadas e azuladas. Podendo ser de alta ou baixa fertilidade natural.

Organossolos: solos pouco evoluídos, formados a partir de material orgânico oriundo de acumulação de restos vegetais em grau variado de decomposição, em ambientes mal a muito mal drenados, ficando saturado por água em poucos dias no período chuvoso. Apresenta alto teor de carbono orgânico. Sua coloração é preta, cinzenta muito escura ou marrom. A elevada quantidade de água em sua composição dificulta o manejo para agricultura.

Latossolos: são solos muito intemperizados, profundos e boa drenagem. Como principal característica tem a homogeneidade de seus aspectos ao longo do perfil. Possui mineralogia da fração argila em sua maior parte caulínica.

Espodossolos: esses solos ocorrem em profundidades variadas e geralmente são pobres em nutrientes e minerais, apresentando textura arenosa, aparecendo nas regiões da costa.

3.1.4 GEOMORFOLOGIA

Em termos geomorfológicos se destacam as unidades da Planície Costeira e dos Tabuleiros Costeiros, caracterizados pelas baixas altitudes. O relevo pode variar de plano nas menores altitudes à forte ondulado nas maiores altitudes (BEZERRA, 2013).

Segundo o IBGE (2009), classificam-se as seguintes unidades geomorfológicas na área de estudo:

Planície Fluvial: área plana resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. Ocorre nos vales com preenchimento aluvial (IBGE, 2009).

Planície Fluviomarinha: área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha sujeita a inundações periódicas, podendo comportar canais fluviais, manguezais, cordões arenosos e deltas. Ocorrendo principalmente nas baixadas litorâneas (IBGE, 2009).

Tabuleiros Costeiros: são relevos de topo plano, elaboradas em rochas sedimentares, apresentando altitude relativamente baixa.

3.1.5 VEGETAÇÃO

As áreas onde se inserem as bacias costeiras do litoral Sul paraibano possuem uma grande diversidade no quadro vegetal, no qual as unidades fitogeográficas são determinadas, além das condições climáticas, pelas condições variadas dos compartimentos morfológicos e pedológicos presentes na região, com destaque para a Mata Atlântica, os Cerrados, os Manguezais, e os Campos de Várzea.

Por outro lado, sofre com um elevado índice de devastação da vegetação nativa, como consequência das diversas atividades exploratórias desordenadas na região, principalmente para o cultivo da monocultura da cana-de-açúcar e abacaxi, indústrias de mineração, instalação de loteamentos, estruturas viárias e implantação de açudes (COELHO, 2011).

3.2 Aspectos Hidrológicos

Os principais rios da zona costeira sul do estado da Paraíba, constituem os mananciais de captação de água para os diversos usos na região. Assim, os projetos implantados ou planejados de captação para abastecimento de água distribuem-se nas sub-bacias dos rios Abiaí-Papocas e Gramame (com suas sub-bacias do rio Mamuaba e Mumbaba) que deságuam no oceano Atlântico e Marés, que drena para o rio Sanhauá, e este para o rio Paraíba.

Por meio das características físicas das bacias hidrográficas pode-se analisar o comportamento hidrológico das mesmas, servindo como suporte nas atividades de gestão e conservação dos rios. Nesses termos, é adotada a metodologia sugerida por

Villela & Mattos (1975), na elaboração dos principais parâmetros característicos das bacias hidrográficas conforme detalhado no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Expressões para os índices morfométricos

Coeficiente de compacidade $Kc = 0.28 \times P / \sqrt{A}$	Coeficiente de forma $Kf = A / L^2$
Índice de circularidade $Ic = 12.57 \times A / P^2$	Densidade Hidrográfica $Dh = N / A$
Densidade de drenagem $Dd = Lt / A$	Declividade média $H = (D \times Ltc / A) \times 100$

Fonte: adaptado de Villela & Mattos (1975).

Onde:

A é a área da bacia hidrográfica;

P é o perímetro da bacia hidrográfica;

L é o comprimento do rio principal da bacia hidrográfica;

Lt é o comprimento total dos rios da bacia hidrográfica;

N é o número de rios da bacia hidrográfica;

Ltc é o comprimento total das curvas de nível;

D é a distância entre as curvas de nível.

No Quadro 2 são apresentados os valores dos parâmetros de cada sub-bacia hidrográfica analisada.

Quadro 2 – Parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas da área de estudo

Sub-bacias	Área (km²)	Perímetro (km²)	Kc	Kf	Dd	L (km)	L' (km)
Aterro	23,45	21,16	1,22	0,52	0,91	6,72	21,26
Cupissura	37,18	35,14	1,61	0,19	0,70	14,04	25,99
Gramame	254,30	77,48	1,36	0,30	1,34	29,30	340,19
Marés	27,30	40,13	2,04	0,28	0,46	10,45	14,04
Mumbaba	178,06	105,44	2,21	0,08	0,90	48,07	160,78
Papocas	63,52	40,75	1,43	0,22	0,95	16,93	60,46
Taperubus	56,84	37,82	1,40	0,24	0,76	15,50	43,19
Dois Rios	23,69	26,92	1,55	0,45	0,77	7,24	18,25
Muzumba	49,22	35,20	1,40	0,17	1,07	16,95	52,68

3.3 Aspectos Socioeconômicos

As regiões costeiras sul do estado da Paraíba e norte do estado de Pernambuco abrigam importantes bacias hidrográficas captadoras e fornecedoras de água para uso em diversas atividades nessas unidades da federação.

Na Paraíba corresponde à mesorregião denominada Mata Paraibana e microrregiões de João Pessoa e Litoral Sul, conforme a divisão do IBGE. Em

Pernambuco referem-se à mesorregião da Zona da Mata Pernambucana e microrregião da Mata Setentrional Pernambucana. Os municípios que tem território em parte da bacia do Abiaí-Papocas são: Itambé e Goiana. Os municípios paraibanos inseridos nas bacias são: Alhandra, Bayeux, Caaporã, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu, Pedras de Fogo e Pitimbu.

A bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas está inserida em parte dos municípios de Pedras de Fogo, Alhandra, Pitimbú e Caaporã no Estado da Paraíba, com uma área de 375,21km², e nos municípios de Itambé e Goiana no Estado de Pernambuco, com uma área de 87,19km².

Na Paraíba, a bacia hidrográfica do rio Gramame compreende uma área de 589,1 km², abrangendo os municípios de Pedras de Fogo, Alhandra, Pitimbú, João Pessoa, Conde, Cruz do Espírito Santo, São Miguel de Taipu e Santa Rita. A bacia hidrográfica do rio Marés apresenta área de 30,3 km², nos municípios de João Pessoa, Bayeux e Santa Rita. Em termos socioeconômicos, segundo dados disponíveis no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os municípios, os quais fazem parte das bacias hidrográficas dos rios Abiaí-Papocas, Gramame e Marés apresentavam no ano de 2010 uma população total de 1.069.206 habitantes, dos quais 1.001.950 habitantes na área urbana e 67.197 na área rural. Em termos econômicos, no ano de 2014 existiam na região um total de 21.147 empresas, ocupando 362.223 pessoas, com um PIB per capita variando entre R\$ 4.441,68 no município de São Miguel de Taipu, a R\$ 18.678,44 no município do Conde – PB (Quadro 3).

Com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), referido ao ano de 2013, o maior valor é do município de João Pessoa, de 0,763, alto desenvolvimento humano, enquanto que o menor, 0,548 corresponde a baixo desenvolvimento humano, é o do município de São Miguel de Taipu. No Quadro 3 se observam dados de população e economia desses municípios.

Em termos de desenvolvimento econômico se observa que a bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas sofre pressões em dois eixos, o primeiro relativo à região metropolitana de João Pessoa, que tende a crescer no sentido sul em direção à região de análise, o segundo relativo à região metropolitana de Recife, capital do estado de Pernambuco, cuja direção é inversa e o crescimento ocorre para o norte, sendo a cidade de Goiana uns dos principais polos de desenvolvimento com implantação de grande setor industrial. Não se pode deixar de observar a pressão ainda exercida e considerada

como de maior expressão, que é a da atividade sucroalcooleira, que ocupa boa parte da região da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas (BEZERRA, 2013).

Quadro 3 – Aspectos Socioeconômicos da área de estudo

Município	População (2010)*			Economia (2014)*			IDH (2013)**	
	Urbana	Rural	Total	Nº de empresas	Pessoal ocupado	PIB per capita (R\$)	Índice	Classificação
Alhandra	9.461	7.374	16.894	178	3.823	14.724, 25	0,582	Baixo
Bayeux	98.793	923	99.716	1.135	10.389	8.350,47	0,649	Médio
Caaporã	17.548	2.814	20.362	154	4.711	17.238,88	0,602	Médio
Conde	14.487	6.913	21.400	278	3.343	18.678,44	0,618	Médio
Cruz do Espírito Santo	7.440	8.817	16.257	76	1.154	5.951,38	0,552	Baixo
João Pessoa	720.785	2.730	723.515	17.753	313.883	13.786,44	0,763	Alto
Santa Rita	103.717	16.593	120.310	1.214	19.676	11.577,60	0,627	Médio
São Miguel de Taipu	2.977	3.719	6.696	34	432	4.441,68	0,548	Baixo
Pedras de Fogo	16.358	10.674	27.032	230	3.833	12.152,92	0,590	Baixo
Pitimbu	10.384	6.640	17.024	95	979	6.108,66	0,570	Baixo

Fonte: *IBGE Cidades (2014); **ONU (2013).

A bacia hidrográfica do rio Gramame, apresenta um comportamento similar à do rio Abiaí-Papocas, com a urbanização crescente nas áreas a leste da bacia no baixo curso do rio, além das atividades industriais principalmente nos municípios do Conde e João Pessoa.

Sobre a bacia hidrográfica do rio Marés, Carrilho (2008), levantou as principais atividades econômicas inseridas na bacia. São atividades de mineração (extração de areia para construção civil), indústrias, avicultura e lavouras de coco e abacaxi. Se observa ainda forte pressão da urbanização ao leste da bacia, principalmente em áreas no entorno do reservatório Marés.

3.3 Obras de Armazenamento e Captação de Água

Na bacia hidrográfica do rio Marés, a barragem do mesmo nome, foi construída na primeira metade do século XX. Localizado em João Pessoa o reservatório fluvial possui capacidade máxima de 2.136.637 m³ de água, Abastece parte dos municípios de Bayeux, Santa Rita e João Pessoa (PARAÍBA, 2013). A estação de tratamento de águas ETA – Marés localiza-se imediatamente a jusante da barragem.

O rio Mumbaba, afluente do Gramame em uma sessão a jusante do reservatório Gramame e Mamuaba, possui uma captação a fio d'água localizada na zona rural de

João Pessoa, próxima do Distrito Industrial. Suas águas auxiliam no abastecimento humano da cidade de João Pessoa, por meio de uma barragem de nível e sistema adutor para o reservatório Marés.

Na bacia do rio Gramame o principal reservatório público localiza-se no município de Santa Rita, com capacidade para até 56.937.000 m³ de água. Abastece cerca de 70% da Grande João Pessoa. A barragem denominada Gramame e Mamuaba forma o reservatório a partir da acumulação de águas do rio Gramame e seu afluente, Mamuaba, à altura do médio para o baixo curso do rio Gramame. Suas águas são aduzidas até a ETA – Gramame no município de João Pessoa ao lado da rodovia BR-101.

Na bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas, as obras de armazenamento e captação de água se dão por meio de projetos elaborados pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, com a previsão da execução de quatro barragens para aumento do suprimento hídrico da região metropolitana de João Pessoa. As barragens planejadas são locadas nos rios Cupissura (barragem Cupissura), Taperubus (barragem Alhandra), Papocas (barragem Papocas) e Aterro (barragem Abiaí). A barragem Cupissura, a única planejada já com projeto executivo, será locada na zona rural do município de Caaporã – PB. Segundo a CAGEPA (PARAÍBA, 2013), o reservatório será capaz de reforçar o abastecimento da Grande João Pessoa contemplando também os municípios de Alhandra e Caaporã. O lago da barragem utilizará uma área com 203,28 ha, resultando em uma capacidade de acumulação de 9.562.000 m³. Terá altura máxima de 18 m, e 584 m de comprimento, suas águas serão aduzidas por adutoras para a ETA Gramame e Mamuaba.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho envolve a construção de um sistema de indicadores, cálculo e avaliação da vulnerabilidade referente ao solo e seu uso nas bacias hidrográficas da zona costeira sul da Paraíba. Trata-se de um estudo de natureza qualitativa a partir de dados quantitativos, iniciando com a pesquisa bibliográfica sobre a identificação e caracterização das áreas de estudo.

Houve necessidade da obtenção de dados preliminares sobre a área de estudo que estão disponíveis em cartas topográficas digitais, dados pluviométricos fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA – PB), e

pela Agência Nacional de Águas (ANA), bem como informações sobre relevo, geologia, tipos de solos, para a elaboração do mapa de risco a perda de solo das bacias hidrográficas dos rios Marés e do Mumbaba, também pesquisada em sites de órgãos públicos.

Os levantamentos cartográficos foram realizados a partir de mapas digitais oriundos de estudos anteriores, como os de Bezerra (2013) para a bacia hidrográfica do Abiaí-Papocas e, o de Cavalcanti (2014) para a bacia hidrográfica do rio Gramame, com a integração dos dados realizada com o uso de Sistemas de Informações Geográficas – SIGs, levantamentos e medições em campo. Para a bacia hidrográfica do rio Marés utilizou-se a cartografia elaborada por Carrilho (2009). A cartografia da bacia hidrográfica do rio Mumbaba foi obtida do trabalho de Coelho (2011).

Os mapas de uso do solo foram obtidos de Bezerra (2013) e Cavalcanti (2014), enquanto que os mapas das bacias hidrográficas do rio Marés e do rio Mumbaba foram elaborados a partir de imagens obtidas do Google Earth, referidas ao ano de 2013.

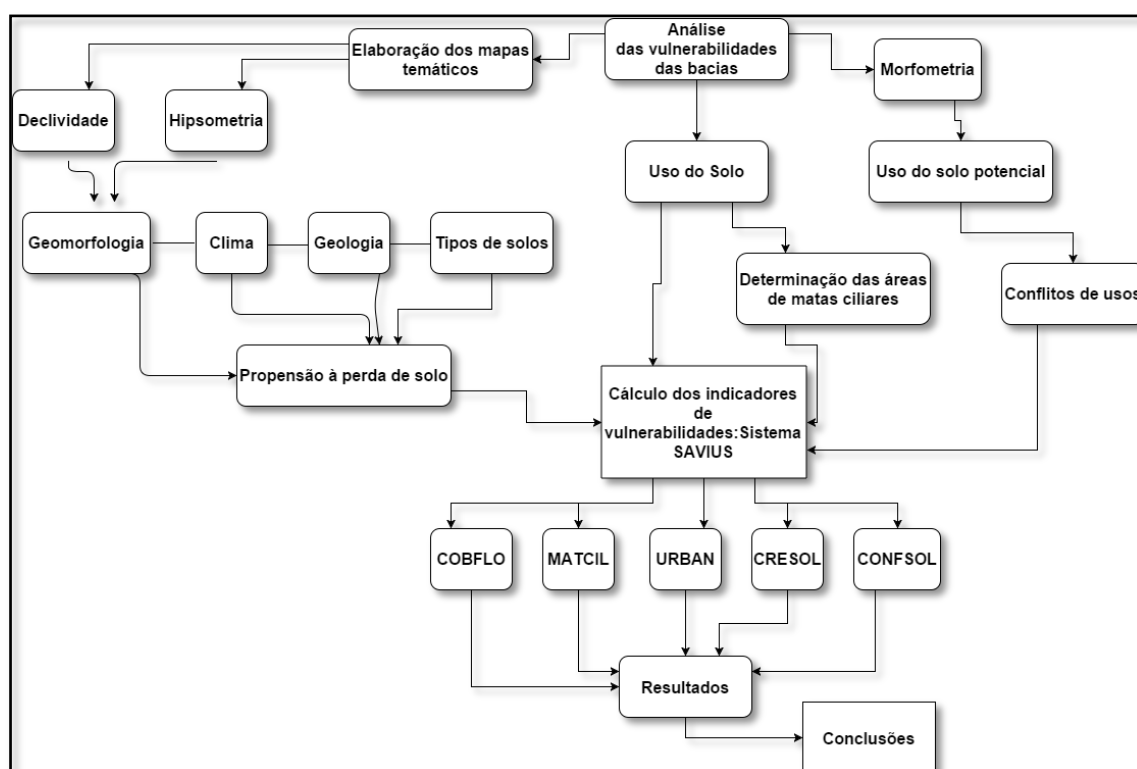
Para a determinação da propensão à perda do solo foi utilizada a metodologia de Crepani et al., (2001) que tem como subsídios cinco temáticas básicas: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e climatologia. O indicador relativo a áreas propensas a perda de solo foi estabelecido com base nessa metodologia.

O conceito de uso potencial da terra de Sicco-Smit (1978) foi utilizado para conjuntamente com as definições de conflitos de uso feitas por Valle Júnior (2008), adaptadas por Cavalcanti (2014) estabelecer indicadores relativos a conformidade do uso do solo.

Os mapas de uso do solo das bacias hidrográficas permitiram a construção, cálculo e avaliação dos indicadores relativos as áreas florestadas e a presença de matas ciliares, além das áreas urbanas.

A análise comparativa entre as bacias hidrográficas contribuintes aos sistemas construídos e planejados para abastecimento de água baseia-se na determinação e comparação de indicadores de vulnerabilidade, integrando informações das bacias hidrográficas estudadas como: percentual de áreas florestadas, percentual de áreas dos rios com matas ciliares conforme determinado pelo Código Florestal (BRASIL, 2012), percentual de áreas urbanizadas, percentual de áreas de propensão ao risco à perda de solo, e percentual de áreas com presença de conflitos de uso. O fluxograma da Figura 2 mostra de forma esquemática o procedimento metodológico executado nessa pesquisa.

Figura 2 – Fluxograma da pesquisa adotada



4.1 Tratamento e Integração dos Dados

Cada trabalho realizado anteriormente e utilizado como referencial nessa pesquisa teve parte de seus dados adaptados de acordo com a necessidade da pesquisa, conforme descrito a seguir. Do trabalho de Bezerra (2013), utilizou-se os limites das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas, e adaptou-se o uso do solo atual. O Coeficiente de Rugosidade (CR) foi reelaborado para as sub-bacias hidrográficas dessa pesquisa e posteriormente realizado os conflitos de usos, os quais não são abordados no trabalho de Bezerra (2013). Da pesquisa realizada por Cavalcanti (2014), com sua área de estudo sendo a partir da barragem Gramame – Mamuaba até suas nascentes, adaptou-se o uso do solo, o uso potencial e os conflitos de usos. Para a bacia hidrográfica do rio Marés, o uso e ocupação do solo foi adaptado e atualizado de Carrilho (2009). E finalmente, da pesquisa realizada por Coelho (2011), adaptou-se o limite e o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Mumbaba, o coeficiente de rugosidade e os conflitos de usos foram elaborados posteriormente. Os mapas de uso do solo das bacias hidrográficas analisadas foram mapeados e padronizados conforme recomendação do Manual do Uso da Terra (IBGE, 2006).

Após a etapa preliminar tem início a fase de análise das áreas sujeitas à vulnerabilidades, onde foram destacados os dados relevantes sobre o local, em seguida realizado o mapeamento do uso do solo para a respectiva bacia visando à identificação das áreas de vulnerabilidade. Para isso foi utilizado o software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), em sua versão 5.1.2 (2013) para monitoramento e gerenciamento ambiental, que dispõe de uma estrutura que permite a elaboração do uso e ocupação do solo, mapas morfológicos, dentre outros (CÂMARA et al., 1996). Foram utilizadas também imagens de satélites disponíveis gratuitamente no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e imagens de radar disponíveis no *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA).

4.2 Elaboração dos Mapas Temáticos Base

4.2.1 CLIMA

O mapa climático foi elaborado com a aquisição de dados dos postos pluviométricos dos municípios do Conde, Bayeux, Santa Rita e João Pessoa, adquiridos no *site* da AESA-PB, do ano de 2014. Em seguida, o mapa de isoietas foi gerado com os dados pluviométricos e com a localização dos postos, onde posteriormente calculado em ambiente SIG.

4.2.2 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA

Os mapas geológico, geomorfológico e de tipos de solos foram adquirido em formato digital (.pdf) por meio do endereço eletrônico da AESA-PB, onde estavam a nível estadual, em seguida foram georreferenciados, definidas as classes correspondentes a cada tipo de mapa e adaptados em ambiente SIG para a área de estudo.

4.2.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Cada bacia hidrográfica analisada teve sua origem de informações de fontes distintas. Para a bacia hidrográfica do rio Abiaí o uso do solo foi obtido do trabalho de

Bezerra (2013); para a bacia hidrográfica do rio Gramame o uso do solo foi adquirido do trabalho de Cavalcanti (2014); para a bacia hidrográfica do rio Marés foi oriundo do trabalho de Carrilho (2008) e em seguida atualizado; para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba o uso do solo adaptado de Coelho (2011).

4.3 Áreas Florestadas nas Bacias Hidrográficas

É bastante conhecido que as atividades antrópicas alteram o ciclo hidrológico em particular, na relação chuva-deflúvio e nos parâmetros de qualidade da água. É evidente que uma bacia natural deve reunir as melhores condições no sentido da produção de água dos rios com maiores vazões de base, menores picos de enchentes, águas de melhores propriedades químicas. Assim quanto mais áreas naturais da bacia, melhores serão as condições para a produção da água.

O Código Florestal (BRASIL, 2012) determina distâncias destinadas à conservação e preservação de vegetação ciliar ao longo dos cursos fluviais. Assim, pode-se calcular essas delimitações em ambiente SIG, sobrepor ao mapeamento de uso do solo de toda área de estudo para dessa forma, exibir e quantificar as áreas em conformidade legal.

Como se trata de áreas no bioma Mata Atlântica, a exigência legal é de 20% das propriedades rurais destinadas à Reserva Legal. No entanto diversas propriedades se encontram com áreas destinadas a esse fim ainda em recuperação, o que não possibilita, em algumas bacias, se alcançar percentuais de áreas florestadas maiores do que esse índice.

Os valores das áreas florestadas nas bacias e sub-bacias hidrográficas, utilizados para avaliação da vulnerabilidade, foram obtidas dos mapas do uso solo utilizando-se o SIG.

4.4 Propensão à Perda de Solo

A metodologia de Crepani et al., (2001), fornece uma visão sinótica e holística da paisagem ao integrar os estudos morfodinâmicos de forma empírica, de acordo com o estágio de evolução das unidades da paisagem, denominadas Unidade Territorial Básica

(UTB), correspondentes à Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima (FLORENZANO, 2011), na qual se utiliza a Equação 1:

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

Onde:

V = vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = vulnerabilidade para o tema Clima

Na escala do Quadro 4 os valores próximos a 1,0 correspondem às áreas consideradas estáveis, os valores próximos a 2,0 correspondem à média estabilidade e os valores próximos a 3,0 representam as áreas instáveis, com alto índice de vulnerabilidade.

O indicador relativo à propensão a perda de solo nas bacias é definido como a média ponderada pela área das sub-bacias hidrográficas relativamente aos valores definidos variando de 1,0 a 3,0, como observado no Quadro 4.

Quadro 4 – Escala de propensão ao risco à perda de solo

Unidade de Paisagem	Média			Propensão ao risco	Grau de Saturação			
					Vermelho	Verde	Azul	Cores
U1	↑ INSTABILIDADE ↓	3,0	Instável	255	0	0		
U2		2,9		255	51	0		
U3		2,8		255	102	0		
U4		2,7		255	153	0		
U5		2,6	Moderadamente Instável	255	204	0		
U6		2,5		255	255	0		
U7		2,4		204	255	0		
U8		2,3		153	255	0		
U9		2,2	Medianamente Estável/Instável	102	255	0		
U10		2,1		51	255	0		
U11		2,0		0	255	0		
U12		1,9		0	255	51		
U13		1,8	Moderadamente Estável	0	255	102		
U14		1,7		0	255	153		
U15		1,6		0	255	204		
U16		1,5		0	255	255		
U17		1,4	Estável	0	204	255		
U18		1,3		0	153	255		
U19		1,2		0	102	255		
U20		1,1		0	51	255		
U21		1,0		0	0	255		

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

4.4.1. RISCO PARA O TEMA CLIMATOLOGIA

A precipitação é um aspecto que tem bastante peso na caracterização da propensão à perda de solo, pois será maior caso os valores de precipitação forem altos, conforme está representado no Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação em relação à intensidade pluviométrica

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Média	Propensão ao risco
< 50	1,0	Estável
50 - 75	1,1	
75 - 100	1,2	
100 - 125	1,3	
125 - 150	1,4	Moderadamente estável
150 - 175	1,5	
175 - 200	1,6	
200 - 225	1,7	
225 - 250	1,8	Medianamente estável/instável
250 - 275	1,9	
275 - 300	2,0	
300 - 325	2,1	
325 - 350	2,2	Moderadamente instável
350 - 375	2,3	
375 - 400	2,4	
400 - 425	2,5	
425 - 450	2,6	Instável
450 - 475	2,7	
475 - 500	2,8	
500 - 525	2,9	
> 525	3,0	

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

4.4.2 RISCO PARA O TEMA GEOLOGIA

O mapa de risco geológico foi executado de acordo com a classificação apresentada por Crepani et al., (2001), onde os autores adotaram critérios de evolução das rochas, grau de coesão, que leva em conta a resistências das rochas ao intemperismo (físico e químico) e à denudação. Com isso, o Quadro 6, mostra o risco de cada tipo de classe rochosa encontrada na área de estudo.

Quadro 6 – Classificação dos riscos referente à geologia

Litologia	Média	Propensão ao risco
Quartzitos ou metaquartzito	1,0	Estável
Riólito, Granito, Dacito	1,1	
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	
Migmatitos, Gnaisses	1,3	
Fonólito, Nefelina, Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Moderadamente estável
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	
Milonitos, Quartzo, muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	
Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8	Medianamente estável/instável
Hornblenda, Tremolita, Actinolita, xisto	1,9	
Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	
Filito, Metassiltito	2,1	
Ardósia, Metargilito	2,2	
Mármore	2,3	Moderadamente instável
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4	
Conglomerados, Subgrauvacas	2,5	
Grauvascas, Arcózios	2,6	
Siltitos, Argilitos	2,7	Instável
Folhelhos	2,8	
Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9	
Sedimentos, Inconsolidados: Aluviões, Colúvios	3,0	

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

4.4.3 RISCO PARA O TEMA GEOMORFOLOGIA

O cálculo do risco referente ao tema Geomorfologia foi subdividido em outros três planos de informação de acordo com Crepani et al., (2001): amplitude altimétrica, índice de dissecação e declividade de acordo com a Equação 2. Para os valores de amplitude altimétrica e declividade mais elevados, foram associados os maiores índices na escala de risco, a partir do princípio de que quanto mais alto e declivoso é um local, maior é o risco a perda de solo a qual o mesmo é sujeito, sendo, considerados locais mais instáveis (Quadros 7 e 8).

$$R = \frac{G+A+D}{3} \quad (2)$$

Onde:

R = risco para o tema geomorfologia;

G = risco atribuído ao tema grau de dissecação;

A = risco atribuído à amplitude altimétrica;

D = risco atribuído à declividade.

Quadro 7 – Risco para a amplitude altimétrica

Amplitude altimétrica (m)	Média	Propensão ao risco
<20	1,0	Estável
20 a 29,5	1,1	
29,5 a 39	1,2	
39 a 48,5	1,3	
48,5 a 58	1,4	Moderadamente estável
58 a 67,5	1,5	
67,5 a 77	1,6	
77 a 84,5	1,7	
84,5 a 94	1,8	Medianamente estável/instável
94 a 103,5	1,9	
103,5 a 113	2,0	
113 a 122,5	2,1	
122,5 a 132	2,2	Moderadamente instável
132 a 141,5	2,3	
141,5 a 151	2,4	
151 a 160,5	2,5	
160,5 a 170	2,6	Instável
170 - 179,5	2,7	
179,5 - 189	2,8	
189 - 200	2,9	
>200	3,0	

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

Quadro 8 – Declividade e a propensão ao risco

Declividade (%)	Classe morfométrica	Média	Propensão ao risco
< 2	Muito Baixa	1,0	Estável
2 a 6	Baixa	1,5	Moderadamente estável
6 a 20	Média	2,0	Medianamente estável/instável
20 a 50	Alta	2,5	Moderadamente instável
>50	Muito Alta	3,0	Instável

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

A intensidade de dissecação está relacionada à porosidade e à permeabilidade do solo e rochas. Dessa forma, quanto mais impermeáveis são os solos e as rochas, uma maior quantidade de água em superfície será acumulada e conseqüentemente há maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento, gerando assim uma maior

capacidade erosiva (CREPANI et al., 2001). Esse plano de informação foi elaborado com base no cálculo da amplitude de interflúvio, que é calculada como sendo o inverso da densidade de drenagem, que foi determinada na etapa da caracterização morfométrica das sub-bacias hidrográficas hidrográficas (Quadro 9).

Quadro 9 – Classificação de risco em relação a amplitude do interflúvio

Amplitude do interflúvio (m)	Média	Propensão ao risco
>5000	1,0	Estável
4750 - 5000	1,1	
4500 - 4750	1,2	
4250 - 4500	1,3	
4000 - 4250	1,4	Moderadamente estável
3750 - 4000	1,5	
3500 - 3750	1,6	
3250 - 3500	1,7	
3000 - 3250	1,8	Medianamente estável/instável
2750 - 3000	1,9	
2500 - 2750	2,0	
2250 - 2500	2,1	
2000 - 2250	2,2	Moderadamente instável
1750 - 2000	2,3	
1500 - 1750	2,4	
1250 - 1500	2,5	
1000 - 1250	2,6	Instável
750 - 1000	2,7	
500 - 750	2,8	
250 - 500	2,9	
<250	3,0	

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

4.4.4 RISCO PARA O TEMA PEDOLOGIA

Para o cálculo do risco do tema pedológico Crepani et al., (2001) estabeleceram critérios com base erodibilidade dos solos, esses aspectos estão atrelados aos tipos de argilas encontradas, profundidade e permeabilidade e outros parâmetros estruturais. No Quadro 10, observa-se os níveis de risco para cada tipo de solo da área de estudo.

Quadro 10 – Pesos adotados para os níveis de risco da pedologia

Classe de solo	Média	Propensão ao risco
Latossolos	1,0	Estável
Argissolos	2,0	Medianamente Estável/Instável
Luvisolos		
Chernossolos		
Planossolos		
Espodossolos		
Cambissolos	2,5	Moderadamente instável
Neossolos	3,0	Instável
Vertissolos		
Organossolos		
Gleissolos		
Plintossolos		
Afloramento rochoso		

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

4.4.5 RISCO PARA O TEMA USO DO SOLO

Os valores de risco atribuídos ao uso do solo estão diretamente relacionados a densidade de cobertura vegetação da área analisada segundo a metodologia de Crepani et al., (2001). Os autores afirmam que uma elevada densidade de vegetação é um fator de proteção da unidade contra processos de erosões, ou seja, quanto maior a densidade de cobertura vegetal, maior será a estabilidade do terreno.

Crepani et al., (2001) utilizou informações sobre cobertura vegetal do projeto RADAMBRASIL (1973 – 1987) para todo o Brasil, e de acordo com sua classificação a cobertura vegetal da área de estudo possui o grau de estabilidade 1,0, sugerido para o tipo de vegetação Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (Floresta Pluvial Tropical), popularmente conhecida como Mata Atlântica. Os valores de risco para os corpos hídricos ficaram estabelecidos em 1,0; os valores de lavouras foram adaptados conforme a metodologia de Crepani et al., (2001); as áreas urbanizadas e as estradas apresentaram o grau risco mais elevado (3,0) (Quadros 11, 12, 13 e 14).

Quadro 11 – Risco para o uso do solo das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas

Uso e ocupação do solo	Risco	Unidade de Paisagem
Hidrografia	1,0	U21
Vegetação	1,0	U21
Mangue	1,4	U17
Exploração Granjeira	2,8	U3
Exploração Agropecuária	2,9	U2
Rodovias	3,0	U1
Mineração	3,0	U1
Área Industrial	3,0	U1
Área Urbana	3,0	U1

Fonte: adaptado de Bezerra (2013).

Quadro 12 – Risco para o uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Gramame e Mamuaba

Uso e ocupação do solo	Risco	Unidade de Paisagem
Hidrografia	1,0	U21
Vegetação	1,0	U21
Cultura	3,0	U1
Área urbana	3,0	U1
Rodovias	3,0	U1
Abacaxi	3,0	U1
Bambuzal	1,2	U19
Coqueiral	2,9	U2
Eucalipto	1,0	U21
Vegetação rasteira	2,3	U8
Mandioca	3,0	U1
Areial	3,0	U1

Fonte: adaptado de Cavalcanti (2014).

Quadro 13 – Risco para o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Marés

Uso e ocupação do solo	Risco	Unidade de Paisagem
Área Urbana	3,0	U1
Avicultura	2,5	U6
Cultura	1,5	U16
Corpos d'água	1,0	U21
Lavoura – Coco	1,2	U19
Mineração	3,0	U1
Solo Exposto	3,0	U1
Vegetação	1,0	U21
Gramíneas	2,0	U11

Fonte: Adaptado de Carrilho (2009).

Quadro 14 – Risco para o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Uso e ocupação do solo	Risco	Unidade de Paisagem
Área Urbana	3,0	U1
Cultura Branca	1,2	U19
Lavoura – Cana	3,0	U1
Lavoura – Abacaxi	3,0	U1
Mineração	3,0	U1
Vegetação	1,0	U21

Fonte: adaptado de Coelho (2011).

4.5 Definição do Uso Potencial

De acordo com a metodologia de Sicco-Smit (1978), as áreas mais declivosas e as áreas com os valores mais baixos de permeabilidade do solo é indicado o uso para florestamento, com o intuito de se evitar a perda de solo. Em contrapartida, as áreas menos propensas à perda de solo são indicados usos para a agricultura. Abaixo segue a Equação do cálculo do Coeficiente de Rugosidade (Equação 3).

$$CR = D.H \quad (3)$$

Onde:

CR = Coeficiente de rugosidade (km⁻¹)

D = Densidade de drenagem da sub-bacia hidrográfica (km/km²)

H = Declividade (adimensional)

A densidade de drenagem foi calculada conforme a Equação 4.

$$D = Cc / A \quad (4)$$

Onde:

D = Densidade de drenagem da sub-bacia hidrográfica (km/km²)

Cc = Comprimento dos cursos d'água da sub-bacia hidrográfica (km)

A = Área da sub-bacia hidrográfica (km²)

Nesse sentido, aliado à metodologia de Crepani et al., (2001), que visa estabelecer as áreas propensas à perda de solo, o Coeficiente de Rugosidade (CR), foi elaborado para indicar tipos de uso e ocupação mais adequados à realidade da área analisada, visto que o mesmo caracteriza os usos potenciais conforme o Quadro 15.

Quadro 15 – Classes do uso do solo potencial

A – Terras apropriadas à agricultura
B – Terras apropriadas à pecuária
C – Terras apropriadas à pecuária e ao reflorestamento
D – Terras apropriadas às florestas e ao reflorestamento

Fonte: Rocha & Kurts (2001).

Segundo essa metodologia, os menores valores do índice de rugosidade representam o tipo de uso para agricultura (A), e os maiores valores serão referentes ao reflorestamento (D). As classes intermediárias de pecuária (B) e pecuária/reflorestamento (C) serão os valores entre a amplitude das classes.

4.6 Mapeamento dos Conflitos de Uso do Solo

Para o mapeamento das inadequações usos do solo foram necessárias as informações sobre o uso do solo (atual) e do uso do solo potencial (adquiridos pelo coeficiente de rugosidade), e em seguida aplica-se a metodologia de Valle Júnior. (2008) que utiliza os critérios conforme o Quadro 16.

Quadro 16 – Pesos adotados para os usos e ocupação do solo

Classes do Uso potencial e Atual	Peso
Agricultura	1,0
Pecuária	2,0
Pecuária/Floresta	3,0
Floresta	4,0

Fonte: adaptado de Valle Júnior (2013).

Com base nessa classificação é possível avaliar o quão a pequena bacia hidrográfica está distante do uso mais adequado para a mesma. Essa análise é efetuada com base na diferença entre o uso atual e o potencial calculado gerando com isso uma

classe de conflito e recomendações a serem adotadas em cada situação, como se pode observar no Quadro 17.

Quadro 17 – Classes de conflitos de usos

Classe 1 = Conflito (1)	Ex: $4,0 - 3,0 = 1,0$ $3,0 - 2,0 = 1,0$ $2,0 - 1,0 = 1,0$	Apresentam riscos ou limitações permanentes severas quando usadas para culturas anuais e pastagens, e o seu uso deve ser orientado por técnicas de conservação do solo.	Conflito baixo
Classe 2 = Conflito (2)	Ex: $4,0 - 2,0 = 2,0$ $3,0 - 1,0 = 2,0$	Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem nativa, reflorestamento ou preservação ambiental.	Conflito médio
Classe 3 = Conflito (3)	Ex: $4,0 - 1,0 = 3,0$	Terras impróprias para cultivos intensivos e pastagens, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental.	Conflito alto

Fonte: adaptado de Valle Júnior (2013).

Em seguida, foram elaborados mapas que permitiram visualizar as inadequações do uso do solo em cada unidade de estudo. Logo após, esses mapas foram comparados ao produzido com a diferença de cenários, o que permitiu validá-los, assim como, avaliar quais os melhores usos para a área de estudo.

4.7 Construção e Cálculo dos Indicadores de Vulnerabilidade

Os indicadores de vulnerabilidade referidos às características dos solos e seu uso nas bacias hidrográficas devem refletir as influências antrópicas considerando os meios físico, biótico e econômico. Assim, foram definidos os indicadores de vulnerabilidade relativos ao grau da ausência de cobertura florestal, matas ciliares nos cursos d'água e presença de áreas urbanas nas bacias hidrográficas, acatando-se os resultados da pesquisa efetuada por Magalhães Jr. et al., (2003). Acrescidos a esses indicadores, foram definidos outros de importância como à propensão a perda de solo e existência de

conflitos de uso do solo nas bacias hidrográficas em foco, conforme definições feitas a seguir.

Os indicadores de vulnerabilidade devem traduzir a fragilidade das bacias frente ao grau de destruição do ativo ambiental ou à propensão à perda de funcionalidade relativa à variável influente destacada. É considerada positiva a relação em que o aumento no valor da variável resultaria em aumento da vulnerabilidade. Por outro lado, a relação é negativa se no aumento no valor da variável, representada no indicador destacado, decorrer a diminuição da vulnerabilidade. Em termos numéricos a vulnerabilidade é expressa por meio de um índice variando de 0 a 1, onde 0 significa ausência de possibilidades de danos, ou baixa vulnerabilidade, e 1 a pior situação da variável para a avaliação da vulnerabilidade, expressando-se comumente em percentagem, segundo a escala adotada para classificação e representação dos índices.

Para o detalhamento da avaliação da vulnerabilidade as bacias hidrográficas foram discretizadas em partes compreendendo pequenas sub-bacias incrementais, nas quais são calculados os indicadores. Não são consideradas no cálculo dos indicadores as áreas dos corpos hídricos, muito embora estejam contempladas na área total de cada bacia hidrográfica enfocada.

4.7.1 INDICADOR DE COBERTURA FLORESTAL

Esse indicador refere-se à proporção relativa à ausência de cobertura florestal concernente à totalidade das áreas da bacia hidrográfica (COBFLO), extraída por sub-bacia do mapeamento de remanescentes da Mata Atlântica obtidos dos mapeamentos cartográficos efetuados. Sendo o indicador de relação negativa, com a vulnerabilidade é escrito para a bacia hidrográfica conforme a Equação 5:

$$\text{COBFLO} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \text{AF}_i}{\sum \text{A}_i} \quad (5)$$

Onde:

COBFLO = indicador de área florestada da bacia hidrográfica;

AF_i = área florestada na sub-bacia hidrográfica;

A_i = área das sub-bacias hidrográficas;

n = número de sub-bacias hidrográficas consideradas na bacia hidrográfica.

4.7.2 INDICADOR DE MATAS CILIARES

O indicador de matas ciliares (MATCIL) representa a proporção de comprimento de rios da bacia ou da sub-bacia hidrográfica que não apresentam conformidade relativa ao Código Florestal (BRASIL, 2012), relativamente ao comprimento total dos seus rios; ou seja, áreas de matas ciliares de pelo menos 30 metros de largura nas duas margens para rios com até 10 m de largura da calha principal, ou segundo escalonamento previsto nesse diploma legal. A Equação 6 descreve a expressão do índice como uma relação negativa com a vulnerabilidade para a bacia hidrográfica:

$$\text{MATCIL} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \text{LMC}_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (6)$$

Onde:

MATCIL = indicador de matas ciliares da bacia hidrográfica;

LMC_i = comprimento das áreas dos rios com matas ciliares de acordo com o Código Florestal na sub-bacia hidrográfica i ;

L_i = comprimento das áreas dos rios na sub-bacia hidrográfica i ;

n = número de rios da sub-bacia hidrográfica i .

4.7.3 INDICADOR DE ÁREAS URBANAS

O indicador de áreas urbanas (URBAN) foi definido como sendo a proporção de áreas urbanas relativamente a área da bacia ou sub-bacia hidrográfica considerada. Sendo um indicador com relação positiva, ou seja, quanto maiores as áreas urbanas na bacia maior a vulnerabilidade, a Equação 7 é definida na seguinte fórmula para a bacia hidrográfica:

$$\text{URBAN} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{AV}_i}{\sum_{i=1}^n \text{A}_i} \quad (7)$$

Onde:

URBAN = indicador de áreas urbanas na bacia hidrográfica;

AV_i = área urbanizada da sub-bacia hidrográfica i ;

A_i = área das sub-bacia hidrográfica i ;

n = número de sub-bacias consideradas na bacia hidrográfica.

4.7.4 INDICADOR DE PROPENSÃO À PERDA DE SOLO

O indicador de propensão à perda do solo (CRESOL) é obtido pelo cálculo de perda de solo média por sub-bacia hidrográfica, seguindo a metodologia de Crepani et al., (2001). Esta metodologia especifica valores de acordo com a escala de propensão a perda de solo, com o valor da média V que agrega os temas Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima, variando de 1,0 a 3,0, sendo o menor valor equivalente a solo estável e o maior a solo instável. Para a mudança de escala visando a variação de 0 a 1 aplica-se uma transformação linear de acordo com a Equação 8:

$$CRESOL = \frac{1}{2} (V - 1) \quad (8)$$

Assim, as escalas de propensão ao risco são relacionadas conforme o Quadro 18:

Quadro 18 – Escala de propensão à perda de solo para o cálculo do CRESOL

Indicador de vulnerabilidade	Muito baixa	Baixa	Média	Elevada	Muito Elevada
V	1,00 – 1,40	1,41 – 1,80	1,81 – 2,20	2,21 – 2,60	2,61 - 3,00
CRESOL	0,00 – 0,20	0,21 – 0,40	0,41 – 0,60	0,61 – 0,80	0,81 – 1,00

Para a sub-bacia hidrográfica é calculada o valor da variável CRESOL, referente a proporção das áreas propensas a perda de solo, conforme a classificação de Crepani et al., (2001), relativa a área da bacia hidrográfica. Do valor agregado da variável $CRESOL_i$ das diversas sub-bacias obtém-se o indicador CRESOL da bacia por meio da média ponderada. Assim, para cada bacia hidrográfica, a Equação 9, representa uma relação positiva para esse indicador:

$$CRESOL = \frac{\sum_{i=1}^n CRESOL_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (9)$$

Onde:

$CRESOL_i$ = valor médio da escala de propensão à perda de solo ocorrente na sub-bacia hidrográfica i;

A_i = área da sub-bacia hidrográfica i;

n = número de sub-bacias consideradas na bacia hidrográfica.

4.7.5 INDICADOR DE CONFLITOS DE USO DO SOLO

O indicador de conflitos de uso do solo (CONFSOL) é obtido a partir da ocorrência de áreas com conflitos de uso do solo relativamente à área da sub-bacia. Utiliza-se o cálculo das classes de conflitos, segundo a metodologia de Valle Júnior (2013). Esta metodologia especifica classes de conflitos de acordo com a escala de valores definindo-as segundo a diferença atribuída ao uso do solo comparada com o uso potencial definido por Sicco-Smit (1978). O indicador é definido considerando-se a existência de conflitos nas três classes nas sub-bacias hidrográficas, agregando-se por meio da médias dos indicadores das sub-bacias para a bacia hidrográfica, conforme a Equação 10, em uma relação positiva para esse indicador:

$$CONFSOL = \frac{\sum_{i=1}^n CLF_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (10)$$

Onde:

CLF_i = indicador de conflito de uso do solo na sub-bacia hidrográfica i, sendo calculados proporcionalmente as ocorrências nas áreas das sub-bacia hidrográficas, assumindo os valores dos atributos:

$CLF_i = 1$ se há conflito em todo território da sub-bacia hidrográfica i;

$CLF_i = 0$ se não ocorre conflito na sub-bacia hidrográfica i;

A_i = área das sub-bacia hidrográfica i;

n = número de sub-bacias consideradas na bacia hidrográfica.

4.7.6 CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE

A classificação de vulnerabilidade associada às variáveis e aos valores dos parâmetros considerados foi elaborada considerando as relações das variáveis e as metodologias envolvidas.

As variáveis selecionadas para a avaliação da vulnerabilidade das bacias hidrográficas apresentam, obviamente, importâncias relativas diversas. Assim, a construção de um índice global de vulnerabilidade para a bacia não é tarefa de fácil execução, uma vez que além de envolver a variabilidade espacial, depende do estabelecimento de uma relação descritiva da importância de cada variável influente na vulnerabilidade da bacia hidrográfica, considerando-se inclusive a resiliência do sistema ou de um conjunto de elementos territoriais. Assim, optou-se pela não elaboração de um índice global de vulnerabilidade para as bacias hidrográficas. No Quadro 19, é detalhada a representação dos índices e critérios referentes a cada variável envolvida e o nível de vulnerabilidade associada à coloração para representação gráfica. Adotou-se a classificação dos indicadores com base na distribuição por classes de parâmetros de vulnerabilidade relacionados com as características naturais e antropogênicas das zonas costeiras, segundo Coelho et al., (2011).

Quadro 19 – Classificação dos indicadores de vulnerabilidade

Classificação da vulnerabilidade					
Valor do índice	0,00 – 0,20	0,21 – 0,40	0,41 – 0,60	0,61 – 0,80	0,81 – 1,00
Critério para a vulnerabilidade	Muito Baixa	Baixa	Média	Elevada	Muito Elevada
Coloração atribuída					

Fonte: adaptado de Coelho et al., (2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

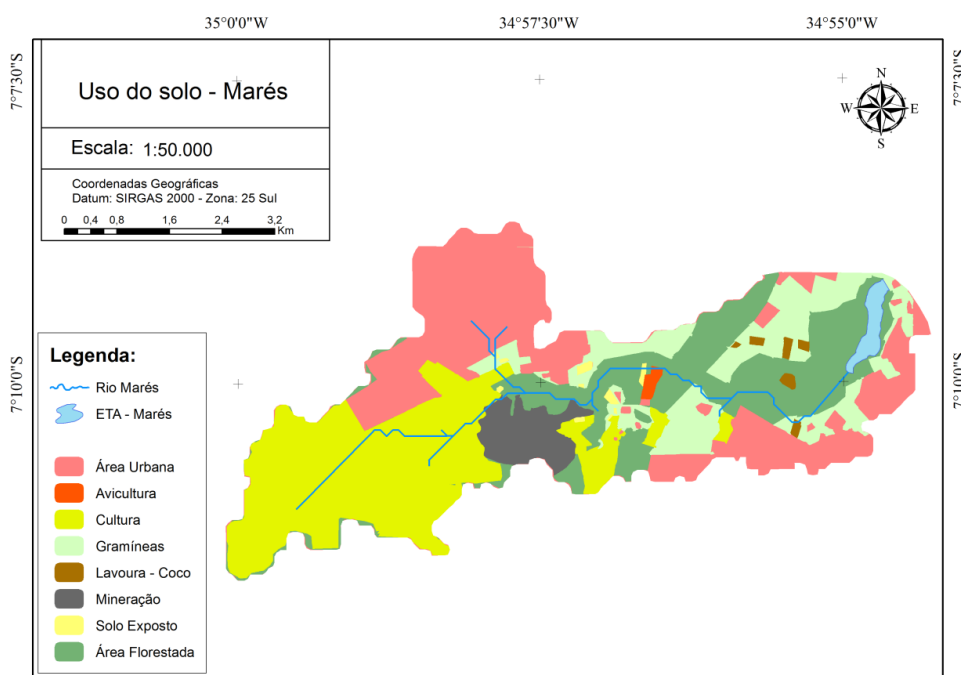
Neste capítulo são apresentados os resultados e discussão acerca da vulnerabilidade, compreendendo os temas já destacados, para as sub-bacias e bacias hidrográficas dos rios Marés, Mumbaba, Gramame e Mamuaba e Abiaí-Papocas. Os resultados são discutidos à luz dos indicadores de vulnerabilidade definidos para os diversos parâmetros considerados.

5.1 Bacia Hidrográfica do Rio Marés

5.1.1 USO DO SOLO

Os principais tipos de usos são: Açude, cursos de água, vegetação nativa, vegetação rasteira (gramíneas), áreas urbanizadas, solos expostos, avicultura, atividades de mineração (extração de areia), lavouras de coco, cana-de-açúcar e abacaxi (CARRILHO, 2008). O mapa atual foi atualizado e adaptado do mapa de uso do solo elaborado por Carrilho (2008), em seu estudo na bacia hidrográfica do rio Marés, atualizado pelas imagens de alta resolução disponibilizadas pelo software *Google Earth*, do ano de 2013, totalizando em nove classes de uso e ocupação (Figura 3).

Figura 3 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Marés



O Quadro 20 mostra as áreas e porcentagens referentes às categorias de uso do solo classificadas para a bacia do rio Marés.

Quadro 20 – Porcentagem das áreas para o tema Uso do Solo da bacia hidrográfica do rio Marés

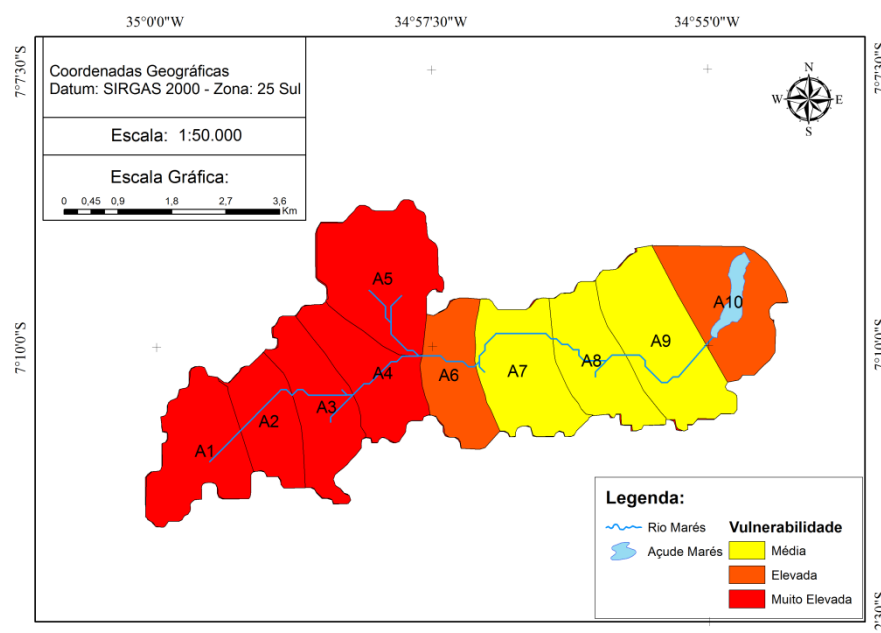
Classe	Área (km²)	Porcentagem
Rio Marés	0,38	1,25
Área urbana	9,57	31,58
Avicultura (granjas)	0,10	0,33
Cultura (abacaxi)	8,17	26,96
Gramíneas	4,65	15,35
Lavoura Coco (da-bahia)	0,17	0,56
Mineração	1,23	4,06
Solo exposto	0,14	0,46
Áreas Florestadas	5,66	19,44
TOTAL	30,30	100,00

O uso predominante da área de estudo é o de área urbana com 9,57 km², equivalente a 31,58% da área da bacia hidrográfica do rio Marés, composto por indústrias, loteamentos, ruas e as demais áreas urbanizadas das cidades de Bayeux e João Pessoa. Em seguida aparecem os cultivos de culturas diversas como abacaxi, mandioca, batata-doce, entre outras, com 26,96 % da área da bacia seguido de áreas florestadas que atinge 18,68 %.

5.1.2 INDICADOR DE ÁREAS FLORESTADAS

A Figura 4 apresenta os resultados do indicador de cobertura vegetal (COBFLO) por sub-bacia hidrográfica do rio Marés em representação de cartograma.

Figura 4 – Representação cartográfica da classificação do indicador COBFLO para a bacia hidrográfica do rio Marés



O Quadro 21 mostra os valores das áreas florestadas e o Índice de Cobertura Vegetal (COBFLO), e a sua classificação por sub-bacia hidrográfica e para a bacia do rio Marés.

Quadro 21 – Indicador de áreas florestadas para a bacia do rio Marés

Bacia/ Sub-bacias	Área (km ²)	Área Florestada			COBFLO	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	30,30	5,66	18,68	0,33	0,81	Muito Elevada
A1	2,88	0,10	3,47	0,10	0,97	Muito Elevada
A2	1,88	0,03	1,60	0,13	0,98	Muito Elevada
A3	2,49	0,04	1,61	0,43	0,98	Muito Elevada
A4	2,37	0,13	5,49	0,40	0,95	Muito Elevada
A5	6,47	0,12	1,85	1,82	0,98	Muito Elevada
A6	2,12	0,55	25,94	3,89	0,74	Elevada
A7	2,93	1,18	40,27	3,27	0,60	Média
A8	2,42	0,99	40,91	5,35	0,59	Média
A9	3,67	1,62	44,14	2,97	0,56	Média
A10	2,74	0,90	32,85	0,33	0,67	Elevada

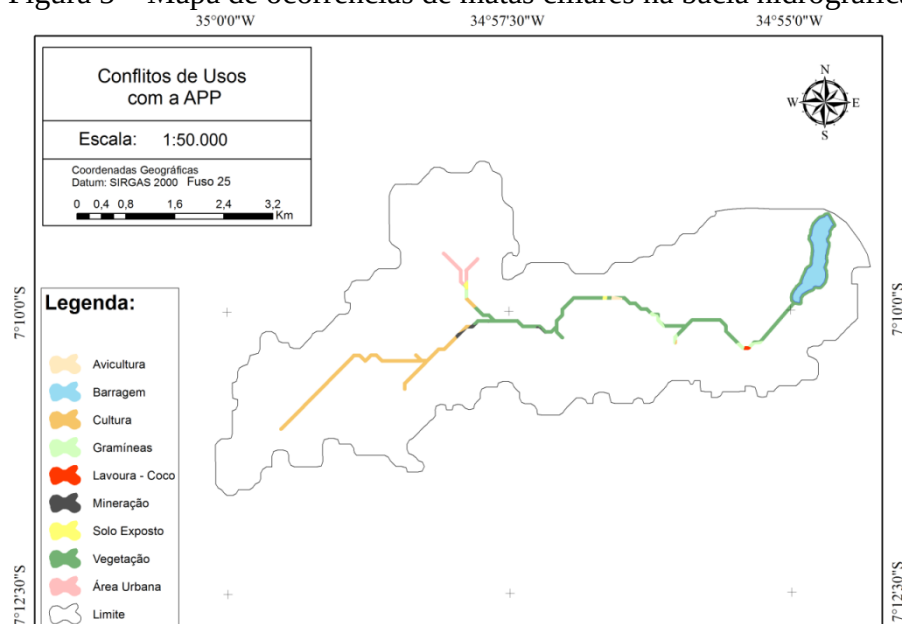
As sub-bacias hidrográficas A1, A2, A3, A4 e A5, foram classificadas como na condição de máxima vulnerabilidade, ou seja, Muito elevada. Esta classificação predomina em 1,54 % das áreas da bacia. A sub-bacia hidrográfica A2 representa a pior condição de vulnerabilidade da bacia, com percentual de áreas florestadas de apenas 1,60%. Na classificação de Elevada vulnerabilidade as sub-bacias hidrográficas A6 e

A10, comparecem com 5,31 % do total da bacia. A classificação de Média vulnerabilidade foi atribuída às bacias A7, A8 e A9, representando 13,87 % da bacia do rio Marés. A sub-bacia hidrográfica A9, com seu percentual de áreas florestadas de 44,14 % foi a que apresentou a menor vulnerabilidade entre as sub-bacias hidrográficas. Não houve classificações de Baixa e Muito baixa vulnerabilidade entre as sub-bacias hidrográficas consideradas. A bacia hidrográfica do rio Marés foi classificada como de Muito Elevada vulnerabilidade.

5.1.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES

O indicador (MATCIL) indica as áreas marginais dos cursos d'água que deveriam apresentar a mata ciliar da bacia hidrográfica, relacionada com as APP segundo o Código Florestal (BRASIL, 2012), onde no rio Marés, a sua largura apresenta uma faixa menor ou igual a 10 m, devendo portanto apresentar uma largura mínima de 30 m de vegetação ciliar em suas margens, e 100 m de vegetação ciliar para o reservatório segundo a normatização ambiental do estado da Paraíba. Na Figura 5 estão representadas as ocorrências de matas ciliares de acordo com a norma legal.

Figura 5 – Mapa de ocorrências de matas ciliares na bacia hidrográfica do rio Marés



No Quadro 22 são mostradas as ocorrências de matas ciliares conforme a determinação legal, bem como outros usos nas margens dos rios e do reservatório Marés.

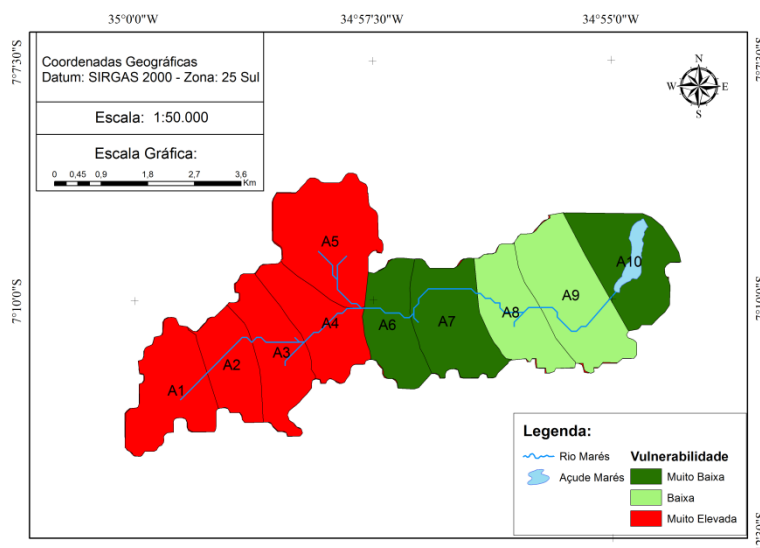
Quadro 22 – Áreas de ocupação nas margens dos rios e reservatório – Marés

Uso	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Avicultura	0,02	1,57
Cultura	0,18	14,17
Gramíneas/Granjas	0,05	3,94
Lavoura Coco (da-bahia)	0,02	1,57
Mineração	0,04	3,15
Solo exposto	0,04	3,15
Mata Ciliar	0,84	66,14
Área Urbana	0,08	6,30
Total	1,27	100

Os resultados mostram que as margens são ocupadas principalmente por culturas de lavouras permanentes (14,17 %), podendo ser observado áreas de mineração (3,15 %), áreas urbanas (6,30 %) e granjas de avicultura (1,57 %). Ainda assim a mata ciliar ocupa a maior parte da área com 66,14 % de mata ao longo do curso do rio e em volta do reservatório, totalizando em 0,84 km² de área preservada com florestas de Mata Atlântica.

Na Figura 6 estão representados os resultados relativos ao indicador de matas ciliares (MATCIL) por sub-bacia hidrográfica do rio Marés em representação de cartograma.

Figura 6 – Mapa do indicador de matas ciliares das sub-bacias hidrográficas do rio Marés



O Quadro 23 mostra os valores das áreas de matas ciliares existentes e do Índice de Mata Ciliar (MATCIL), e a sua classificação por sub-bacia hidrográfica e para a bacia do rio Marés.

Quadro 23 – Indicador de mata ciliar na bacia hidrográfica do rio Marés

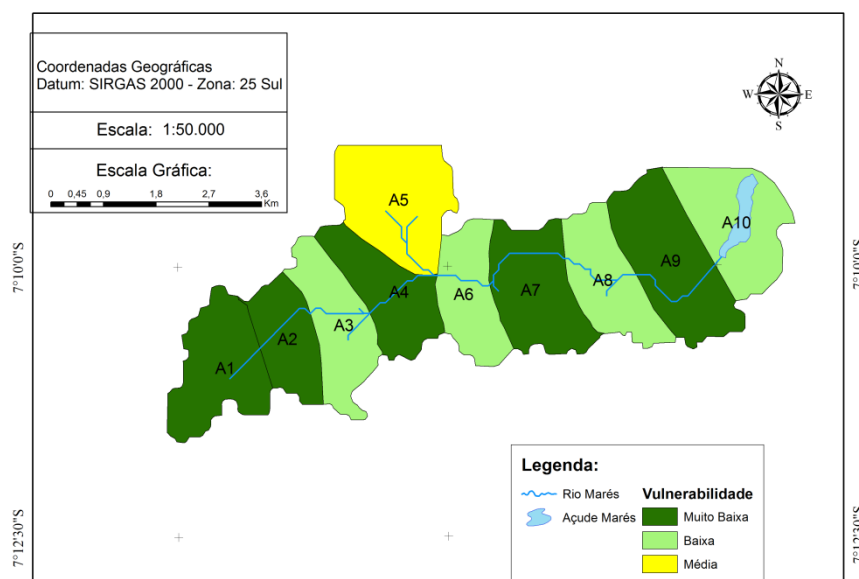
Bacia / Sub-bacias	APP (km ²)	Áreas de Matas Ciliares			MATCIL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	1,27	0,84	-	66,14	0,34	Baixa
A1	0,04	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
A2	0,07	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
A3	0,08	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
A4	0,07	0,01	14,29	0,79	0,86	Muito Elevada
A5	0,12	0,02	16,67	1,57	0,83	Muito Elevada
A6	0,05	0,05	100,00	3,94	0,00	Muito Baixa
A7	0,11	0,09	81,82	7,09	0,18	Muito Baixa
A8	0,10	0,07	70,00	5,51	0,30	Baixa
A9	0,11	0,08	72,73	6,30	0,27	Baixa
A10	0,52	0,52	100,00	40,94	0,00	Muito Baixa

No Quadro 23, o valor de áreas de matas ciliares que deveriam ser obtido para a bacia seria de 1,27 km². Relativamente às sub-bacias hidrográficas observa-se que os maiores valores apresentados foram os da sub-bacias hidrográficas A1, A2, A3, A4, e A5 com suas classificações resultantes como Muito Elevada no índice de mata ciliar (MATCIL). As sub-bacias hidrográficas A1, A2 e A3 não apresentando nenhum fragmento de mata ciliar na áreas destinada para a APP, onde juntas, contém uma área de 0,19 km². As sub-bacias hidrográficas A8 e A9 apresentam a classificação Baixa no índice MATCIL, apresentando 70 % e 72,73 % respectivamente de áreas de mata ciliar preservadas. As sub-bacias hidrográficas A6, A7 e A10 apresentaram os menores índices do indicador, com as sub-bacias hidrográficas A6 e A10 com suas matas ciliares totalmente preservadas.

5.1.4 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS

A Figura 7 representa o resultado em relação ao indicador de áreas urbanizadas (URBAN), por sub-bacia hidrográfica do rio Marés, representado por cartograma.

Figura 7 – Mapa do indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Marés



O Quadro 24 mostra os valores relativos as áreas urbanizadas e o Índice de Áreas Urbanizadas (URBAN), e a sua classificação por sub-bacia hidrográfica e para a bacia do rio Marés.

Quadro 24 – Indicador de áreas urbanizadas da bacia hidrográfica do rio Marés

Bacia / Sub-bacias	Área (km ²)	Área urbanizada e percentuais			URBAN	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	30,30	10,35	-	34,16	0,34	Baixa
A1	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
A2	1,88	0,16	8,51	0,53	0,09	Muito Baixa
A3	2,49	0,62	24,90	2,05	0,25	Baixa
A4	2,37	0,45	18,99	1,49	0,19	Muito Baixa
A5	6,47	3,03	46,83	10,00	0,47	Média
A6	2,12	0,44	20,75	1,45	0,21	Baixa
A7	2,93	0,33	11,26	1,09	0,11	Muito Baixa
A8	2,42	0,71	29,34	2,34	0,29	Baixa
A9	3,67	0,74	20,16	2,44	0,20	Muito Baixa
A10	2,74	0,90	32,85	2,97	0,33	Baixa

A bacia do Marés apresenta 34,16 % de sua área ocupada pela urbanização. O indicador de áreas urbanizadas (URBAN), alcançou o valor de 0,34, indicando Baixa vulnerabilidade. Os dados referentes ao índice de área urbanizada das sub-bacias hidrográficas do rio Marés revelam que apenas a sub-bacia hidrográfica A5 apresentou a categoria Média, com 46,83 % de sua área urbanizada. As áreas urbanizadas dessa bacia

A5 representam 10% da área total da bacia do rio Marés. Em seguida, as sub-bacias A3, A6, A8 e A10 obtiveram como resultado a categoria Baixa vulnerabilidade, com 24,90 %, 20,75 %, 29,34 % e 32,85 % de malha urbana. As sub-bacias hidrográficas A2, A4, A7 e A9 estão representadas pela categoria de menor vulnerabilidade, a classificação Muita Baixa, correspondendo aos valores de 8,51 %, 18,99 %, 11,26 %, 20,16 % de sua áreas ocupadas. A sub-bacia hidrográfica A1 é a única que não apresenta áreas urbanizadas, com o indicador URBAN igual a 0.

5.1.5 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO

As análises a seguir foram oriundas da aplicação da metodologia de Crepani et al., (2001).

- **PLUVIOSIDADE**

A pluviosidade anual variou entre 1600 e 1691 mm no ano de 2013, para a bacia hidrográfica do rio Marés, de acordo com os resultados encontrados nos postos pluviométricos próximos da bacia hidrográfica (postos de Bayeux, Santa Rita, João Pessoa/CEDRES e João Pessoa/Marés), conforme mostrado no Quadro 25.

Quadro 25 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema climatológico

Intensidade Pluviométrica (mm/ano)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
1600 - 1630	2,5	U6
1630 - 1660	2,5	U5
1660 - 1691	2,6	U4

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

O grau de risco à perda de solo variou de 2,5 a 2,6, classificado como moderadamente instável, segundo a metodologia de Crepani et al., (2001), devido a elevada taxa de intensidade pluviométrica registrada no ano de 2013.

- **GEOLOGIA**

A geologia da bacia hidrográfica do rio Marés apresenta a Formação Beberibe e os Aluviões, como predominantes na região, no Quadro 26, observa-se a área (em km²) ocupada e a porcentagem das categorias geológicas, onde a Formação Beberibe

apresenta 66,58% de predominância na bacia hidrográfica do rio Marés, encontrando-se em sua maioria na parte central da respectiva bacia.

Quadro 26 – Porcentagem das áreas para o tema geologia da bacia hidrográfica do rio Marés

Classe	Área (km²)	Porcentagem
Aluviões	10,13	33,42
Formação Beberibe	20,18	66,58
TOTAL	30,30	100,00

O Quadro 27 apresenta os valores de risco à perda de solo associados às categorias geológicas existentes na bacia do rio Marés conforme metodologia de Crepani et al., (2001).

Quadro 27 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema geológico

Classe	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
Aluviões	2,4	U7
Formação Beberibe	3,0	U1

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

A Formação Beberibe apresenta o valor 3,0, considerado o nível de risco à perda de solo mais elevado. Isso acontece devido ao fato de que sua composição é basicamente constituída de areia com intercalações de argilas, sendo esse aspecto considerado de risco por não dar sustentabilidade à vegetação e ao solo, possuindo uma erodibilidade elevada por eventos climáticos de baixa magnitude como chuvas e ventos.

- GEOMORFOLOGIA

O mapa de geomorfologia apresenta apenas a Planície Fluvio-marinha e os Tabuleiros Costeiros como predominantes na região. No Quadro 28 observam-se as áreas e porcentagens dos aspectos geomorfológicos que se apresentam na região.

Quadro 28 – Porcentagem das áreas para o tema geologia, da bacia hidrográfica do rio Marés

Classe	Área (km²)	Porcentagem
Tabuleiros costeiros	23,68	78,15
Planície fluvio-marinha	6,62	21,85
TOTAL	30,30	100

Os tabuleiros costeiros possuem uma área de 23,68 km², representando 78,15% da área da bacia hidrográfica do rio Marés, com sua menor incidência na porção norte da área de estudo.

- **HIPSOMETRIA**

A aquisição da hipsometria faz parte dos aspectos geomorfológicos necessários para a elaboração do mapeamento de risco a propensão à perda de solo.

Quadro 29 – Propensão ao risco à perda de solo para a amplitude altimétrica

Amplitude altimétrica (m)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
20,0 a 29,5	1,1	U20
29,5 a 39,0	1,2	U19
39,0 a 48,5	1,3	U18
48,5 a 58,0	1,4	U17
58,0 a 67,5	1,5	U16
67,5 a 77,0	1,6	U15
77,0 a 84,5	1,7	U14
84,5 a 94,0	1,8	U13
94,0 a 103,5	1,9	U12
103,5 a 113,0	2,0	U11
113,0 a 122,5	2,1	U10
122,5 a 132,0	2,2	U9
132,0 a 141,5	2,3	U8
141,5 a 151,0	2,4	U7
151,0 a 160,5	2,5	U6
160,5 a 170,0	2,6	U5
170,0 a 179,5	2,7	U4

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

O Quadro 29, mostra a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do rio Marés, isto é, a altitude mínima e máxima existentes na bacia extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo, onde, pode-se observar que, o valor mínimo é de 20 m e o máximo é de 179,5 m. O grau de risco variou de 1,1 até 2,7 de acordo com as definições de Crepani et al., (2001).

- **DECLIVIDADE**

O Quadro 30 mostra os valores de declividade atribuídos para a área de estudo.

Quadro 30 – Propensão ao risco à perda de solo para a declividade

Declividade (%)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
< 2	1,0	U21
2 a 6	1,5	U16
6 a 20	2,0	U11

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

Observa-se que o grau de risco correspondente a categoria de declividade < 2% é de 1,0, sendo o menor existente na escala de Crepani et al., (2001), indicando um ambiente estável. Na segunda faixa de valor de declividade temos o grau de risco de 1,5, enquadrado na categoria de Moderadamente Estável, apresentando um baixo nível à perda de solo, e por fim, o último intervalo de valor da declividade apresenta o grau 2 de risco, indicando um ambiente Medianamente Estável ou Vulnerável, indicando um risco médio à perda de solo.

- PEDOLOGIA

Os principais tipos de solos encontrados foram os Solos Arenosos das Praias, Restingas e Cordões Litorâneos e os Solos Aluviais e Hidromórficos. Pode se observar que o mapa pedológico é predominantemente constituído dos Solos arenosos das praias, restingas e cordões litorâneos, apresentando 97,79% da área de estudo, com uma área de 29,63 km² (Quadro 31).

Quadro 31 – Porcentagem das áreas para o tema pedologia da bacia hidrográfica do rio Marés

Classe	Área (km²)	Porcentagem
Solos arenosos das praias	29,63	97,79
Solos aluviais e hidromórficos	0,67	2,21
TOTAL	30,30	100,00

Segundo a metodologia de Crepani et al., (2001), as 2 categorias de tipos de solos apresentam grau elevado de risco à perda de solo (grau de risco 3), devido a natureza arenosa dos tipos de solos que ocorrem na região, fato esse que os tornam de erodibilidade elevada por chuvas e vento, principalmente quando não são cobertos por vegetação (Quadro 32).

Quadro 32 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema pedológico

Classe	Risco	Unidade de Paisagem
Solos arenosos das praias	3,0	U1
Solos aluviais e hidromórficos	3,0	U1

- USO DO SOLO

No Quadro 33, pode se observar os valores de propensão ao risco à perda de solo para o tema uso do solo, onde cada classe de uso obteve valores de risco referentes às respectivas características. Com isso, foram analisados os aspectos de cada tipo de uso, resultando como maiores valores de risco as categorias de Área Urbana, Abacaxi, Extração de Areia, Solo Exposto e Cana de Açúcar.

Quadro 33 – Propensão ao risco à perda de solo para o uso do solo

Classe de uso e ocupação do solo	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
Água	1,0	U21
Mata	1,0	U21
Cana-de-açúcar	3,0	U1
Área urbana	3,0	U1
Abacaxi	3,0	U1
Coqueiral	1,2	U19
Gramíneas	2,3	U8
Extração de areia	3,0	U1
Avicultura	2,5	U6
Solo exposto	3,0	U1

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

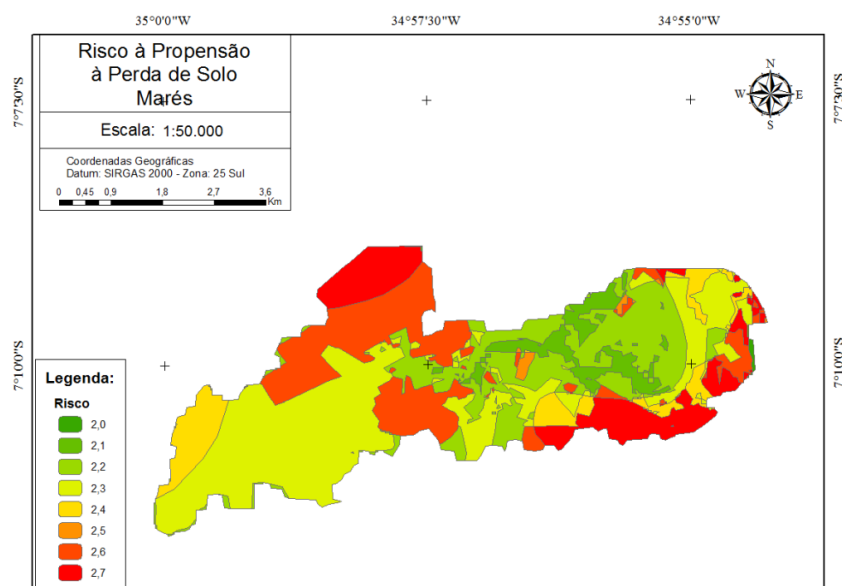
Referente à Área Urbana, o valor é alto devido a impermeabilização desse tipo de uso, da ausência de vegetação, entre outros fatores. No caso do Solo Exposto, a falta de cobertura vegetal pode acarretar em forte erosão causada por chuvas, podendo gerar ravinas e voçorocas. A extração de areia é uma atividade de mineração que degrada o ambiente pela retirada da vegetação e do tipo de solo que ocorre naturalmente na bacia hidrográfica do rio Marés, a “areia branca”, que é muito utilizada na construção civil.

- PROPENSÃO DE RISCO À PERDA DE SOLO

Na Figura 8, pode-se observar que as áreas de menor risco à propensão à perda de solo estão localizadas nas áreas planas, com pouca ou muita densidade de cobertura

vegetal e fora das áreas urbanas, às áreas de culturas apresentaram risco médio à perda de solo.

Figura 8 – Mapa de risco a propensão à perda do solo da bacia hidrográfica do rio Marés



O Quadro 34 mostra as áreas e porcentagens correspondentes propensão à perda de solo para a bacia hidrográfica do rio Marés, pela metodologia de Crepani et al., (2001). Observa-se que os níveis de risco variaram entre 2,0 até 2,7. Apresentando em sua maioria riscos considerados Moderadamente Instável (2,3 até 2,6).

Quadro 34 – Distribuição dos valores do risco à propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Marés

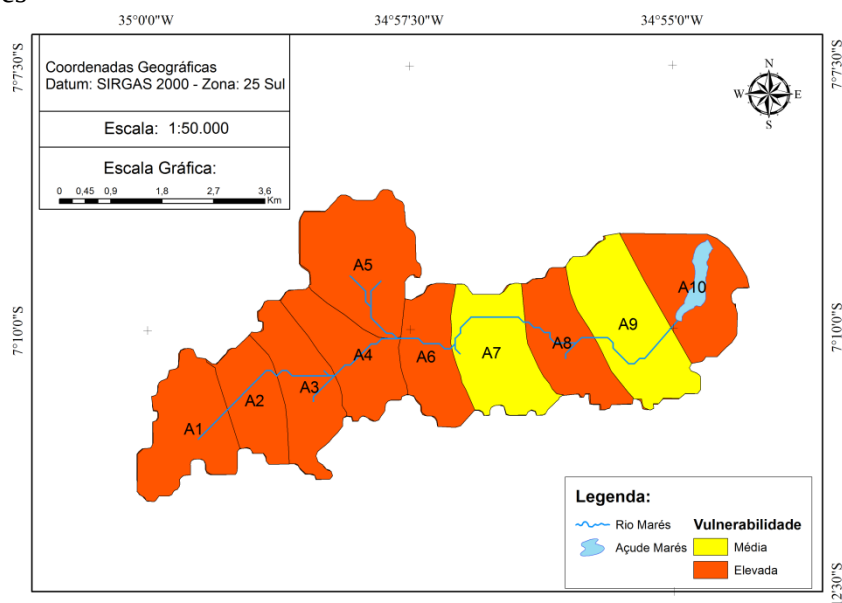
Risco	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
2,0	0,04	0,15	Medianamente estável/instável	26,42
2,1	1,52	5,77	Medianamente estável/instável	
2,2	5,40	20,50	Medianamente estável/instável	
2,3	8,97	34,05	Moderadamente instável	61,81
2,4	2,04	7,74	Moderadamente instável	
2,5	0,14	0,53	Moderadamente instável	
2,6	5,13	19,48	Moderadamente instável	
2,7	3,10	11,77	Instável	11,77

O maior valor de risco observado na bacia hidrográfica do rio Marés é o de 2,7, considerado Instável de acordo com a classificação de Crepani et al., (2001). Ocorrendo em 11,77 % do território da bacia. O valor de risco mais frequente é o de 2,3, considerado Moderadamente Instável, sendo observado em 34, 05 % da bacia. O menor valor de risco corresponde ao de 2,0, com 0,15 % de toda a área da bacia hidrográfica do Marés. O maior valor de propensão ao risco foi o Moderadamente Instável com 61,81 % de frequência em todo o território da bacia.

5.1.5.1 INDICADOR DE PROPENSÃO À PERDA DE SOLO

A Figura 9 apresenta em forma de cartograma o resultado do Índice de Propensão à Perda de Solo (CRESOL) para a bacia hidrográfica do rio Marés.

Figura 9 – Mapa do indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Marés



No Quadro 35 podem ser observados os valores relativos ao Índice de Propensão à Perda de Solo (CRESOL), e a sua classificação por sub-bacia hidrográfica e para a bacia do rio Marés.

Quadro 35 – Indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Marés

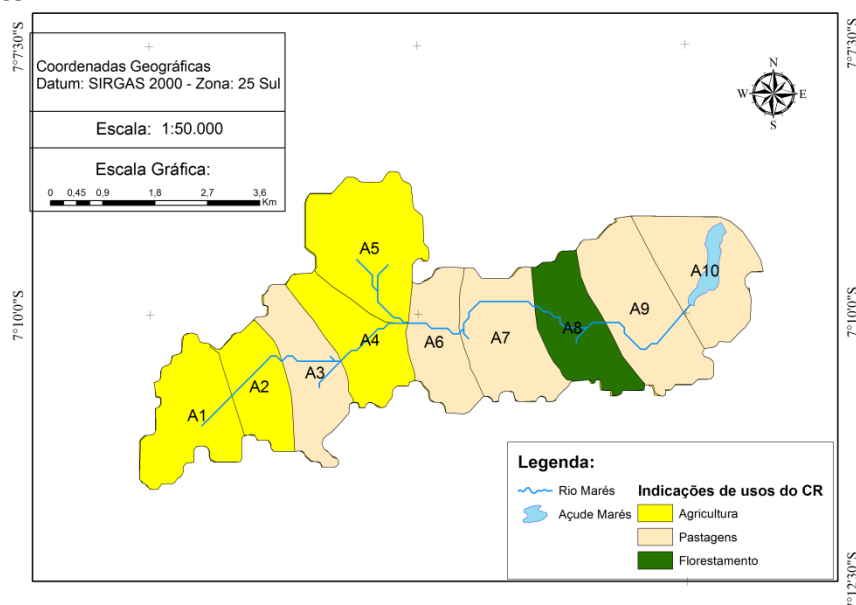
Sub-bacias/ Bacias	Risco Médio	CRESOL	Classificação da vulnerabilidade
Bacia	2,3	0,66	Elevada
A1	2,3	0,65	Elevada
A2	2,3	0,65	Elevada
A3	2,3	0,65	Elevada
A4	2,4	0,70	Elevada
A5	2,5	0,75	Elevada
A6	2,4	0,70	Elevada
A7	2,2	0,60	Média
A8	2,3	0,65	Elevada
A9	2,2	0,60	Média
A10	2,4	0,70	Elevada

O Quadro 35 tem como resultado para a bacia hidrográfica do rio Marés o valor do risco médio de 2,3 na escala de CREPANI et al., (2001), significando 0,66 do indicador de propensão a perda do solo (CRESOL). O mesmo ainda mostra os resultados do cálculo do índice CRESOL para as sub-bacias hidrográficas do rio Marés (Quadro 33). A classificação mais frequente foi a de vulnerabilidade Elevada, contendo as sub-bacias hidrográficas A1, A2, A3, A4, A5, A6, A8 e A10, variando de 0,61 a 0,80. As sub-bacias hidrográficas A7 e A9 apresentaram a categoria Média, com valores que vão de 0,41 a 0,60.

5.1.6 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE

A classificação do Coeficiente de Rugosidade concluiu que a maior aptidão para a bacia hidrográfica do rio Marés é de pastagens, devido às características morfométricas locais (Figura 10).

Figura 10 – Mapa de distribuição do uso potencial da terra das sub-bacias hidrográficas do rio Marés



Apresentando cinco sub-bacias hidrográficas com sugestão para pecuária (A3, A6, A7, A9 e A10), quatro sub-bacias hidrográficas com aptidão para agricultura (A1, A2, A4 e A5), e apenas uma para o uso de florestas (A8). Não apresentando nenhum resultado para a terceira classe de uso do CR (pastagens/florestamento).

Quadro 36 – Indicações de usos conforme o coeficiente de rugosidade para a bacia hidrográfica do rio Marés

Bacias	Área (km ²)	Lt* (km)	Dd**	Declividade Média (%)	CR***	Usos
A1	2,88	0,74	0,26	5,37	0,014	Agricultura
A5	3,50	2,16	0,62	5,26	0,032	Agricultura
A2	1,88	1,19	0,63	5,25	0,033	Agricultura
A4	2,37	1,46	0,62	6,35	0,039	Agricultura
A10	3,07	1,20	0,39	11,06	0,043	Pastagens
A3	2,49	1,90	0,76	5,83	0,044	Pastagens
A6	2,12	1,05	0,50	9,79	0,048	Pastagens
A9	3,67	1,90	0,52	12,15	0,063	Pastagens
A7	2,93	1,88	0,64	10,02	0,064	Pastagens
A8	2,42	2,03	0,84	13,51	0,113	Florestamento

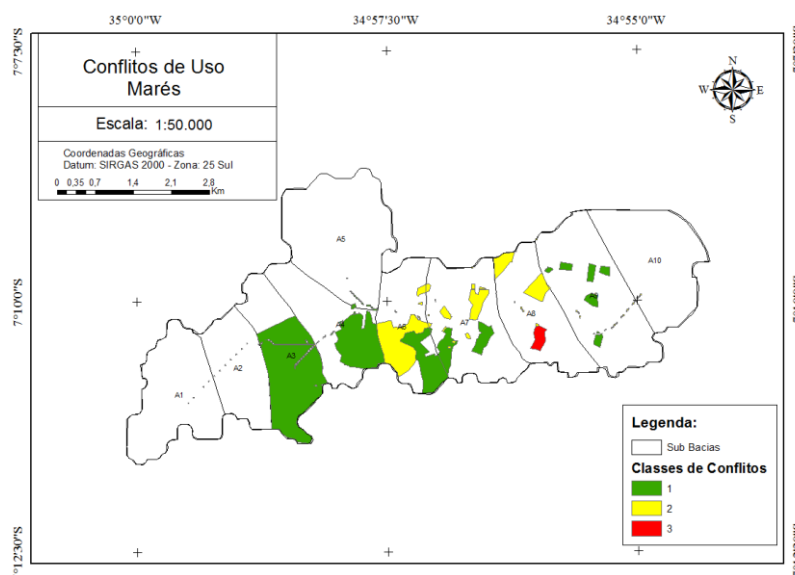
*Lt – comprimentos dos rios; **Dd – densidade de drenagem; ***CR – valor do coeficiente de rugosidade

No Quadro 36, pode se observar a área, o comprimento dos rios (Lt), a declividade média (%) e a densidade de drenagem (Dd) de cada bacia hidrográfica do rio Marés e seus respectivos usos indicados pelo CR.

5.1.7 CONFLITOS DE USOS

O mapeamento de conflitos de usos complementa os resultados do Coeficiente de Rugosidade (uso potencial) com base em Valle Jr. (2008), indicando quais seriam as áreas mais adequadas em comparação com as análises dos usos do solo atual (Figura 11).

Figura 11 – Mapa de conflitos de usos da bacia hidrográfica do rio Marés



O Quadro 37 mostra os valores das áreas de conflitos de uso e o indicador de Conflitos de Usos (CONSOL), e a sua classificação por sub-bacia hidrográfica para a bacia do rio Marés.

Quadro 37 – Indicador de conflitos de uso para as sub-bacias hidrográficas do rio Marés

Bacia / Sub-bacias	Área (km²)	Áreas com conflitos e percentuais			CONFSOL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	30,30	4,42	-	14,59	0,14	Muito Baixa
A1	2,88	0,01	0,35	0,03	0,35	Baixa

A2	1,88	0,01	0,53	0,03	0,53	Média
A3	2,49	1,75	70,28	5,78	0,70	Elevada
A4	2,37	0,68	28,69	2,24	0,29	Baixa
A5	6,47	0,02	0,31	0,07	0,03	Muito Baixa
A6	2,12	0,96	45,28	3,17	0,45	Média
A7	2,93	0,55	18,77	1,82	0,18	Muito Baixa
A8	2,42	0,23	9,50	0,76	0,09	Muito Baixa
A9	3,67	0,21	5,72	0,69	0,05	Muito Baixa
A10	3,07	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa

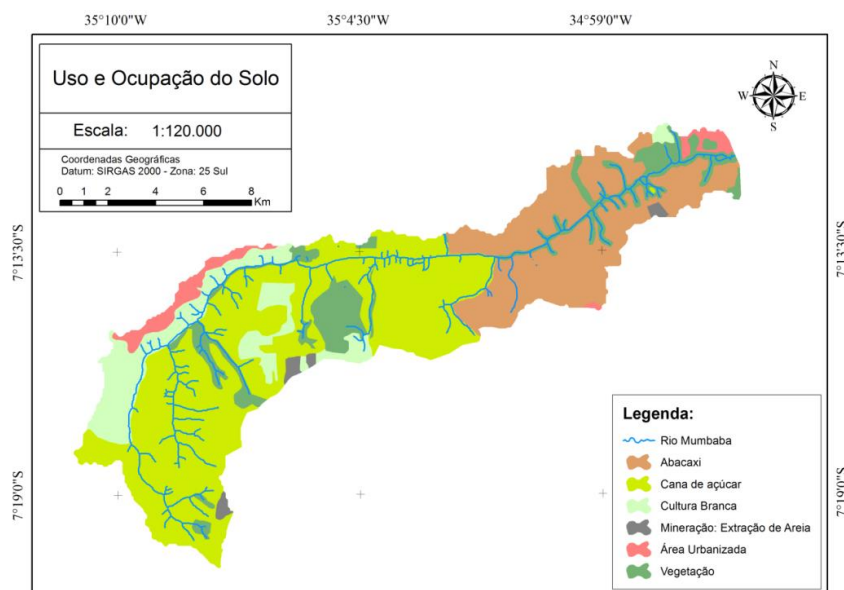
A bacia hidrográfica do rio Marés apresentou CONFSOL de 0,14 sendo de vulnerabilidade Muito Baixa, com 14,59 % da área da bacia com conflitos de uso do solo. Por meio do Quadro 37 observa se que o valor de vulnerabilidade mais alta foi o da sub-bacia hidrográfica A3, com 70,28 % de seu uso considerado conflitante, atingindo 0,70 (CONFSOL), na faixa da categoria Elevada. As sub-bacias hidrográficas A2 e A6 possuem vulnerabilidade Média com CONFSOL igual a 0,53 e 0,45. A sub-bacia hidrográfica A10 foi única que não apresentou conflitos.

5.2 Bacia Hidrográfica do Rio Mumbaba

5.2.1 USO DO SOLO

A imagem utilizada para a região foi classificada em seis classes de uso do solo, adaptados de Coelho (2011), Figura 12.

Figura 12 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Mumbaba



O Quadro 38 mostra os valores das áreas de cada classe de uso e sua porcentagem relativa à área total da bacia hidrográfica do rio Mumbaba.

Quadro 38 – Porcentagem das áreas do tema uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

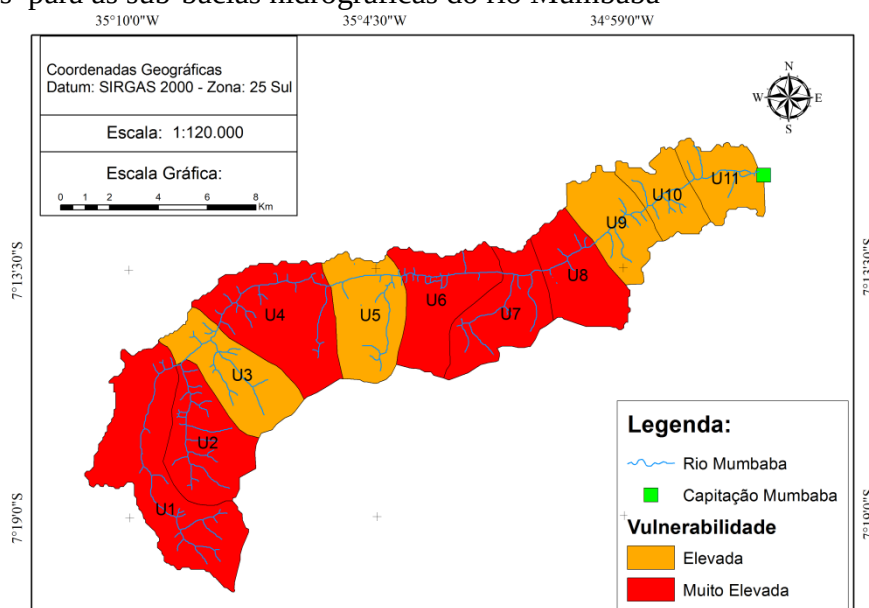
Classe	Área (km ²)	Porcentagem
Abacaxi	35,54	23,20
Cana-de-açúcar	73,70	48,11
Área urbana	4,95	3,24
Mineração	2,01	1,31
Área florestada	19,81	12,93
“Cultura branca”	17,59	11,48
TOTAL	153,63	100,00

Os principais usos encontrados foram: cana-de-açúcar (48,11 %), abacaxi (20,33 %), área urbanizada (10,67 %), “cultura branca” (10,28 %) e vegetação natural (9,28 %), com os respectivos e demais usos detalhados no Quadro 38.

5.2.2 INDICADOR DE ÁREA FLORESTADA

A Figura 13 apresenta os resultados do indicador de cobertura vegetal (COBFLO) por sub-bacia hidrográfica do rio Mumbaba em representação de cartograma.

Figura 13 – Representação cartográfica da classificação do indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba



A bacia hidrográfica do rio Mumbaba apresentou 19,74 km² de áreas de cobertura vegetal, correspondendo a 12,85 % da área total da bacia hidrográfica, obtendo o COBFLO de 0,87, considerado o valor de vulnerabilidade mais elevada do índice (Quadro 39).

Quadro 39 – Indicador de áreas florestadas para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

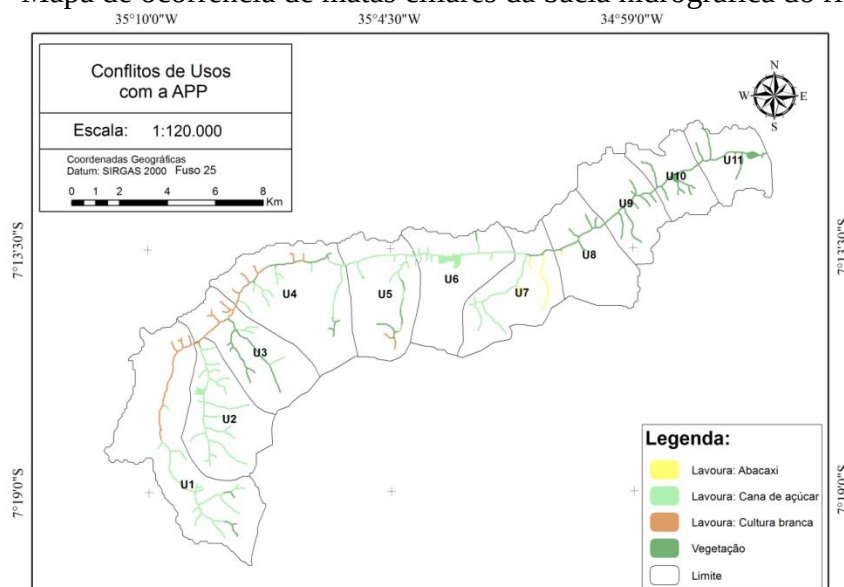
Bacia/ Sub-bacias	Área (km ²)	Área Florestada			COBFLO	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	153,63	19,74	-	12,85	0,87	Muito Elevada
U1	26,38	0,66	2,50	0,43	0,97	Muito Elevada
U2	14,09	0,12	0,85	0,08	0,99	Muito Elevada
U3	13,50	2,84	21,04	1,85	0,79	Elevada
U4	20,51	1,76	8,58	1,15	0,91	Muito Elevada
U5	13,74	5,05	36,75	3,29	0,63	Elevada
U6	14,21	0,10	0,70	0,07	0,99	Muito Elevada
U7	12,91	0,21	1,63	0,14	0,98	Muito Elevada
U8	12,01	0,95	7,91	0,62	0,92	Muito Elevada
U9	10,57	2,33	22,04	1,52	0,78	Elevada
U10	7,51	2,57	34,22	1,67	0,66	Elevada
U11	8,20	3,15	38,41	2,05	0,62	Elevada

O Quadro 37 mostra os valores individuais de cada sub-bacia hidrográfica para o COBFLO, onde as sub-bacias hidrográficas U1, U2, U4, U6, U7 e U8 apresentaram maiores vulnerabilidades com a sub-bacia hidrográfica U6, sendo a que possui uma área vegetada de apenas 0,70 % de sua área, sendo a mais degradada da bacia nesse aspecto. As sub-bacias hidrográficas U3, U5, U9, U10 e U11, possuem valores de vulnerabilidade consideradas como Elevada, com a sub-bacia hidrográfica A3 com nível de COBFLO mais elevado (0,79), com 21,04 % da área constituído de área de florestas.

5.2.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES

A área da vegetação ciliar segundo a legislação é de 8,26 km² para o rio Mumbaba, podendo ser observados na Figura 14 os diversos usos que ocupam a APP.

Figura 14 – Mapa de ocorrência de matas ciliares da bacia hidrográfica do rio Mumbaba



No Quadro 40 é possível observar as áreas e as porcentagens dos usos que estão ocupando a área destinada a APP de acordo com o Código Florestal (BRASIL, 2012).

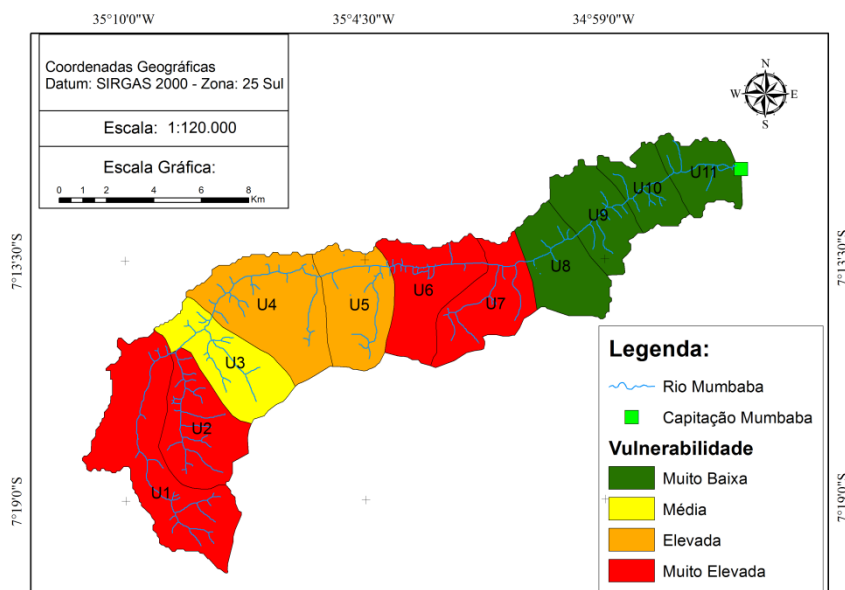
Quadro 40 – Áreas de ocupação nas margens dos rios para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Uso	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Abacaxi	0,26	3,14
Cana-de-açúcar	4,17	50,42
“Cultura branca”	0,94	11,37
Vegetação	2,90	35,07
Total	8,26	100

A lavoura da cana-de-açúcar é a que possui maior ocorrência das áreas consideradas APP, possuindo 50,42 % da área de mata ciliar, onde apenas 35,07 % do uso correspondem à vegetação nativa. Em seguida, temos 11,37 % ocupada por cultura branca e 3,14 % pela lavoura de abacaxi.

A Figura 15 mostra os resultados do cálculo do índice de mata ciliar para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba, o resultado geral da bacia foi de Média vulnerabilidade, onde as APP da bacia estão com 35 % de suas áreas preservadas.

Figura 15 – Mapa do índice de mata ciliar para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba



O Quadro 41 apresenta o resultado do cálculo do indicador de matas ciliares (MATCIL) para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba.

Quadro 41 – Indicador de mata ciliar para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Bacia/ Sub-bacias	APP (km ²)	Área Preservada			MATCIL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	8,26	2,91	-	35,23	0,65	Média
U1	1,25	0,11	8,80	1,33	0,91	Muito Elevada
U2	1,21	0,01	0,83	0,12	0,99	Muito Elevada
U3	0,83	0,46	55,42	5,57	0,45	Média
U4	1,01	0,28	27,72	3,39	0,72	Elevada
U5	0,69	0,18	26,09	2,18	0,74	Elevada
U6	0,72	0,02	2,78	0,24	0,97	Muito Elevada
U7	0,76	0,08	10,53	0,97	0,89	Muito Elevada
U8	0,31	0,30	96,77	3,63	0,03	Muito Baixa
U9	0,51	0,50	98,04	6,05	0,02	Muito Baixa
U10	0,47	0,47	100,00	5,69	0,00	Muito Baixa
U11	0,5	0,5	100,00	6,05	0,00	Muito Baixa

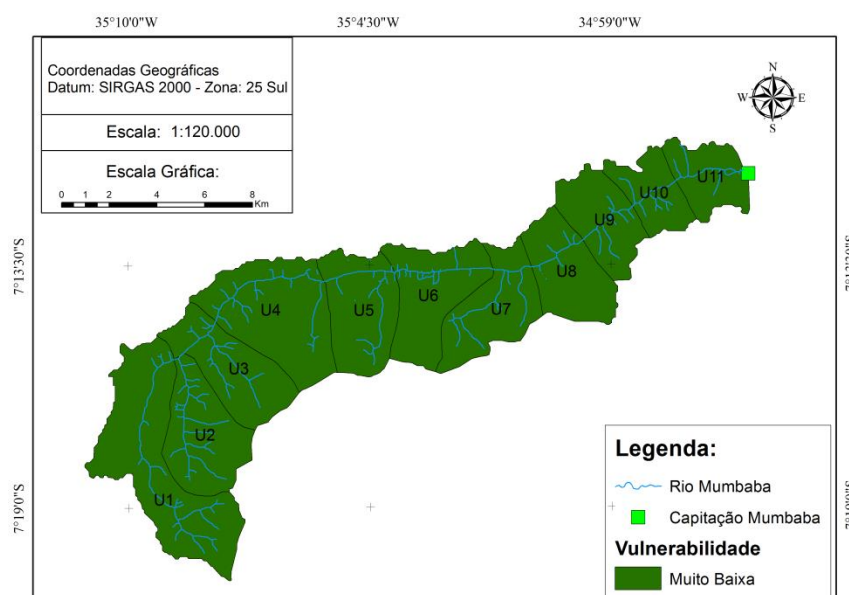
Verifica-se que as maiores vulnerabilidades encontram-se nas sub-bacias hidrográficas U1, U2, U6 e U7, com a sub-bacia hidrográfica U2 possuindo apenas 0,83 % da área destinada a APP em estado de preservação. As sub-bacias hidrográficas U4 e U5 apresentam a categoria de vulnerabilidade Elevada, com 27,72 % e 26,09 % de sua

APP preservada. Já as sub-bacias hidrográficas U9, U10 e U11 apresentaram a menor faixa de vulnerabilidade (muito baixa), onde duas delas apresentaram 100% de sua APP preservada (U10 e U11).

5.2.4 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS

A Figura 16 representa o resultado do cálculo do indicador de área urbana (URBAN), nas sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba.

Figura 16 – Cartograma do indicador de áreas urbanizadas das sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba



A bacia do rio Mumbaba apresenta poucas áreas urbanizadas, representando apenas 3,22 % da bacia ocupada por esse tipo de uso, distribuídos entre as sub-bacias hidrográficas, indicando um índice de 0,03 (URBAN) considerado como o menor indicador de vulnerabilidade (Muito Baixa), observado no Quadro 42.

Quadro 42 – Indicador de áreas urbanizadas para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Urbanizada			URBAN	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	153,63	4,95	-	3,22	0,03	Muito Baixa
U1	26,38	0,82	3,11	0,53	0,03	Muito Baixa
U2	14,09	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U3	13,50	1,08	8,00	0,70	0,08	Muito Baixa
U4	20,51	1,59	7,75	1,03	0,08	Muito Baixa
U5	13,74	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U6	14,21	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U7	12,91	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U8	12,01	0,15	1,25	0,10	0,01	Muito Baixa
U9	10,57	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U10	7,51	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U11	8,20	1,31	15,98	0,85	0,16	Muito Baixa

Ainda no Quadro 42 pode se observar que todas as sub-bacias hidrográficas apresentaram a menor categoria de vulnerabilidade do URBAN. A sub-bacia hidrográfica que apresenta maior concentração de área urbana é a U11, com 15,98 % de ocupação. As sub-bacias hidrográficas U2, U5, U6, U7, U9 e U10, não possuem adensamentos urbanos.

5.2.5 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO

- PLUVIOSIDADE

A pluviosidade da área de estudo foi bastante elevada variando entre 1600mm e 1700mm anuais, o que se justifica pelo fato da mesma estar situada próxima ao litoral, sendo o período chuvoso predominante nos meses de junho a agosto. Em relação à propensão a perda de solo, esse tema apresentou valores relativamente altos, atrelado ao fato, de que o período chuvoso apresentar uma alta pluviosidade, apresentando valores entre 400 a 500 mm num único mês (Quadro 43).

Quadro 43 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema climatológico

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de paisagem
400-425	2,5	U6
425-450	2,6	U5
450-475	2,7	U4

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

- GEOLOGIA

A seguir, o Quadro 44, apresenta áreas e porcentagens correspondentes às classes litológicas do rio Mumbaba. Observa-se que a Formação Barreiras ocupa 66,06% da área da bacia, emergindo em todas as áreas da bacia hidrográfica com, cerca de, 117,63 km² de área. Em seguida, os aluviões aparecem em 25,77% da área da bacia hidrográfica, encontrados nas regiões das várzeas e canais fluviais. Em seguida observa-se a Formação Beberibe com 7,64% de ocupação da área de estudo e por ultimo as Rochas Granitóides, representando menos de 1% da área de estudo.

Quadro 44 – Porcentagem das áreas do tema geologia para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Classe	Área (km²)	Porcentagem
Aluviões	39,98	26,02
Formação Beberibe	8,86	5,77
Formação Barreiras	103,93	67,65
Rochas Granitóides	0,86	0,56
TOTAL	153,63	100

Em relação ao risco de propensão à perda de solo a bacia do Mumbaba apresentou risco máximo de 3,0 para a classe Formação Beberibe, pois a mesma, apresenta pouca estabilidade e profundidade, sendo facilmente erodida pelas águas das chuvas através de infiltrações e também sofrendo com as ações do intemperismo, apresentando assim o nível mais elevado à perda de solo. A Formação Barreiras e os Aluviões também obtiveram um nível elevado de 2,6 e 2,4 respectivamente (moderadamente elevado), devido a baixa estabilidade dessas classes de rochas (Quadro 45). A categoria geológica mais estável é da Rochas Granitóides, apresentando uma maior resistência a erosão e as intempéries, ocorrendo em 0,56 % do território da bacia hidrográfica do rio Mumbaba.

Quadro 45 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema geológico

Classe	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
Aluviões	2,4	U7
Formação Beberibe	3,0	U1
Rochas Granitóides	1,2	U19
Formação Barreira	2,6	U5

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

- GEOMORFOLOGIA

Com relação a geomorfologia, pode-se observar que os Tabuleiros Costeiros prevalecem na bacia hidrográfica do rio Mumbaba (Quadro 46).

Quadro 46 – Porcentagem das áreas do tema geomorfologia para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Classe	Área (km ²)	Porcentagem
Tabuleiros Costeiros	153,63	100
TOTAL	153,63	100

- HIPSOMETRIA

Quanto à caracterização hipsométrica para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba, observa-se que a região é relativamente plana com poucos locais onde as cotas alcançam 200 m (Quadro 47).

Quadro 47 – Propensão ao risco à perda de solo para a hipsometria

Amplitude altimétrica (m)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
20,0 a 29,5	1,1	U20
29,5 a 39,0	1,2	U19
39,0 a 48,5	1,3	U18
48,5 a 58,0	1,4	U17
58,0 a 67,5	1,5	U16
67,5 a 77,0	1,6	U15
77,0 a 84,5	1,7	U14
84,5 a 94,0	1,8	U13
94,0 a 103,5	1,9	U12
103,5 a 113,0	2,0	U11
113,0 a 122,5	2,1	U10
122,5 a 132,0	2,2	U9
132,0 a 141,5	2,3	U8
141,5 a 151,0	2,4	U7
151,0 a 160,5	2,5	U6
160,5 a 170,0	2,6	U5
170,0 a 179,5	2,7	U4
189, 0 a 200,0	2,9	U2

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

- DECLIVIDADE

Quanto à declividade, os valores variaram entre declividades menores que 2% até o limite superior de 45% em poucas áreas (Quadro 48).

Quadro 48 – Propensão ao risco à perda de solo para a declividade

Declividade (%)	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
< 2	1,0	U21
2 a 6	1,5	U16
6 a 20	2,0	U11

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

Observa-se, que o grau de risco para esse tema vai de 1,0, que corresponde ao menor intervalo de risco, indicando uma área com uma declividade tão baixa que não fornece risco à perda de solo permanecendo estável. Em seguida observa-se o valor 1,5, para o risco, onde a mesma representa o índice de Moderadamente Estável, apresentando uma inclinação do terreno baixa mas suficiente para elevar o risco. Por fim observa-se o valor de risco 2,0.

- PEDOLOGIA

A pedologia da área de estudo compreende três tipos de solos que são os solos arenosos de praia, os solos lateríticos e podzólicos e, por último, os solos aluviais e hidromórficos. No Quadro 49 observam-se as áreas e porcentagens referentes a cada tipo de solo.

Quadro 49 – Porcentagem das áreas do tema pedologia para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Classe	Área (km²)	Porcentagem
Solos de várzeas - aluviais e hidromórficos	73,32	47,73
Solos arenosos das praias	78,39	51,03
Solos lateríticos e podzólicos do rebordo úmido da Borborema	1,92	1,25
TOTAL	153,63	100

O Quadro 50 apresenta os valores de propensão ao risco do tema pedológico para a bacia do rio Mumbaba.

Quadro 50 – Propensão ao risco à perda de solo para o tema pedológico

Classe	Risco	Unidade de paisagem
Solos arenosos das praias e restingas	3,0	U1
Solos das várzeas, aluviais e hidromórficos	3,0	U1
Solos lateríticos e podzólicos	2,0	U11

De acordo com as características dos solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Mumbaba, todos apresentam aspectos de baixa resistência, são solos arenosos e rasos e com pouca camada de vegetação. Com isso, a maior parte da região apresentou o nível de risco mais elevado (3,0) conforme a metodologia de Crepani et al., (2001), e apenas os solos lateríticos e podzólicos apresentaram o grau de risco 2,0.

- USO DO SOLO

O Quadro 51 mostra a propensão ao risco de cada categoria de uso do solo, onde os riscos mais elevados foram os de cana de açúcar, área urbana, cultivo de abacaxi e extração de areia (areial) todos com grau 3,0 de risco, “cultura branca” apresentou risco de 2,3 e as matas e rios o grau de risco 1,0, o mais baixo.

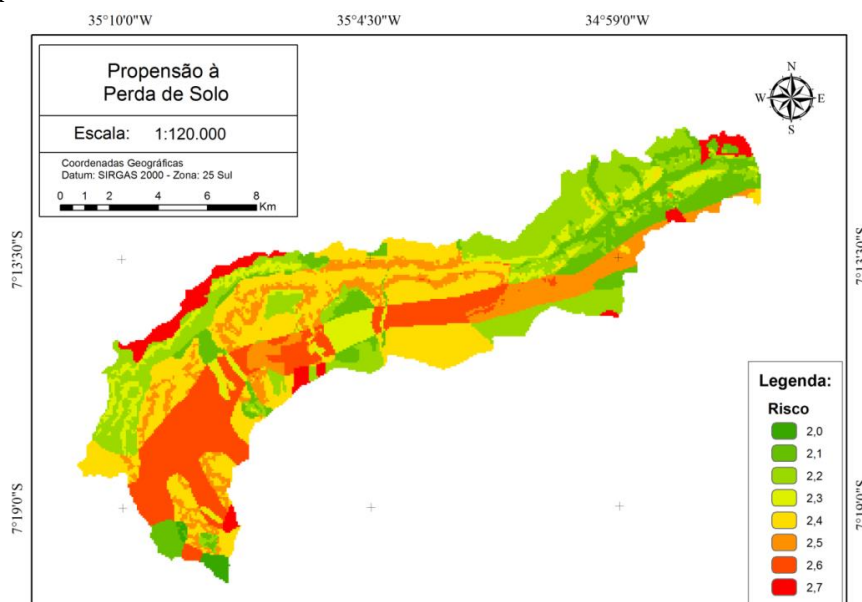
Quadro 51 – Propensão ao risco à perda de solo para o uso do solo

Classe de uso e ocupação do solo	Grau de risco à perda de solo	Unidade de Paisagem
Rios	1,0	U21
Mata	1,0	U21
Cana-de-açúcar	3,0	U1
Área urbana	3,0	U1
Abacaxi	3,0	U1
“Cultura branca”	2,3	U8
Extração de areia	3,0	U1

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001).

O mapa final de risco à propensão à perda de solo apresentou poucas áreas classificadas como Instáveis e está contida em quase sua totalidade como moderadamente instável, como se pode visualizar na Figura 17.

Figura 17 – Mapa de risco a propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Mumbaba



Por meio do Quadro 52 pode se visualizar os valores de risco ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Mumbaba.

Quadro 52 – Propensão ao risco à perda de solo para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

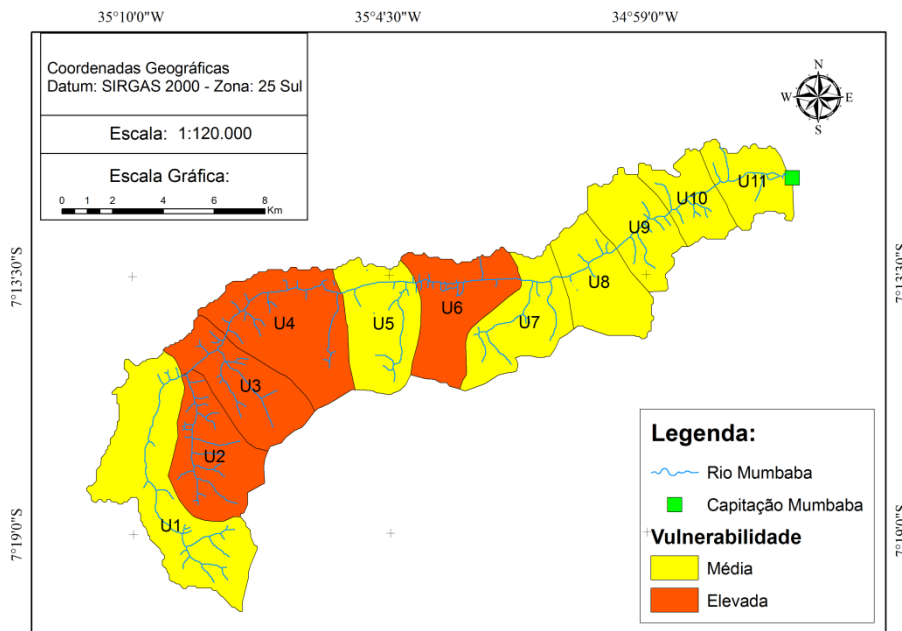
Risco	Área (km ²)	Frequencia (%)	Propensão ao risco	Média (%)
2,0	1,11	0,72	Medianamente estável/instável	34,36
2,1	18,76	12,21	Medianamente estável/instável	
2,2	32,91	21,42	Medianamente estável/instável	
2,3	11,6	7,55	Moderadamente instável	61,53
2,4	37,6	24,47	Moderadamente instável	
2,5	20,43	13,30	Moderadamente instável	
2,6	24,9	16,21	Moderadamente instável	4,11
2,7	6,32	4,11	Instável	

A classe de risco com maior frequência foi a 2,4, observada em 37,60 km², considerara Moderadamente Instável. Essa categoria ocorreu na maior parte da bacia hidrográfica (61,53%), na faixa de valores de risco entre 2,3 e 2,6. A maior classificação em relação ao risco à perda de solo foi de 2,7, considerada Instável, ocorrendo em 4,11% de todo o território da bacia, sendo bastante influenciado por áreas com alto grau de antropização. Os menores valores de risco correspondem a categoria Medianamente Estável/Instavel (2,0 a 2,2), obtiveram distribuição de 34,36 % em toda a bacia hidrográfica. Essa categoria sofreu influência das matas, rios, relevo e tipos de solos encontrados na região.

- ÍNDICE DE PROPENSÃO À PERDA DE SOLO

A Figura 18 representa o resultado do cálculo do índice de propensão à perda do solo para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba.

Figura 18 – Mapa do indicador de propensão à perda de solo para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba



A bacia hidrográfica do rio Mumbaba apresentou o valor geral do risco médio de perda de solo de 2,2 na escala de Crepani et al., (2001), correspondendo a um CRESOL de 0,6, considerado de vulnerabilidade Média (Quadro 53).

Quadro 53 – Indicador de propensão à perda de solo para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba

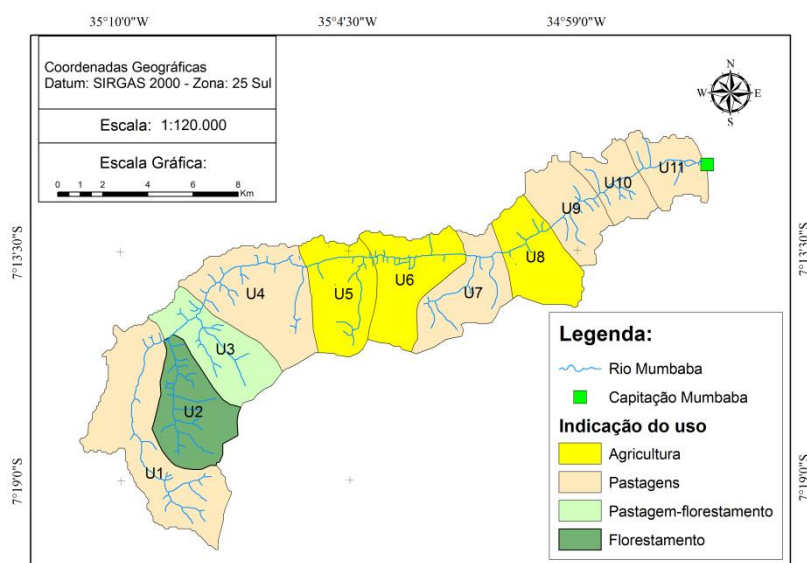
Sub-bacias/ Bacias	Risco Médio	CRESOL	Classificação da vulnerabilidade
U1	2,2	0,60	Média
U2	2,3	0,65	Elevada
U3	2,3	0,65	Elevada
U4	2,3	0,65	Elevada
U5	2,2	0,60	Média
U6	2,3	0,65	Elevada
U7	2,2	0,60	Média
U8	2,2	0,60	Média
U9	2,2	0,60	Média
U10	2,2	0,60	Média
U11	2,2	0,60	Média
U1	2,2	0,60	Média

O Quadro 53 ainda apresenta os valores por sub-bacia hidrográfica, indicando que as sub-bacias hidrográficas que obtiveram os valores mais altos foram as sub-bacias hidrográficas U2, U3, U4 e U7, consideradas como de Elevada vulnerabilidade. As demais bacias hidrográficas apresentam vulnerabilidades consideradas médias com o CRESOL 0,6.

5.1.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE

O tipo de uso mais recomendados pela metodologia do Coeficiente de Rugosidade para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba é o de pastagens, com seis sub-bacias hidrográficas, seguido da agricultura com três sub-bacias hidrográficas (U5, U6 e U8), e os usos de pastagens/florestamento e florestamento apresentam apenas uma sub-bacia hidrográfica destinada a esses fins, podendo ser observado sua distribuição na Figura 19.

Figura 19 – Mapa de conformidades de usos da bacia hidrográfica do rio Mumbaba



O Quadro 54 mostra os valores de cada atributo do cálculo do Coeficiente de Rugosidade (CR).

Quadro 54 – Atributos do uso do solo potencial (CR) para a bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Bacias	Área (km ²)	Lt* (km)	Dd**	Decl. Média (%)	CR***	Usos
U1	26,38	21,62	0,82	11,16	0,091	Pastagens
U2	14,09	19,93	1,41	13,82	0,195	Florestamento
U3	13,50	14,89	1,10	12,22	0,135	Past./Floresta
U4	20,51	17,81	0,87	10,45	0,091	Pastagens
U5	13,74	12,44	0,91	8,53	0,077	Agricultura
U6	14,21	10,80	0,76	7,92	0,060	Agricultura
U7	12,91	13,86	1,07	8,67	0,093	Pastagens
U8	12,01	6,54	0,54	7,21	0,039	Agricultura
U9	10,57	9,57	0,91	10,00	0,091	Pastagens
U10	7,51	8,21	1,09	9,30	0,102	Pastagens
U11	8,20	7,82	0,95	9,68	0,092	Pastagens

*Lt – comprimentos dos rios; **Dd – densidade de drenagem; ***CR – valor do coeficiente de rugosidade

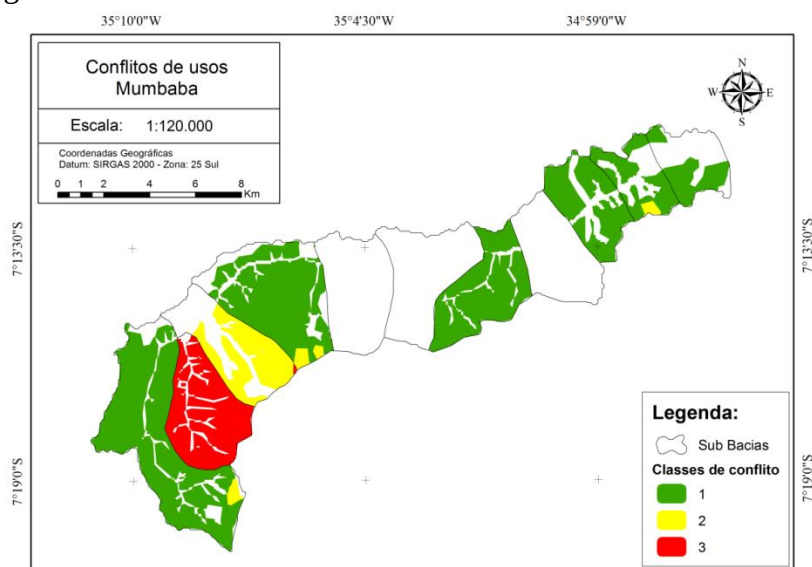
As sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba obtiveram todos os quatro tipos de usos recomendados pela metodologia. Destacando-se a categoria de uso Pastagens em seis sub-bacias hidrográficas (U1, U4, U7, U9, U10 e U11), sendo essa a maior aptidão da bacia hidrográfica. As sub-bacias hidrográficas U5, U6 e U8 apresentaram o uso para

Agricultura. A única sub-bacia hidrográfica que obteve uso recomendado para Florestamento foi a U2.

5.1.4 CONFLITOS DE USOS

A Figura 20 representa o resultado do cálculo dos conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba.

Figura 20 – Cartograma representando a distribuição dos conflitos de usos nas sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba



O Quadro 55 representa o resultado do cálculo do indicador de conflitos de usos (CONFSOL) para a bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba.

Quadro 55 – Indicador de Conflitos de usos das bacias hidrográficas do rio Mumbaba

Bacia / Sub-bacias	Área (km²)	Áreas com Conflitos e percentuais			CONFSOL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	153,63	88,38	-	57,53	0,57	Média
U1	26,38	22,51	85,33	14,65	0,85	Muito Elevada
U2	14,09	12,30	87,30	8,01	0,87	Muito Elevada
U3	13,50	7,74	57,33	5,04	0,57	Média
U4	20,51	15,93	77,67	10,37	0,77	Elevada
U5	13,74	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U6	14,21	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U7	12,91	11,86	91,87	7,72	0,91	Muito Elevada
U8	12,01	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
U9	10,57	8,07	76,35	5,25	0,76	Elevada
U10	7,51	5,31	70,71	3,46	0,70	Elevada
U11	8,20	4,66	56,83	3,03	0,56	Média

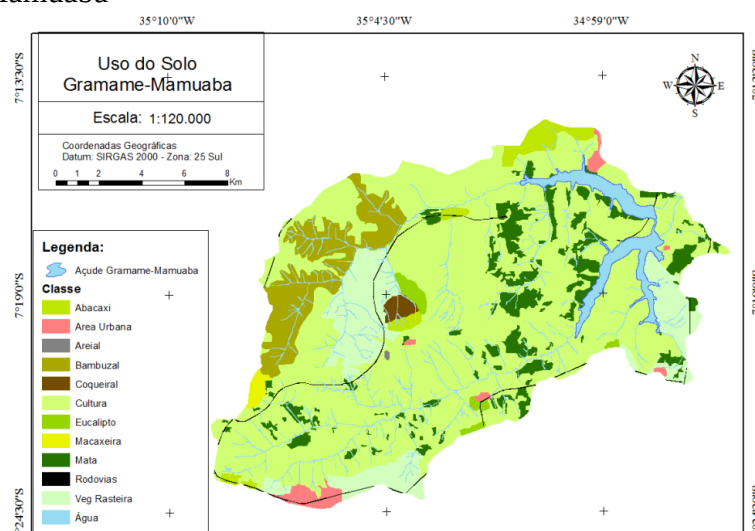
O território da bacia hidrográfica do rio Mumbaba possui uma área de 88,38 km² de conflitos relacionados ao uso e ocupação do solo, representando 57,53 % da área da bacia. As sub-bacias hidrográficas que obtiveram os maiores valores de vulnerabilidade (Muito Elevada) foram as U1, U2 e U7, com destaque para a U7 que apresentou um indicador de 0,91, o mais alto entre todas as sub-bacias hidrográficas do rio Mumbaba. A categoria de vulnerabilidade Elevada ocorreu nas sub-bacias hidrográficas U4, U9 e U10, entre as faixas de valores de 0,61 a 0,80 da escala do CONFSOL. Nos menores valores do indicador encontram-se as sub-bacias hidrográficas U5, U6 e U8, todas sem nenhuma área com conflitos consideradas como de vulnerabilidade Muito Baixa.

5.3 Bacia Hidrográfica dos Rios Gramame e Mamuaba

5.3.1 USO DO SOLO

Cavalcanti (2014) elaborou o mapa de uso e ocupação do solo a partir de uma imagem do satélite Landsat - 8 do sensor *Operacional Terra Imager* (OLI), datada de 28 de setembro de 2013. Utilizou-se a classificação supervisionada por regiões, por meio do classificador *Battacharya* que utiliza a informação espectral dos pixels baseados nas propriedades espaciais, totalizando em 12 classes de uso ocupação (Figura 21). Em seguida foi realizada a atividade de campo para validação dos resultados com auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Figura 21 – Representação cartográfica do uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba



Fonte: adaptado de Cavalcanti (2014).

O Quadro 56 mostra os valores das categorias de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba.

Quadro 56 – Áreas e porcentagens das categorias de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba

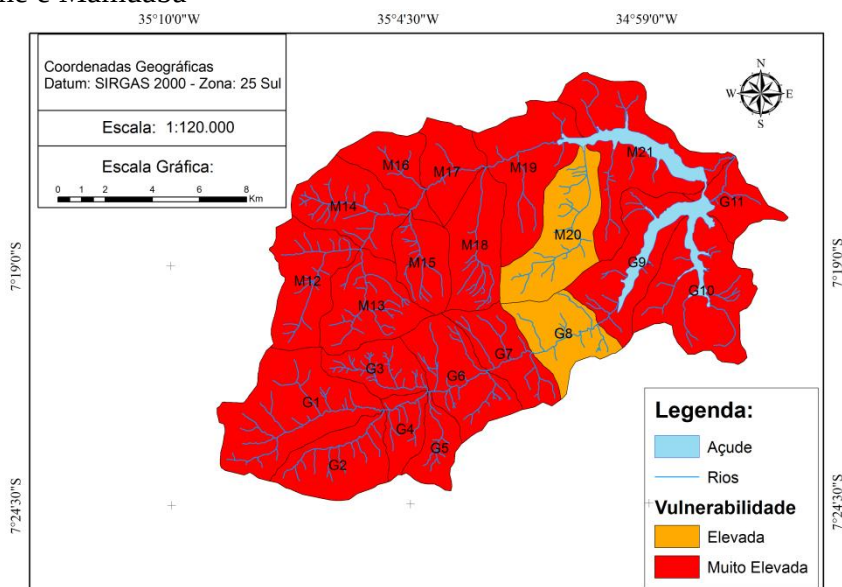
Classes	Área (km²)	Porcentagem (%)
Água	20,12	7,91
Abacaxi	5,24	2,06
Área Urbana	3,46	1,36
Areial	0,09	0,04
Bambuzal	17,22	6,77
Coqueiral	1,27	0,50
Cana-de-açúcar	157,01	61,72
Eucalipto	2,20	0,87
Mandioca	1,15	0,45
Mata	20,06	7,89
Rodovias	1,67	0,66
Vegetação rasteira	24,81	9,76

De acordo com Cavalcanti (2014), a classe de uso do solo que mais ocorre na bacia hidrográfica do rio Gramame é lavoura da cana-de-açúcar, com 61,72% da área total da bacia, em seguida observa-se a vegetação rasteira, com 9,76 % e 7,89 % por matas ciliares e vegetação nativa.

5.3.2 INDICADOR DE ÁREAS FLORESTADAS

A Figura 22 mostra o resultado da distribuição das áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba.

Figura 22 – Mapa do indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba



As bacias dos rios Gramame e Mamuaba apresentaram indicador bastante elevado pela falta de cobertura florestal, com o COBFLO em 0,82, considerado de vulnerabilidade Muito Elevada. Vale salientar que esse resultado não é o visualizado no cenário real, visto que os trabalhos de campo mostraram áreas de matas e florestas maiores dos que as observadas no mapeamento final de uso do solo. Isso deve-se ao fato da resolução da imagem utilizada (30 m) para a classificação do uso do solo limitar uma análise mais detalhada das matas, mascarando a quantidade real das áreas de florestas da bacia hidrográfica do Gramame e Mamuaba.

O Quadro 57 apresenta os valores para cada sub-bacia hidrográfica em relação a distribuição dos valores do cálculo das áreas florestadas para a bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba.

Quadro 57 – Indicador de áreas florestadas da bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba

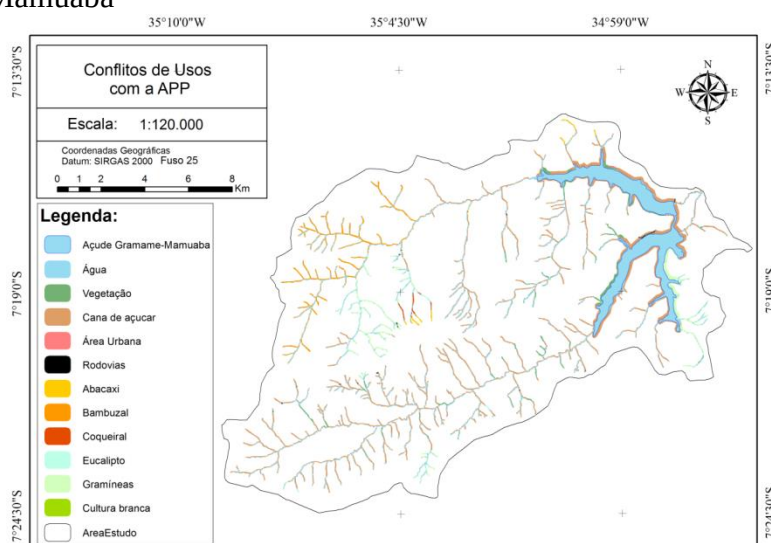
Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Florestada			COBFLO	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	254,18	19,99	-	7,86	0,82	Muito Elevada
G1	21,82	1,72	7,88	0,68	0,92	Muito Elevada
G10	18,54	0,79	4,26	0,31	0,96	Muito Elevada
G11	5,84	1,07	18,32	0,42	0,82	Muito Elevada
G2	11,71	0,17	1,45	0,07	0,99	Muito Elevada
G3	7,47	0,12	1,61	0,05	0,98	Muito Elevada
G4	5,06	0,29	5,73	0,11	0,94	Muito Elevada
G5	5,29	0,32	6,05	0,13	0,94	Muito Elevada
G6	12,95	0,39	3,01	0,15	0,97	Muito Elevada
G7	9,62	0,53	5,51	0,21	0,94	Muito Elevada
G8	10,28	2,69	26,17	1,06	0,74	Elevada
G9	12,23	2,61	21,34	1,03	0,80	Muito Elevada
M12	13,07	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M13	12,61	0,06	0,48	0,02	1,00	Muito Elevada
M14	12,50	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M15	7,98	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M16	7,88	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M17	8,15	0,44	5,40	0,17	0,95	Muito Elevada
M18	11,59	0,12	1,04	0,05	0,99	Muito Elevada
M19	16,31	1,02	6,25	0,40	0,94	Muito Elevada
M20	15,47	5,52	35,68	2,17	0,64	Elevada
M21	19,29	2,13	11,04	0,84	0,89	Muito Elevada

As sub-bacias hidrográficas G8 e M20 apresentam a categoria de vulnerabilidade Elevada com o COBFLO de 0,74 e 0,64 (26,17 e 35,68 %) de suas áreas ocupadas por matas, o restante das sub-bacias hidrográficas apresentaram a classificação mais elevada do indicador, com uma vulnerabilidade Muito Elevada, variando entre 0,83 e 1. Com as sub-bacias hidrográficas M12, M13, M14, M15 e M16 sem nenhuma área de cobertura vegetal.

5.3.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES

Com um total de 15,79 km² de área destinada a APP, a Figura 23 mostra as principais categorias de uso encontrados na bacia do rio Gramame e Mamuaba.

Figura 23 – Mapa de ocorrência de matas ciliares das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba



O Quadro 58 apresenta os valores para cada sub-bacia hidrográfica em relação a distribuição dos valores de usos na APP.

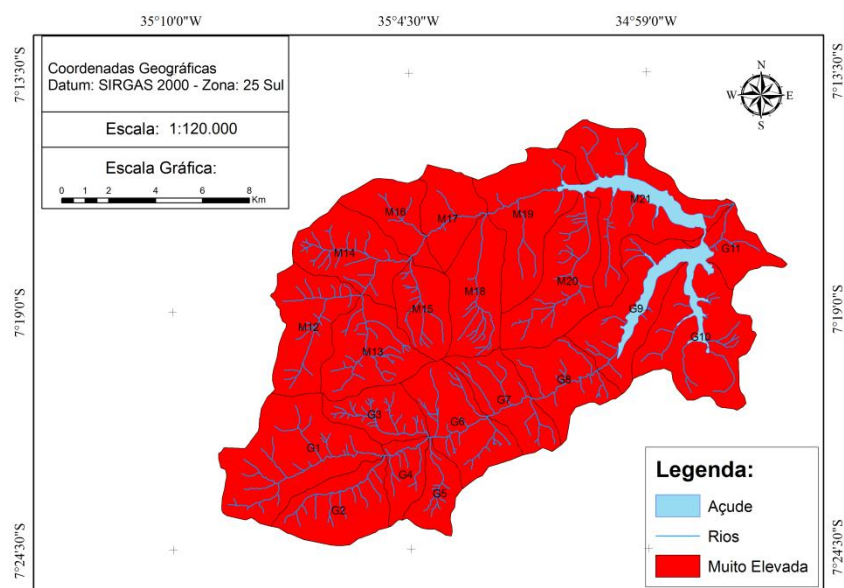
Quadro 58 – Áreas de ocupação nas margens dos rios da bacia Gramame e Mamuaba

Uso	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Mata	1,37	8,68
Cultura (cana-de-açúcar)	10,5	66,49
Área urbana	0,02	0,14
Rodovias	0,08	0,51
Abacaxi	0,18	1,14
Bambuzal	1,56	9,88
Coqueiral	0,11	0,70
Eucalipto	0,06	0,38
Vegetação rasteira	1,91	12,09
Total	15,79	100,00

No Quadro 58 verifica-se que 66,49 % que deveriam ser destinados a AAP, apresenta cultivo de cana-de-açúcar, 9,88 % de plantação de bambu e 12,09 % de vegetação rasteira. Apenas 8,68 % da área pertencem à vegetação ciliar.

Em seguida, na Figura 24 é possível observar o mapeamento dos resultados do cálculo do Indicador de Matas Ciliares (MATCIL).

Figura 24 – Mapa do indicador de matas ciliares para as sub-bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba



As bacias hidrográficas dos rios Gramama e Mamuaba apresentam uma área total de APP de 31,1 km², dos quais 4,37 % encontram-se preservados. Esse valor corresponde a 0,96 do índice MATCIL, considerado de vulnerabilidade muito elevada (Quadro 59).

Quadro 59 – Indicador de mata ciliar das sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba

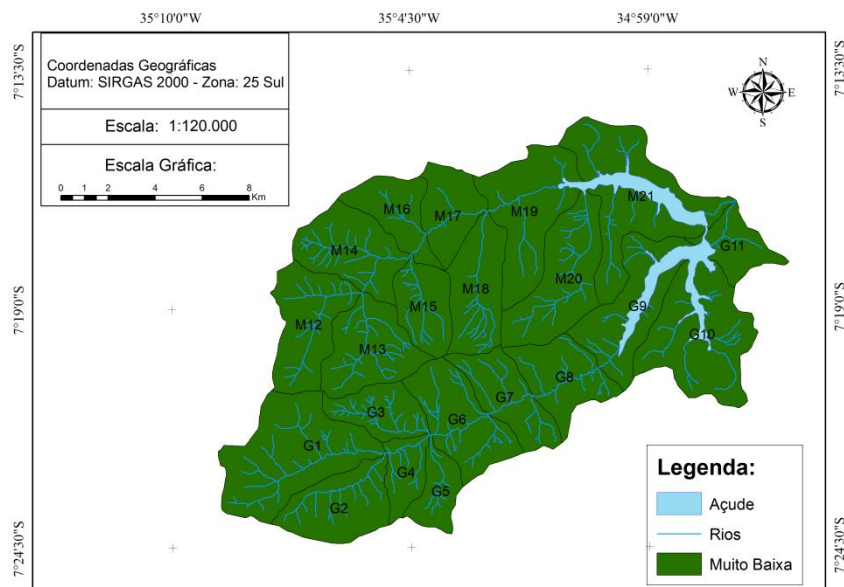
Bacia/ Sub- bacias	APP (km ²)	Área Preservada			MATCIL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	31,10	1,36	-	4,37	0,96	Muito Elevada
G1	1,52	0,07	4,61	5,15	0,95	Muito Elevada
G10	3,93	0,02	0,51	1,47	0,99	Muito Elevada
G11	0,95	0,01	1,05	0,74	0,99	Muito Elevada
G2	0,88	0,01	1,14	0,74	0,99	Muito Elevada
G3	0,99	0,02	2,02	1,47	0,98	Muito Elevada
G4	0,54	0,01	1,85	0,74	0,98	Muito Elevada
G5	0,41	0,02	4,88	1,47	0,95	Muito Elevada
G6	1,27	0,05	3,94	3,68	0,96	Muito Elevada
G7	0,90	0,07	7,78	5,15	0,92	Muito Elevada
G8	0,83	0,11	13,25	8,09	0,87	Muito Elevada
G9	4,62	0,33	7,14	24,26	0,93	Muito Elevada
M12	1,02	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M13	1,22	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M14	1,21	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M15	0,71	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M16	0,35	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M17	0,30	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M18	0,90	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
M19	1,27	0,10	7,87	7,35	0,92	Muito Elevada
M20	1,33	0,20	15,04	14,71	0,85	Muito Elevada
M21	5,95	0,34	5,71	25,00	0,94	Muito Elevada

No Quadro 59 pode se observar que o valor de todas as sub-bacias hidrográficas para o indicador MATCIL apresentou vulnerabilidade Muito Elevada, a bacia M20 apresentou a maior quantidade de mata ciliar (15,04 %) e as demais bacias com o valor próximo a 1.

5.3.4 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS

A Figura 25 representa o resultado do cálculo do indicador de áreas urbanizadas (URBAN) para sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba.

Figura 25 – Mapa de áreas urbanizadas das sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba



A bacia do Gramame e Mamuaba apresenta 1,35 % de áreas urbanizadas, apresentando uma classificação do URBAN de 0,01, considerada como de vulnerabilidade muito baixa.

O Quadro 60 apresenta os valores para cada sub-bacia hidrográfica em relação à distribuição dos valores do cálculo das áreas urbanizadas da bacia do rio Gramame e Mamuaba.

Quadro 60 – Indicador de áreas urbanizadas das sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba

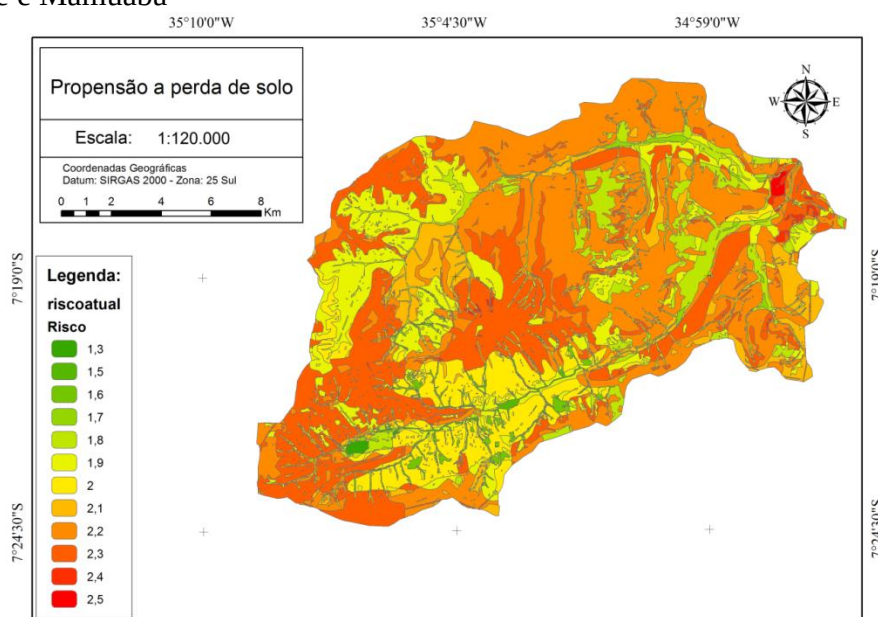
Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Urbanizada			URBAN	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	254,18	3,43	-	1,35	0,01	Muito Baixa
G1	21,82	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
G10	18,54	0,16	0,86	0,06	0,01	Muito Baixa
G11	5,84	0,06	1,03	0,02	0,01	Muito Baixa
G2	11,71	2,16	18,45	0,85	0,18	Muito Baixa
G3	7,47	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
G4	5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
G5	5,29	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
G6	12,95	0,12	0,93	0,05	0,01	Muito Baixa
G7	9,62	0,22	2,29	0,09	0,02	Muito Baixa
G8	10,28	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
G9	12,23	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M12	13,07	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M13	12,61	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M14	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M15	7,98	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M16	7,88	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M17	8,15	0,01	0,12	0,00	0,00	Muito Baixa
M18	11,59	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M19	16,31	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M20	15,47	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M21	19,29	0,70	3,63	0,28	0,04	Muito Baixa

O Quadro 60 mostra que todas as sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba apresentaram valor de vulnerabilidade Muito Baixa, onde o maior valor área urbana foi o da sub-bacia hidrográfica G2, com 18,45 % de ocupação. A grande maioria das sub-bacias hidrográficas não possuem malhas urbanas.

5.3.5 RISCO A PROPENSÃO À PERDA DE SOLO

A Figura 26 mostra a distribuição das categorias de risco para a bacia do rio Gramame e Mamuaba.

Figura 26 – Mapa de propensão à perda de solo das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba



Fonte: adaptado de Calvalcanti (2014).

No Quadro 61 pode se perceber que o grau de risco variou de 1,3 a 2,5, contendo 12 faixas de risco.

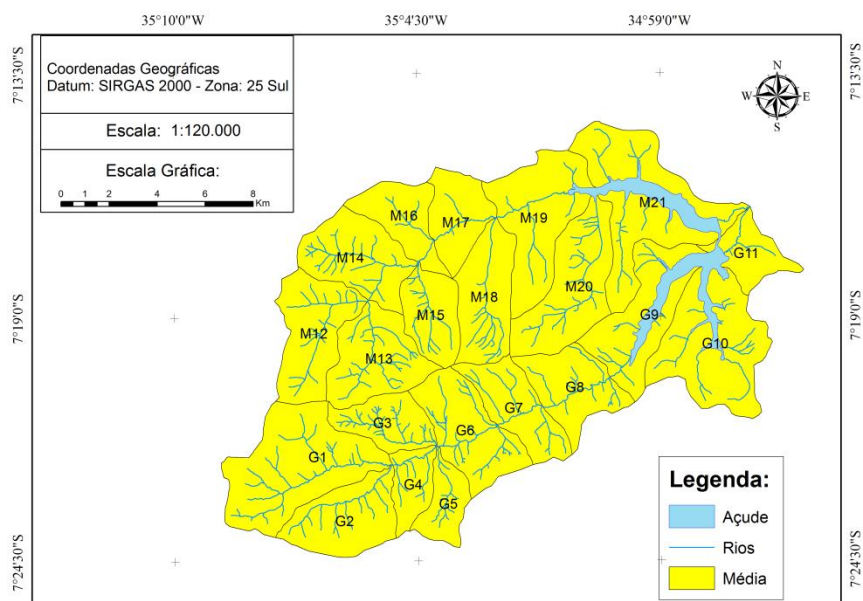
Quadro 61 – Propensão à perda de solo das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba

Risco	Área (km ²)	Frequencia (%)	Propensão ao risco	Porcentagem (%)
1,3	0,16	0,02	Estável	0,02
1,4	0,53	0,16	Moderadamente estável	2,45
1,5	1,13	0,40	Moderadamente estável	
1,6	3,25	1,24	Moderadamente estável	
1,7	1,76	0,65	Moderadamente estável	
1,8	20,94	8,24	Medianamente estável/instável	62,96
1,9	37,15	14,65	Medianamente estável/instável	
2,0	23,38	9,20	Medianamente estável/instável	
2,1	14,26	5,59	Medianamente estável/instável	
2,2	64,02	25,28	Medianamente estável/instável	
2,3	84,78	33,50	Moderadamente instável	34,57
2,4	2,33	0,88	Moderadamente instável	
2,5	0,61	0,20	Moderadamente instável	

O Quadro 61 apresenta os resultados do cálculo da propensão à perda de solo das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba. A maior parte da bacia hidrográfica foi classificada na faixa da categoria medianamente estável/instável (62,96 %), variando de 1,8 a 2,2 na escala de risco, ocorrendo principalmente nas regiões de cultivos de cana-de-açúcar, abacaxi e bambuzal. O menor grau de risco foi o 1,3 ocorrendo em apenas 0,02 % da área da bacia relacionado às áreas de matas ciliares, cursos dos rios e reservatório.

A Figura 27 apresenta o mapeamento para cada sub-bacia hidrográfica em relação à distribuição dos valores do cálculo do indicador de propensão à perda do solo.

Figura 27 – Mapa do indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba



A bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba apresenta um risco médio de propensão à perda de solo de 2,04 (CREPANI) e indicador CRESOL com valor de 0,5.

Quadro 62 – Indicador de propensão à Perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba

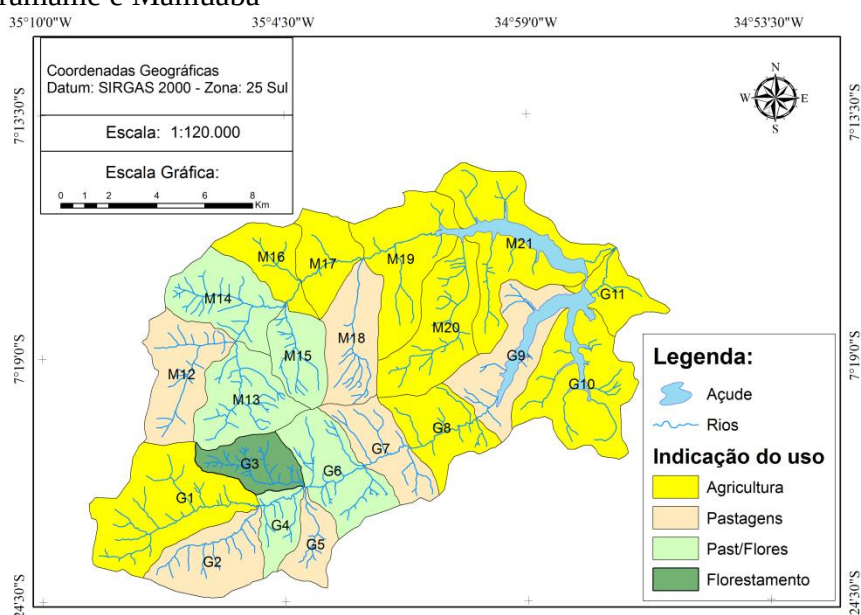
Bacia/ Sub-bacias	Risco Médio	CRESOL	Classificação da vulnerabilidade
Bacia	2,0	0,50	Média
G1	2,1	0,55	Média
G10	2,1	0,55	Média
G11	2,1	0,55	Média
G2	2,1	0,55	Média
G3	2,0	0,50	Média
G4	2,0	0,50	Média
G5	1,9	0,45	Média
G6	2,0	0,50	Média
G7	2,0	0,50	Média
G8	2,1	0,55	Média
G9	2,0	0,50	Média
M12	2,0	0,50	Média
M13	2,0	0,50	Média
M14	2,0	0,50	Média
M15	2,1	0,55	Média
M16	2,0	0,50	Média
M17	2,1	0,55	Média
M18	2,2	0,60	Média
M19	2,1	0,55	Média
M20	2,0	0,50	Média
M21	2,0	0,50	Média

O Quadro 62 apresenta os valores de vulnerabilidade do indicador do CRESOL para as sub-bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba. Todas as sub-bacias hidrográficas possuem valor na categoria Média.

5.3.6 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE

Para a bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba, o Coeficiente de Rugosidade mostrou maior indicação de uso para as áreas de agricultura, com nove sub-bacias hidrográficas e em seguida seis usos de sub-bacias hidrográficas indicados para pastagens, cinco para pastagens/florestamento e apenas uma sub-bacia para florestamento. Conforme pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 – Mapa do cálculo do coeficiente de rugosidade das sub-bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba



O Quadro 63 mostra os resultados do CR para as sub-bacias hidrográficas, suas respectivas áreas, o comprimento dos rios (Lt), a densidade de drenagem (Dd) e a declividade média de cada uma.

Quadro 63 – Coeficiente de Rugosidade para abacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba

Bacias	Área (km²)	Lt* (km)	Dd**	Decl. Média (%)	CR***	Usos
G1	21,82	26,90	1,23	7,02	0,087	Agricultura
G10	20,24	24,91	1,23	7,50	0,092	Agricultura
G11	6,20	5,77	0,93	8,60	0,080	Agricultura
G2	11,71	15,20	1,30	7,53	0,098	Pastagens
G3	7,47	17,17	2,30	11,68	0,269	Florestamento
G4	5,06	9,36	1,85	10,99	0,203	Past./Florest.
G5	5,29	7,35	1,39	9,80	0,136	Pastagens
G6	12,95	22,06	1,70	9,68	0,165	Past./Florest.
G7	9,62	15,34	1,59	9,52	0,152	Pastagens
G8	10,28	14,26	1,39	6,85	0,095	Agricultura
G9	14,93	25,95	1,74	5,82	0,101	Pastagens
M12	13,07	17,61	1,35	7,59	0,102	Pastagens
M13	12,61	20,95	1,66	9,61	0,160	Past./Florest.
M14	12,50	20,81	1,66	9,43	0,157	Past./Florest.
M15	7,98	12,42	1,56	10,23	0,159	Past./Florest.
M16	7,88	6,13	0,78	7,41	0,058	Agricultura
M17	8,15	5,18	0,64	6,21	0,039	Agricultura
M18	11,59	15,51	1,34	8,52	0,114	Pastagens
M19	16,60	14,59	0,88	5,25	0,046	Agricultura
M20	15,52	21,80	1,40	5,56	0,078	Agricultura
M21	22,71	26,73	1,18	5,06	0,060	Agricultura

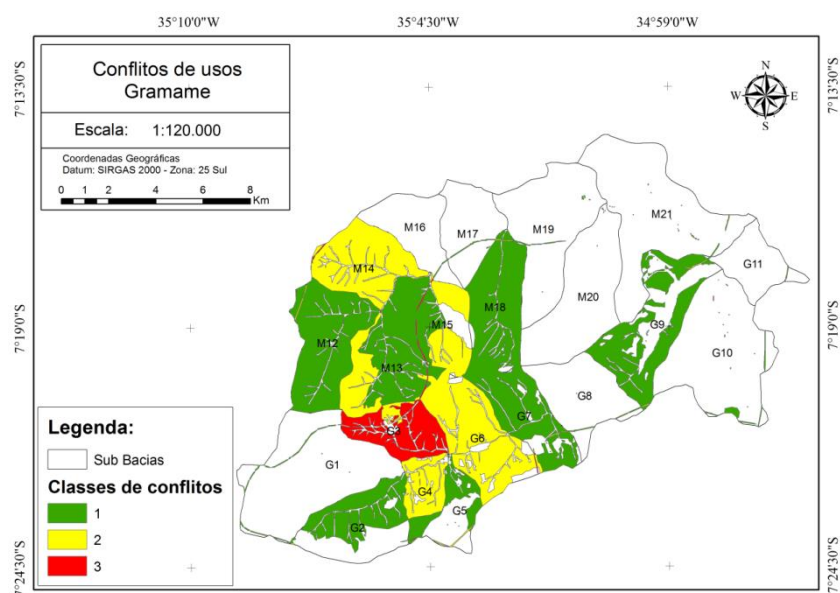
*Lt – comprimentos dos rios; **Dd – densidade de drenagem; ***CR – valor do coeficiente de rugosidade

De acordo com o Quadro 63 as bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba possui aptidão agrícola, apresentando a maior parte das sub-bacias hidrográficas a classificação de agricultura de acordo com o Coeficiente de Rugosidade (CR). A categoria com a segunda maior quantidade de frequência observada foi a do tipo pastagens, ocorrendo nas sub-bacias hidrográficas (G2, G5, G7, G9 e M18).

5.3.7 CONFLITOS DE USOS

A Figura 29 apresenta por meio de cartograma a distribuição das áreas em conflitos de uso do solo.

Figura 29 – Distribuição dos conflitos de usos nas sub-bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba



O Quadro 64 mostra o resultado do cálculo do Índice de Conflitos de Usos (CONFSOL), para a bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba.

Quadro 64 – Indicador do cálculo dos conflitos de uso (CONFSOL) para as sub-bacias hidrográficas do rio Gramame e Mamuaba

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Áreas com conflitos			CONFOL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	254,18	85,79	-	33,75	0,33	Baixa
G1	21,82	0,01	0,05	0,00	0,00	Muito Baixa
G10	20,24	0,01	0,05	0,00	0,00	Muito Baixa
G11	6,20	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
G2	11,71	6,39	54,57	2,51	0,54	Média
G3	7,47	6,64	88,89	2,61	0,88	Muito Elevada
G4	5,06	4,46	88,14	1,75	0,88	Muito Elevada
G5	5,29	1,8	34,03	0,71	0,34	Baixa
G6	12,95	10,85	83,78	4,27	0,84	Muito Elevada
G7	9,62	7,37	76,61	2,90	0,77	Elevada
G8	10,28	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
G9	14,93	9,36	62,69	3,68	0,63	Elevada
M12	13,07	4,39	33,59	1,73	0,33	Baixa
M13	12,61	10,94	86,76	4,30	0,87	Muito Elevada
M14	12,50	6,46	51,68	2,54	0,51	Média
M15	7,98	6,33	79,32	2,49	0,79	Elevada
M16	7,88	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
M17	8,15	0,01	0,12	0,00	0,01	Muito Baixa
M18	11,59	10,74	92,67	4,23	0,93	Muito Elevada
M19	16,60	0,01	0,06	0,00	0,00	Muito Baixa
M20	15,52	0,01	0,06	0,00	0,00	Muito Baixa
M21	22,71	0,01	0,04	0,00	0,00	Muito Baixa

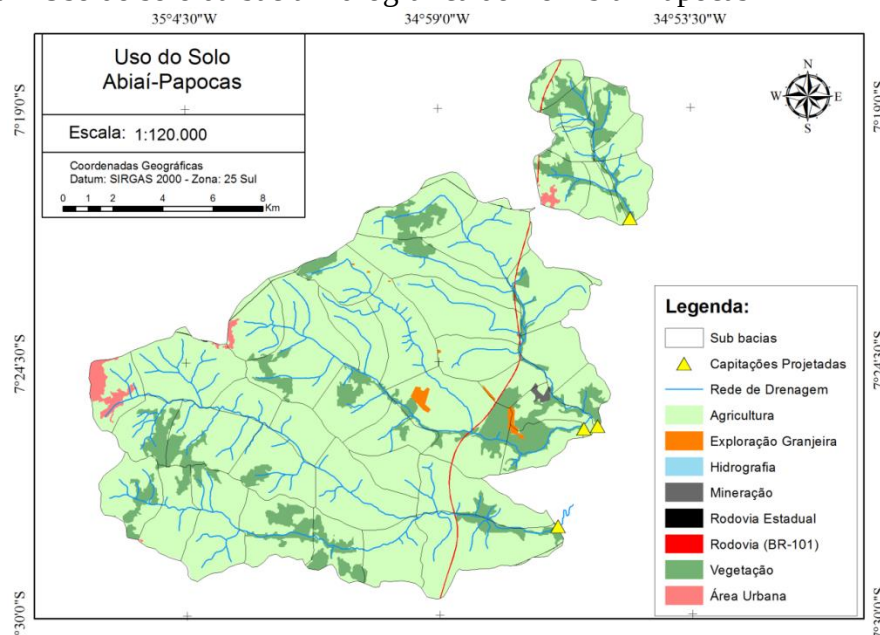
O território da bacia do rio Gramame e Mamuaba apresentou 85,79 km² de áreas de conflitos, correspondendo a 33,75 % do total, obtendo a classificação do CONFSOL como de Baixa vulnerabilidade. O Quadro 64 mostra as sub-bacias hidrográficas que obtiveram conflitos de uso. As sub-bacias hidrográficas G11 e M16 não apresentaram conflitos de uso, resultando como sendo de Muito Baixa vulnerabilidade. Nas sub-bacias hidrográficas G3, G4, G6, M13 e M18 os valores de vulnerabilidade foram considerados Muito Elevados, com seu indicador variando entre 0,81 e 1,0.

5.4 Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí-Papocas

5.4.1 USO DO SOLO

Para elaboração do mapa de uso do solo, Bezerra (2014) utilizou uma imagem TM do satélite Landsat 5, do ano de 2006, disponibilizada pelo sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Em seguida a imagem foi importada para o software SPRING (versão 5.1), onde foi segmentada e classificada em nove classes de uso e ocupação (Figura 30). Posteriormente o autor realizou uma atividade de campo para validar os resultados com um receptor GPS.

Figura 30 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas



O Quadro 65 apresenta os valores de áreas e porcentagens relativos às categorias de uso do solo observadas nas bacias e sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.

Quadro 65 – Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas

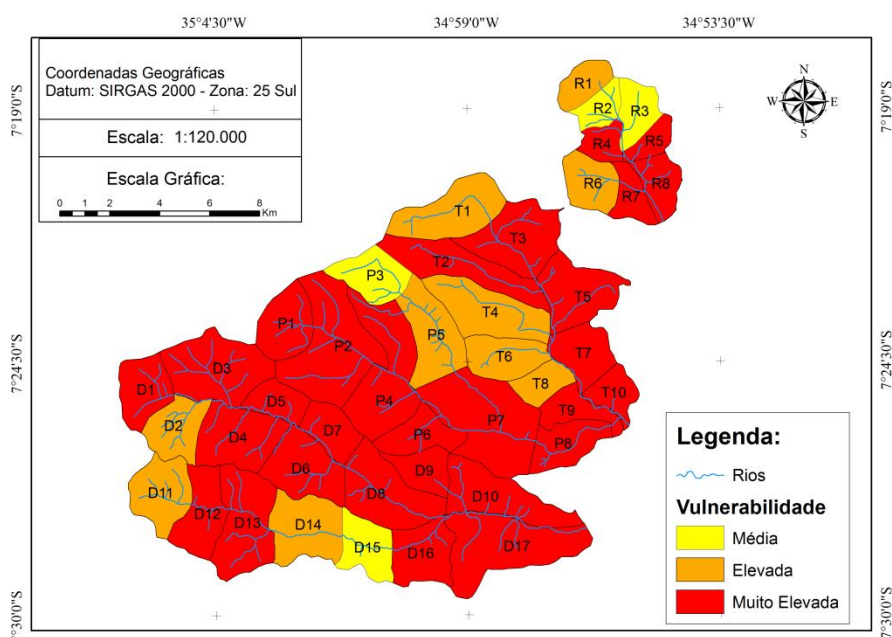
Usos	Área (km ²)	Porcentagem
Agricultura	209,6	83,82
Área urbana	2,33	0,93
Exploração granjeira	1,97	0,79
Mineração	0,45	0,18
Hidrografia	0,66	0,26
Rodovia federal	0,78	0,31
Rodovia estadual	0,31	0,12
Área florestada	33,95	13,58
Total	250,05	100

No Quadro 65, verifica-se que o cultivo da cana-de-açúcar (Agricultura), representa 83,82 % da área da respectiva bacia, seguido de áreas florestadas com 13,58% de ocupação. Em seguida, com 0,93% de uso do solo aparecem as áreas urbanas, e os demais usos apenas com menos de 1% do total da área ocupada pelo uso do solo.

5.4.2 ÁREAS FLORESTADAS

A bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas apresentou um dos menores valores de área florestada (COBFLO) entre todas analisadas, mostrando apenas 3 classes de vulnerabilidade: Média, Elevada e Muito Elevada, conforme observado na Figura 31.

Figura 31 – Mapa do indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas



A bacia do rio Abiaí-Papocas apresenta 33,95 km² de sua área composta por matas, representando apenas 13,58 % da área total, indicando um valor para o indicador de áreas florestadas (COBFLO) de 0,86, considerado como de vulnerabilidade muito elevada, podendo ser visualizado nos Quadros 66, 67, 68 e 69 os valores para cada sub-bacia dos rios Aterro, Taperubus, Papocas e Dois Rios.

Quadro 66 – Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Florestada			COBFLO	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	23,23	5,92	-	25,48	0,75	Elevada
R1	2,86	0,81	28,32	3,49	0,72	Elevada
R2	2,39	1,23	51,46	5,29	0,49	Média
R3	3,39	1,46	43,07	6,28	0,57	Média
R4	2,23	0,31	13,90	1,33	0,86	Muito Elevada
R5	1,97	0,09	4,57	0,39	0,95	Muito Elevada
R6	4,25	1,20	28,24	5,17	0,72	Elevada
R7	2,69	0,28	10,41	1,21	0,90	Muito Elevada
R8	3,45	0,54	15,65	2,32	0,84	Muito Elevada

O Quadro 66 mostra que a bacia hidrográfica do rio Aterro obteve um valor do COBFLO de 0,75, considerado de Elevada vulnerabilidade, com 25,48 % (5,92 km²) da área da bacia hidrográfica ocupada por áreas de florestas. As sub-bacias hidrográficas R4, R5, R7 e R8 apresentaram os valores mais elevados de vulnerabilidade (Muito Elevada), com destaque para a sub-bacia hidrográfica R5 que apresenta 0,95 para o valor do indicador com 0,39% de áreas de matas. As sub-bacias hidrográficas R1 e R6 obtiveram 3,49 % e 5,17 % de áreas florestadas, tendo como resultado a categoria de vulnerabilidade Elevada. As sub-bacias hidrográficas R2 e R3 resultaram como de Média vulnerabilidade.

Quadro 67 - Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Florestada			COBFLO	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	107,89	11,43	-	10,59	0,89	Muito Elevada
D1	4,87	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D2	4,79	1,55	32,36	1,44	0,68	Elevada
D3	9,41	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D4	7,45	1,25	16,78	1,16	0,83	Muito Elevada
D5	3,12	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D6	6,69	0,65	9,72	0,60	0,90	Muito Elevada
D7	3,76	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D8	8,56	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D9	3,44	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D10	7,61	0,60	7,88	0,56	0,92	Muito Elevada
D11	5,85	1,25	21,37	1,16	0,79	Elevada
D12	5,44	0,45	8,27	0,42	0,92	Muito Elevada
D13	8,65	0,47	5,43	0,44	0,95	Muito Elevada
D14	7,00	1,85	26,43	1,71	0,74	Elevada
D15	4,46	1,97	44,17	1,83	0,56	Média
D16	5,53	0,06	1,08	0,06	0,99	Muito Elevada
D17	11,26	1,33	11,81	1,23	0,88	Muito Elevada

O Quadro 67 mostra os resultados do COBFLO para a bacia do rio Dois Rios, observa-se que a bacia possui 10,59 % de áreas de matas (11,43 km²), apresentando um indicador de 0,89, considerado como de Muita Elevada vulnerabilidade. As sub-bacias hidrográficas D2, D11 e D14 obtiveram vulnerabilidade Elevada. A sub-bacia hidrográfica D15 apresentou 0,56 de COBFLO considerada como de Média vulnerabilidade. As demais sub-bacias hidrográficas apresentaram vulnerabilidade Muito Elevada com destaque para as sub-bacias hidrográficas D1, D3, D5, D7, D8 e D9, que tiveram indicador igual a 1 (ausência de áreas florestadas).

Quadro 68 – Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Florestada			COBFLO	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	56,77	8,77	-	15,45	0,85	Muito Elevada
T1	7,60	1,87	24,61	3,29	0,75	Elevada
T2	7,77	0,92	11,84	1,62	0,88	Muito Elevada
T3	8,04	0,57	7,09	1,00	0,93	Muito Elevada
T4	7,98	2,49	31,20	4,39	0,69	Elevada
T5	6,86	0,67	9,77	1,18	0,90	Muito Elevada
T6	4,88	1,25	25,61	2,20	0,74	Elevada
T7	4,65	0,20	4,30	0,35	0,96	Muito Elevada
T8	2,81	0,80	28,47	1,41	0,72	Elevada
T9	3,29	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
T10	2,89	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada

A bacia hidrográfica do rio Taperubus obteve o indicador COBFLO de 0,85, considerado como de vulnerabilidade Muito Elevada, com 15,45 % de áreas florestadas. As sub-bacias hidrográficas T2, T3, T5, T7, T9 e T10 mostram vulnerabilidade Muito Elevada, com destaque para as sub-bacias hidrográficas T9 e T10 que não possuem áreas de matas (COBFLO de igual a 1). As sub-bacias hidrográficas T1, T4, T6 e T8 apresentaram vulnerabilidade considerada Elevada (Quadro 68).

Quadro 69 – Indicador de áreas florestadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas

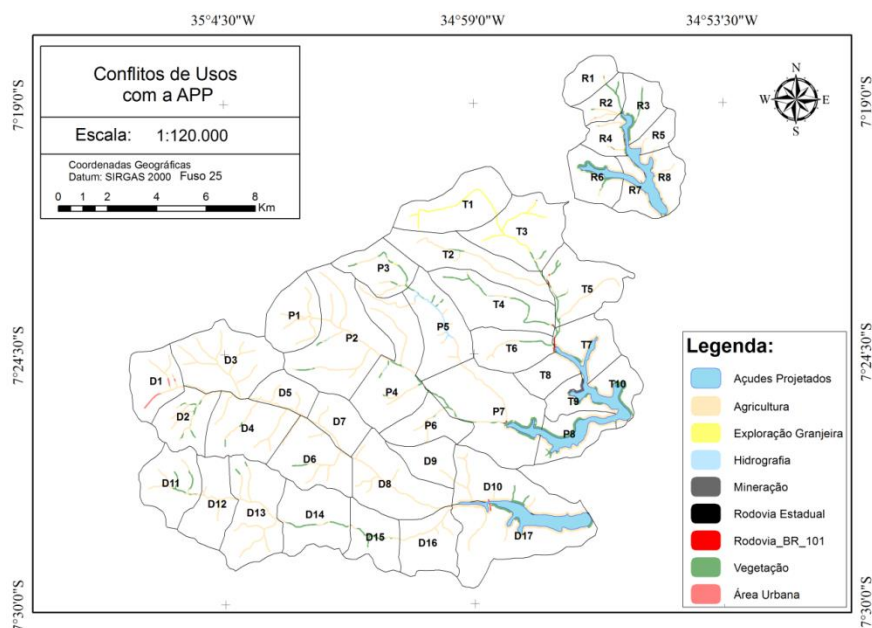
Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Florestada			COBFLO	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub- bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	62,16	7,83	-	12,60	0,87	Muito Elevada
P1	5,30	0,08	1,51	0,13	0,98	Muito Elevada
P2	12,71	1,17	9,21	1,88	0,91	Muito Elevada
P3	4,75	2,04	42,95	3,28	0,57	Média
P4	10,67	1,42	13,31	2,28	0,87	Muito Elevada
P5	7,02	1,74	24,79	2,80	0,75	Elevada
P6	4,16	0,36	8,65	0,58	0,91	Muito Elevada
P7	13,01	1,01	7,76	1,62	0,92	Muito Elevada
P8	4,54	0,01	0,22	0,02	1,00	Muito Elevada

A bacia hidrográfica do rio Papocas apresentou 12,60 % de áreas florestadas (7,83 km²), correspondendo a 0,87 de indicador (COBFLO), considerada como de Muito Elevada vulnerabilidade. As sub-bacias hidrográficas P1, P2, P4, P6, P7 e P8 resultaram em um valor do indicador considerado como de Muito Elevada vulnerabilidade, com a sub-bacia hidrográfica P8 apresentando ausência de florestas. As sub-bacias hidrográficas P5 e P3 apresentaram vulnerabilidade considerada como de Elevada e Média (Quadro 69).

5.4.3 INDICADOR DE MATAS CILIARES

A Figura 32 mostra a distribuição entre as sub-bacias hidrográficas da APP. Toda essa área deveria ser composta apenas por matas, mas na prática, pode-se visualizar os mais diversos usos fazendo parte dessas áreas.

Figura 32 – Mapa de ocorrência de matas ciliares da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas



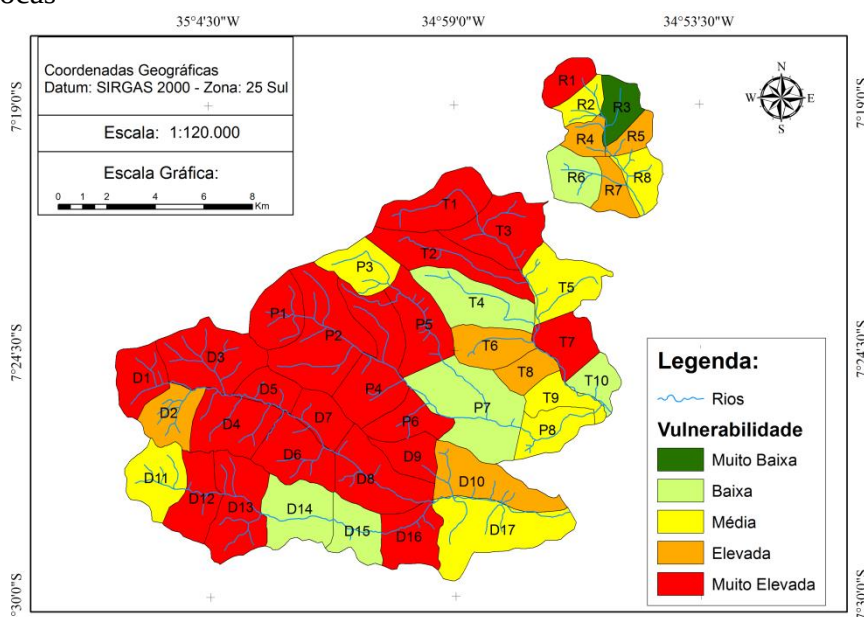
O Quadro 70 mostra as áreas e porcentagens de ocupação das classes de uso do solo encontradas nas regiões destinadas a APPs nas sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.

Quadro 70 – Áreas de ocorrências de matas ciliares da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas

Usos	Área (km ²)	Porcentagem
Agricultura	15,74	60,73
Área urbana	0,08	0,31
Exploração granjeira	1,35	5,21
Mineração	0,13	0,50
Rodovia federal	0,06	0,23
Rodovia estadual	0,02	0,08
Mata ciliar	8,54	32,95
Total	25,92	100

Conforme pode ser observado, a APP do rio apresenta apenas 32,95 % de sua área composta por vegetação ciliar (8,54 km²), 60,73 % de lavoura de cana-de açúcar (Agricultura), e 1,35 % de granjas. A Figura 33 mostra o resultado por sub-bacias hidrográficas do cálculo do indicador de mata ciliar.

Figura 33 – Mapa do indicador de matas ciliares das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas



A presente bacia possui 25,92 km² de áreas destinadas a APP, dos quais, apenas 8,38 km² são compostas de matas (32,33 %), indicando um índice (MATCIL) de 0,68, correspondendo a categoria de vulnerabilidade Elevada. O Quadro 71 apresenta o valor de cada área de APP por sub-bacia hidrográfica.

Quadro 71 – Indicador de mata ciliar para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro

Bacia/ Sub- bacias	APP (km ²)	Área Preservada			MATCIL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	4,35	2,13	-	48,97	0,51	Média
R1	0,02	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
R2	0,25	0,11	44,00	2,53	0,56	Média
R3	0,47	0,40	85,11	9,20	0,15	Muito Baixa
R4	0,34	0,12	35,29	2,76	0,65	Elevada
R5	0,29	0,08	27,59	1,84	0,72	Elevada
R6	0,87	0,60	68,97	13,79	0,31	Baixa
R7	0,92	0,28	30,43	6,44	0,70	Elevada
R8	1,19	0,54	45,38	12,41	0,55	Média

A bacia hidrográfica do rio Aterro apresenta indicador de matas ciliares (MATCIL) de 0,51, considerado como de Média vulnerabilidade, com 48,97 % de sua áreas de matas ciliares compostas de matas. A sub-bacia hidrográfica R1 apresentou indicador igual a 1, resultando em vulnerabilidade Muito Elevada, sem nenhuma área de vegetação ciliar. As sub-bacias hidrográficas R4, R5 e R7 apresentaram a categoria Elevada. As sub-bacias hidrográficas R2 e R8 apresentaram valor de vulnerabilidade Média. Apenas a sub-bacia R3 apresentou 85,11 % de ocupação de matas em sua APP, apresentando a categoria Muito Baixa.

Quadro 72 - Indicador de mata ciliar para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios

Bacia/ Sub- bacias	APP (km ²)	Área Preservada			MATCIL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	8,85	1,99	-	22,49	0,78	Elevada
D1	0,29	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D2	0,38	0,09	23,68	1,02	0,76	Elevada
D3	0,70	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D4	0,47	0,03	6,38	0,34	0,94	Muito Elevada
D5	0,26	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D6	0,40	0,03	7,50	0,34	0,93	Muito Elevada
D7	0,16	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D8	0,45	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D9	0,04	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D10	1,18	0,29	24,58	3,28	0,75	Elevada
D11	0,32	0,13	40,63	1,47	0,59	Média
D12	0,17	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D13	0,57	0,02	3,51	0,23	0,96	Muito Elevada
D14	0,18	0,12	66,67	1,36	0,33	Baixa
D15	0,16	0,10	62,5	1,13	0,38	Baixa
D16	0,23	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
D17	2,89	1,18	40,83	13,33	0,59	Média

O bacia do rio Dois Rios apresenta 22,49 % (1,99 km²) de sua APP com fragmentos de matas, indicando o MATCIL de 0,78, considerado como de Elevada vulnerabilidade. A maior parte das sub-bacias hidrográficas apresentaram vulnerabilidade Muito Elevada. As sub-bacias hidrográficas D2 e D9 apresentaram MATCIL considerado elevado. Apenas as sub-bacias hidrográficas D14 e D15 obtiveram o maior valor de fragmentos de matas e foram considerados como de Baixa vulnerabilidade (Quadro 72).

Quadro 73 - Indicador de mata ciliar para as sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus

Bacia/ Sub- bacias	APP (km ²)	Área Preservada			MATCIL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	6,78	1,98	-	29,20	0,71	Elevada
T1	0,92	0,05	5,43	0,74	0,95	Muito Elevada
T2	0,40	0,04	10,00	0,59	0,90	Muito Elevada
T3	1,18	0,07	5,93	1,03	0,94	Muito Elevada
T4	0,37	0,28	75,68	4,13	0,24	Baixa
T5	0,45	0,19	42,22	2,80	0,58	Média
T6	0,23	0,09	39,13	1,33	0,61	Elevada
T7	1,00	0,16	16,00	2,36	0,84	Muito Elevada
T8	0,21	0,07	33,33	1,03	0,67	Elevada
T9	1,22	0,52	42,62	7,67	0,57	Média
T10	0,80	0,51	63,75	7,52	0,36	Baixa

Conforme o Quadro 73, a bacia do rio Taperebus apresentou 29,20 % (1,98 km²) de sua mata ciliar preservada, obtendo valor do indicador de 0,71, considerado como de vulnerabilidade Elevada. As sub-bacias hidrográficas T1, T2, T3 e T7 apresentaram vulnerabilidade classificada como Muito Elevada. As sub-bacias hidrográficas T4 e T10 apresentaram os menores valores do indicador (Baixa vulnerabilidade).

Quadro 74 - Indicador de mata ciliar para as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas

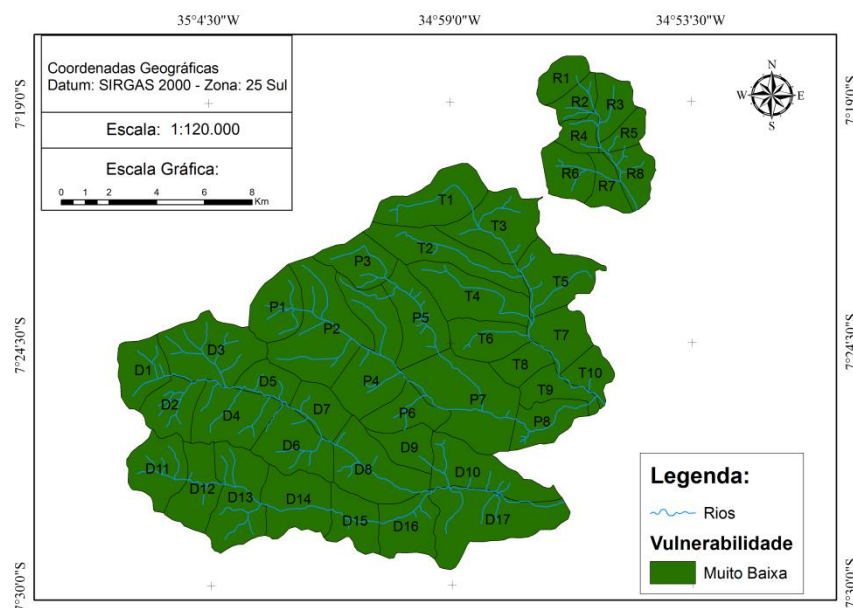
Bacia/ Sub- bacias	APP (km ²)	Área Preservada			MATCIL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	5,94	2,28	-	38,38	0,62	Elevada
P1	0,34	0,00	0,00	0,00	1,00	Muito Elevada
P2	0,73	0,05	6,85	0,84	0,93	Muito Elevada
P3	0,35	0,14	40,00	2,36	0,60	Média
P4	0,66	0,10	15,15	1,68	0,85	Muito Elevada
P5	0,46	0,06	13,04	1,01	0,87	Muito Elevada
P6	0,17	0,03	17,65	0,51	0,82	Muito Elevada
P7	1,15	0,75	65,22	12,63	0,35	Baixa
P8	2,08	1,15	55,29	19,36	0,45	Média

A bacia do rio Papocas apresenta 38,38 % (2,28 km²) de sua APP preservada, obtendo o valor do indicador de 0,62, considerado elevado. A sub-bacia hidrográfica P1 apresentou o maior indicador da bacia (1,00), considerado como de Muito Elevada vulnerabilidade com 6,85 % de área de mata ciliar. A sub-bacia hidrográfica P7 apresentou o menor valor com 65,22 % de área de mata ciliar preservada (Quadro 74).

5.4.3 INDICADOR DE ÁREAS URBANIZADAS

A bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas apresenta 2,30 km² de áreas urbanizadas, correspondendo a 0,92 % de urbanização, resultando no valor do indicador (URBAN) de 0,01, considerado como de Muito Baixa vulnerabilidade. A Figura 34 ilustra a distribuição do indicador (URBAN) nas sub-bacias hidrográficas.

Figura 34 – Mapa do indicador de áreas urbanizadas das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas



O Quadro 75 apresenta o resultado do cálculo do Indicador de Áreas Urbanizadas (URBAN) para a bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Aterro.

Quadro 75 – Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Urbanizada			URBAN	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	23,23	0,34	-	1,46	0,01	Muito Baixa
R1	2,86	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
R2	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
R3	3,39	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
R4	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
R5	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
R6	4,25	0,34	8,00	1,50	0,08	Muito Baixa
R7	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
R8	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa

A bacia do rio Aterro obteve 1,46 % de áreas urbanizadas, correspondendo ao indicador URBAN de 0,01, indicando vulnerabilidade Muito Baixa. Apenas a sub R6 apresentou 8,00 % de ocupação urbana, representando um valor de 0,08 para o indicador, indicado com a categoria Muito Baixa. As demais sub-bacias hidrográficas mostraram ausência de áreas urbanas (Quadro 75).

Quadro 76 – Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Urbanizada			URBAN	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	107,89	1,70	-	1,58	0,02	Muito Baixa
D1	4,87	1,65	33,88	1,53	0,34	Baixa
D2	4,79	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D3	9,41	0,05	0,53	0,05	0,01	Muito Baixa
D4	7,45	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D5	3,12	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D6	6,69	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D7	3,76	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D8	8,56	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D9	3,44	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D10	7,61	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D11	5,85	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D12	5,44	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D13	8,65	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D14	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D15	4,46	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D16	5,53	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D17	11,26	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa

A bacia do rio Dois Rios apresentou 1,58 % de áreas urbanizadas, revelando o indicador URBAN de 0,02, indicando o valor de Muito Baixa vulnerabilidade. A sub-bacia hidrográfica D1 foi a única em que verificou-se a presença de áreas urbanas entre todas as sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas, com 33,88% de ocupação, resultando como de vulnerabilidade Baixa (Quadro 76).

Quadro 77 - Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Urbanizada			URBAN	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	56,77	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T1	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T2	7,77	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T3	8,04	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T4	7,98	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T5	6,86	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T6	4,88	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T7	4,65	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T8	2,81	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T9	3,29	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T10	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa

A bacia do rio Taperebus foi a única em que apresentou ausência de áreas urbanas em todas as suas sub-bacias hidrográficas, indicando o valor do indicador 0,00, considerado de Muito Baixa vulnerabilidade (Quadro 77).

Quadro 78 - Indicador de áreas urbanizadas para as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas

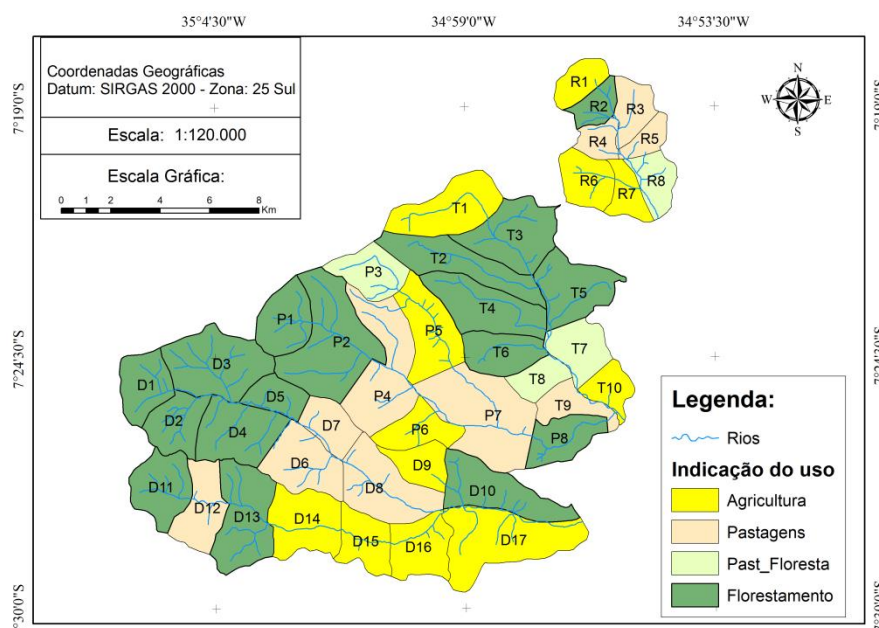
Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Área Urbanizada			URBAN	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	62,16	0,26	-	0,42	0,00	Muito Baixa
P1	5,30	0,26	4,90	0,10	0,05	Muito Baixa
P2	12,71	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
P3	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
P4	10,67	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
P5	7,02	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
P6	4,16	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
P7	13,01	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
P8	4,54	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa

A bacia do rio Papocas apresentou 0,42 % de área urbana, considerado de Muito Baixa vulnerabilidade. Ocorreu apenas na sub-bacia hidrográfica P1 0,26 km² de área urbana, caracterizando um valor do indicador de 0,05 (categoria Muito Baixa). As demais sub-bacias hidrográficas não apresentaram área de urbanização (Quadro 77).

5.4.4 COEFICIENTE DE RUGOSIDADE

A Figura 35 mostra a distribuição do resultado do cálculo do Coeficiente de Rugosidade para a bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas.

Figura 35 – Mapa de distribuição do uso potencial da terra das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas



O Quadro 79 mostra o resultado do cálculo do Coeficiente de Rugosidade (CR) para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro.

Quadro 79 – Indicações de usos conforme o CR para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro

Bacias	Área (km ²)	Lt* (km)	Dd**	Declividade Média (%)	CR***	Usos
R1	2,86	0,45	0,16	11,00	0,017	Agricultura
R2	2,39	4,71	1,97	14,30	0,282	Florestamento
R3	3,39	3,5	1,03	10,84	0,112	Pastagens
R4	2,23	2,27	1,02	12,44	0,127	Pastagens
R5	1,97	1,83	0,93	11,14	0,103	Pastagens
R6	4,25	2,9	0,68	10,56	0,072	Agricultura
R7	2,69	1,17	0,43	10,09	0,044	Agricultura
R8	3,45	5,11	1,48	10,92	0,162	Past./Flores.

*Lt – comprimentos dos rios; **Dd – densidade de drenagem; ***CR – valor do coeficiente de rugosidade

No Quadro 79, observa-se que os usos mais indicados para a bacia do rio Aterro foram a agricultura e a pastagens, com 3 sub-bacias hidrográficas indicadas para esse uso. Para a classe de florestamento foi indicado a sub-bacia R2 e para a sub-bacia R8 foi indicado o uso pastagens/florestamento.

Quadro 80 – Indicações de usos conforme o CR para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios

Bacias	Área (km²)	Lt* (km)	Dd**	Declividade Média (%)	CR***	Usos
D1	4,87	5,94	1,22	15,11	0,184	Florestamento
D2	4,79	7,45	1,56	12,00	0,187	Florestamento
D3	9,41	10,19	1,08	17,3	0,187	Florestamento
D4	7,45	8,85	1,19	16,42	0,195	Florestamento
D5	3,12	3,24	1,04	15,47	0,161	Florestamento
D6	6,69	4,86	0,73	15,73	0,114	Pastagens
D7	3,76	2,93	0,78	12,38	0,096	Pastagens
D8	8,56	7,20	0,84	10,69	0,090	Pastagens
D9	3,44	1,35	0,39	10,34	0,041	Agricultura
D10	7,61	11,26	1,48	11,36	0,168	Florestamento
D11	5,85	6,25	1,07	15,50	0,166	Florestamento
D12	5,44	3,20	0,59	15,73	0,093	Pastagens
D13	8,65	9,37	1,08	15,63	0,169	Florestamento
D14	7,00	2,93	0,42	15,88	0,066	Agricultura
D15	4,46	2,45	0,55	12,37	0,068	Agricultura
D16	5,53	3,49	0,63	11,56	0,073	Agricultura
D17	11,26	10,05	0,89	8,60	0,077	Agricultura

*Lt – comprimentos dos rios; **Dd – densidade de drenagem; ***CR – valor do coeficiente de rugosidade

Para a bacia do rio Dois Rios os usos mais indicados conforme o CR foi o de florestamento, com oito sub-bacias hidrográficas, seguido de agricultura e pastagens com quatro sub-bacias hidrográficas, não apresentando os valores da classe C (Pastagens/Florestamento), conforme o Quadro 80.

Quadro 81 – Usos conforme o CR para as sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus

Bacias	Área (km²)	Lt* (km)	Dd**	Declividade Média (%)	CR***	Usos
T1	7,60	5,50	0,72	6,79	0,049	Agricultura
T2	7,77	6,57	0,85	11,54	0,098	Florestamento
T3	8,04	7,60	0,95	9,92	0,094	Florestamento
T4	7,98	6,52	0,82	12,28	0,100	Florestamento
T5	6,86	7,24	1,06	9,73	0,103	Florestamento
T6	4,88	3,28	0,67	10,73	0,072	Past./Flores.
T7	4,65	3,45	0,74	10,59	0,079	Past./Flores.
T8	2,81	2,20	0,78	9,70	0,076	Past./Flores.
T9	3,29	2,40	0,73	9,12	0,067	Pastagens
T10	2,89	0,90	0,31	10,24	0,032	Agricultura

*Lt – comprimentos dos rios; **Dd – densidade de drenagem; ***CR – valor do coeficiente de rugosidade

A bacia do rio Taperebus também apresentou a classe de florestamento como a maior indicação de uso com 4 sub-bacias hidrográficas. Em seguida verificam-se as classes de pastagens/florestamento com 3, agricultura com 2 e a classe de pastagens com 1 (Quadro 81).

Quadro 82 – Indicações de usos conforme o coeficiente de rugosidade para as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas

Bacias	Área (km ²)	Lt* (km)	Dd**	Declividade Média (%)	CR***	Usos
P1	5,30	5,80	1,09	10,73	0,117	Florestamento
P2	12,71	12,59	0,99	12,73	0,126	Florestamento
P3	4,75	5,20	1,09	9,50	0,104	Past./Flores.
P4	10,67	9,58	0,90	10,14	0,091	Pastagens
P5	7,02	4,50	0,64	13,14	0,084	Agricultura
P6	4,16	2,70	0,65	11,586	0,075	Agricultura
P7	13,01	11,23	0,86	11,28	0,097	Pastagens
P8	4,54	5,03	1,11	11,00	0,122	Florestamento

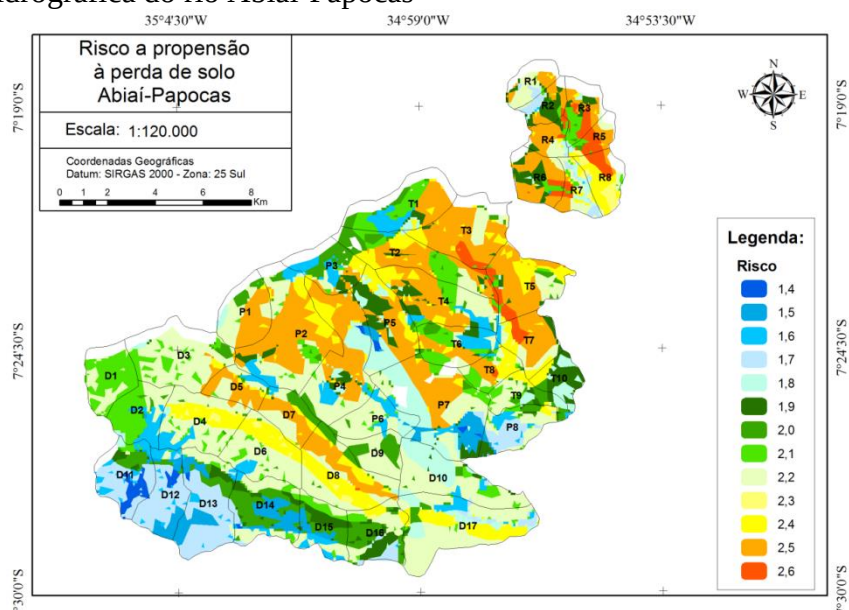
*Lt – comprimentos dos rios; **Dd – densidade de drenagem; ***CR – valor do coeficiente de rugosidade

A sub-bacia hidrográfica do rio Papocas apresentou na maior parte das sub-bacias hidrográficas o Florestamento como ocupação do solo mais indicada com três sub-bacias hidrográficas, seguida de agricultura e pastagens com duas sub-bacias hidrográficas (Quadro 82).

5.4.5 PROPENSÃO À PERDA DE SOLO

A representação do cartograma relativo a propensão à perda de solo na bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas é exibida na Figura 36.

Figura 36 – Representação cartográfica do cálculo do risco à propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas



Fonte: adaptado de Bezerra (2013).

O Quadro 83 apresenta os valores do cálculo da propensão à perda de solo realizado por Bezerra (2013).

Quadro 83 – Propensão à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas

Risco	Área (km ²)	Frequencia (%)	Propensão ao risco	Porcentagem
1,4	1,57	0,63	Moderadamente Estável	14,36
1,5	7,03	2,81		
1,6	12,61	5,04		
1,7	14,7	5,88		
1,8	13,85	5,54	Medianamente Estável/Instável	53,31
1,9	13,00	5,20		
2,0	16,4	6,56		
2,1	19,46	7,78		
2,2	70,59	28,23		
2,3	2,26	0,90	Moderadamente Instável	32,33
2,4	22,17	8,87		
2,5	51,8	20,72		
2,6	4,61	1,84		

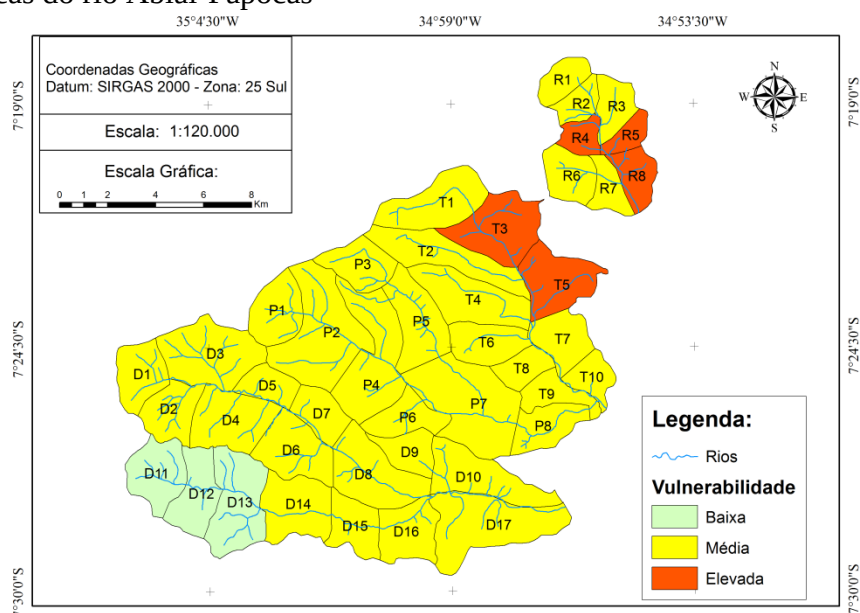
Fonte: adaptado de Bezerra (2013).

Por meio do Quadro 83 pode se observar que a maior incidência de risco corresponde ao Medianamente Estável/Instável com 53,31 % em toda a bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas. A menor frequência de risco observada foi da categoria Moderadamente Estável com 14,26 % de ocorrência em toda a bacia.

5.4.5.1 Indicador de propensão à perda de solo

A Figura 37 representa o resultado do cálculo do indicador de propensão à perda do solo (CRESOL) para as sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.

Figura 37 – Representação cartográfica dos resultados do CRESOL para as sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas



Nos Quadros 84, 85, 86 e 87 é possível observar os valores do cálculo do Indicador de Propensão à Perda de Solo (CRESOL) para a bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.

Quadro 84 - Indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Aterro

Bacia/ Sub-bacias	Risco Médio	CRESOL	Classificação da vulnerabilidade
Bacia	2,1	0,55	Média
R1	2,2	0,60	Média
R2	2,1	0,55	Média
R3	2,2	0,60	Média
R4	2,3	0,65	Elevada
R5	2,3	0,65	Elevada
R6	2,2	0,60	Média
R7	2,1	0,55	Média
R8	2,3	0,65	Elevada

A bacia hidrográfica do rio Aterro apresentou valor de risco médio do indicador de propensão à perda do solo de 2,1 na escala de Crepani et al., (2001), indicando (CRESOL) de 0,55, considerado como de Média vulnerabilidade. Por sua vez, as outras sub-bacias hidrográficas apresentaram valores do CRESOL variando de Média a Elevada vulnerabilidade, na faixa entre 2,2 e 2,3 na escala de risco.

Quadro 85 – Indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios

Bacia/ Sub-bacias	Risco Médio	CRESOL	Classificação da vulnerabilidade
Bacia	2,1	0,55	Média
D1	2,1	0,55	Média
D2	2,0	0,50	Média
D3	2,1	0,55	Média
D4	2,2	0,60	Média
D5	2,2	0,60	Média
D6	2,2	0,60	Média
D7	2,2	0,60	Média
D8	2,2	0,60	Média
D9	2,1	0,55	Média
D10	2,1	0,55	Média
D11	1,8	0,40	Baixa
D12	1,8	0,40	Baixa
D13	1,8	0,40	Baixa
D14	1,9	0,45	Média
D15	2,0	0,50	Média
D16	2,1	0,55	Média
D17	2,1	0,55	Média

A bacia hidrográfica do rio Dois Rios obteve o valor médio de risco de 2,1 e valor do CRESOL de 0,55, classificado como de Média vulnerabilidade. A classificação do CRESOL variou entre Média e Baixa (D11, D12 e D13) vulnerabilidade para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios (Quadro 85).

Quadro 86 - Indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus

Bacia/ Sub-bacias	Risco Médio	CRESOL	Classificação da vulnerabilidade
Bacia	2,1	0,55	Média
T1	2,1	0,55	Média
T2	2,2	0,60	Média
T3	2,3	0,65	Elevada
T4	2,2	0,60	Média
T5	2,3	0,65	Elevada
T6	2,1	0,55	Média
T7	2,1	0,55	Média
T8	2,2	0,60	Média
T9	2,1	0,55	Média
T10	2,0	0,50	Média

A bacia hidrográfica do rio Taperebus apresentou um valor de risco médio de 2,1, obtendo um valor do CRESOL de 0,55, considerado de Média vulnerabilidade. O CRESOL variou entre Média e Elevada vulnerabilidade nas sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus (Quadro 86).

Quadro 87 - Indicador de propensão à perda de solo das sub-bacias hidrográficas do rio Papocas

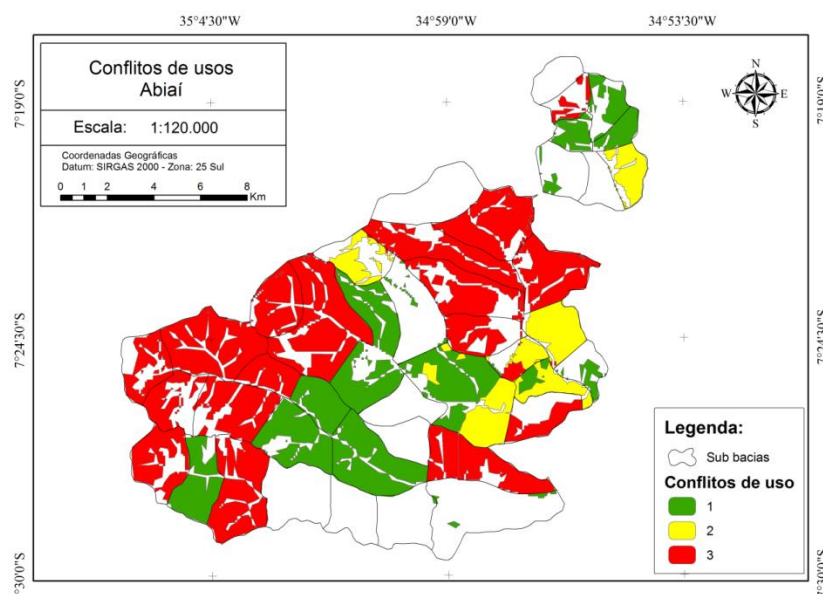
Bacia/ Sub-bacias	Risco Médio	CRESOL	Classificação da vulnerabilidade
Bacia	2,1	0,55	Média
P1	2,2	0,60	Média
P2	2,2	0,60	Média
P3	2,0	0,50	Média
P4	2,2	0,60	Média
P5	2,1	0,55	Média
P6	2,0	0,50	Média
P7	2,1	0,55	Média
P8	2,0	0,50	Média

A bacia hidrográfica do rio Papocas obteve CRESOL de 0,55, e um risco médio de 2,1, considerado como de Média vulnerabilidade. Todas as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas apresentaram valor de Média vulnerabilidade, variando entre 0,50 e 0,55 (Quadro 87).

5.4.6 CONFLITOS DE USOS

A Figura 38 representa o cartograma dos resultados do cálculo dos conflitos de usos (CONFSOL) das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas.

Figura 38 – Conflitos de uso das sub-bacias hidrográficas do rio Abiaí-Papocas



O Quadro 88 apresenta o cálculo do Indicador de Conflitos de Usos (CONFSOL) para a bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Aterro.

Quadro 88 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Aterro

Bacia/ Sub- bacias	Área (km²)	Conflitos de uso			CONFSOL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	23,23	9,12	-	39,26	0,39	Baixa
R1	2,86	0,02	0,70	0,09	0,01	Muito Baixa
R2	2,39	0,88	36,82	3,79	0,37	Baixa
R3	3,39	1,79	52,80	7,71	0,53	Média
R4	2,23	1,67	74,89	7,19	0,75	Elevada
R5	1,97	1,73	87,82	7,45	0,88	Muito Elevada
R6	4,25	0,42	9,88	1,81	0,10	Muito Baixa
R7	2,69	0,01	0,37	0,04	0,00	Muito Baixa
R8	3,45	2,60	75,36	11,19	0,75	Elevada

A bacia hidrográfica do rio Aterro apresenta 39,26 % composta por conflitos de usos, resultando num valor do CONFSOL de 0,39, considerado como de Baixa

vulnerabilidade. O maior valor do CONFSOL observado foi na sub-bacia hidrográfica R5, com 87,82 % de usos em conflitos. O valor mais baixo observado foi na sub-bacia hidrográfica R7, obtendo 0,37 % de sua área com conflitos, considerado como de Muito Baixa vulnerabilidade.

Quadro 89 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Dois Rios

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Conflitos de uso			CONFSOL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	107,89	61,19	-	22,49	0,57	Média
D1	4,87	2,83	58,11	2,62	0,58	Média
D2	4,79	2,71	56,58	2,51	0,57	Média
D3	9,41	8,22	87,35	7,62	0,87	Muito Elevada
D4	7,45	5,41	72,62	5,01	0,73	Elevada
D5	3,12	2,8	89,74	2,60	0,90	Muito Elevada
D6	6,69	5,62	84,01	5,21	0,84	Muito Elevada
D7	3,76	3,39	90,16	3,14	0,90	Muito Elevada
D8	8,56	7,80	91,12	7,23	0,91	Muito Elevada
D9	3,44	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D10	7,61	6,11	80,29	5,66	0,80	Elevada
D11	5,85	4,17	71,28	3,87	0,71	Elevada
D12	5,44	4,55	83,64	4,22	0,84	Muito Elevada
D13	8,65	7,33	84,74	6,79	0,85	Muito Elevada
D14	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D15	4,46	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
D16	5,53	0,03	0,54	0,03	0,01	Muito Baixa
D17	11,26	0,22	1,95	0,20	0,02	Muito Baixa

A bacia hidrográfica do rio Dois Rios apresentou o valor de 0,57 de CONFSOL, indicando vulnerabilidade Média, com 22,49 % de áreas de conflitos de uso. Os maiores valores do CONFSOL observados foram nas sub-bacias hidrográficas D3, D5, D6, D7, D8, D12 e D13, com classificação de vulnerabilidade Muito Elevada. Os menores indicadores foram observados nas sub-bacias hidrográficas D9, D14, D15, D16 e D17, considerados como de Muito Baixa vulnerabilidade (Quadro 89).

Quadro 90 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Taperebus

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Conflitos de uso			CONFSOL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	56,77	38,17	-	67,24	0,67	Elevada
T1	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
T2	7,77	6,17	79,41	10,87	0,79	Elevada
T3	8,04	6,82	84,83	12,01	0,85	Muito Elevada
T4	7,98	5,32	66,67	9,37	0,67	Elevada
T5	6,86	5,59	81,49	9,85	0,81	Muito Elevada
T6	4,88	2,90	59,43	5,11	0,59	Baixa
T7	4,65	4,21	90,54	7,42	0,91	Muito Elevada
T8	2,81	1,75	62,28	3,08	0,62	Elevada
T9	3,29	2,71	82,37	4,77	0,82	Muito Elevada
T10	2,89	2,70	93,43	4,76	0,93	Muito Elevada

A bacia do rio Taperebus apresenta 67,24 % de suas áreas com conflitos de uso, resultando num CONFSOL de 0,67. A maior vulnerabilidade observada foi na sub-bacia hidrográfica T10, com 0,93 de CONFSOL e 93,43 % de áreas de conflitos. Por outro lado, a sub-bacia hidrográfica T1 obteve o menor valor de vulnerabilidade não apresentando conflitos de usos (Quadro 90).

Quadro 91 – Indicador de conflitos de usos para as sub-bacias hidrográficas do rio Papocas

Bacia/ Sub- bacias	Área (km ²)	Conflitos de uso			CONFSOL	Classificação da vulnerabilidade
		Valor (km ²)	Sub-bacia (%)	Bacia (%)		
Bacia	62,16	34,62	-	55,69	0,56	Média
P1	5,30	4,32	81,51	6,95	0,82	Muito Elevada
P2	12,71	10,38	81,67	16,70	0,82	Muito Elevada
P3	4,75	2,23	46,95	3,59	0,47	Média
P4	10,67	4,02	37,68	6,47	0,38	Baixa
P5	7,02	0,15	2,14	0,24	0,02	Muito Baixa
P6	4,16	0,00	0,00	0,00	0,00	Muito Baixa
P7	13,01	11,36	87,32	18,28	0,87	Muito Elevada
P8	4,54	2,16	47,58	3,47	0,48	Média

A bacia do rio Papocas obteve 55,69 % de seu território identificado como área de conflitos de uso, indicando um CONFSOL de 0,56, considerado como de Média vulnerabilidade. A sub-bacia que apresentou o maior índice foi a P7, com 0,87 de CONFSOL, representando 87,32 % de área de conflitos, classificada como de Muito Elevada vulnerabilidade. Da mesma maneira, a sub-bacia hidrográfica P6 foi categorizada como de vulnerabilidade Muito Baixa estando em melhor situação tendo

em vista que a mesma obteve um resultado igual a zero quando ao CONFSOL (Quadro 91).

5.5 Comparação entre as vulnerabilidades das bacias hidrográficas estudadas

O Quadro 92 mostra o comparativo dos resultados para cada indicador analisado por bacia hidrográfica.

Quadro 92 – Comparativo entre os indicadores para cada bacia hidrográfica

Bacia	COBFLO	MATCIL	URBAN	CRESOL	CONFSOL
	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe
	Cor	Cor	Cor	Cor	Cor
Marés	0,81	0,34	0,34	0,66	0,14
	Muito Elevada	Baixa	Baixa	Elevada	Muito Baixa
Mumbaba	0,87	0,65	0,03	0,60	0,57
	Muito Elevada	Elevada	Muito Baixa	Elevada	Média
Gramame e Mamuaba	0,82	0,96	0,01	0,5	0,33
	Muito Elevada	Muito Elevada	Muito Baixa	Média	Baixa
Aterro	0,75	0,51	0,01	0,55	0,39
	Elevada	Média	Muito Baixa	Média	Baixa
Dois Rios	0,89	0,78	0,02	0,55	0,57
	Muito Elevada	Elevada	Muito Baixa	Média	Média
Taperebus	0,85	0,71	0,00	0,55	0,67
	Muito Elevada	Elevada	Muito Baixa	Média	Elevada
Papocas	0,87	0,62	0,00	0,55	0,56
	Muito Elevada	Elevada	Muito Baixa	Média	Média

Por meio do Quadro 92 pode se observar que a bacia hidrográfica do rio Aterro apresentou o valor mais baixo no indicador de cobertura florestal (COBFLO), com 0,75, vulnerabilidade Elevada. As demais bacias hidrográficas obtiveram a classificação de

vulnerabilidade Muito Elevada, com destaque para a bacia hidrográfica do rio Dois Rios com 0,89 de indicador.

Em relação ao indicador de matas ciliares (MATCIL) as bacias hidrográficas dos rios Dois Rios, Taperebus e Papocas mostraram-se com classificação de vulnerabilidade Elevada, tendo a bacia hidrográfica do rio Dois Rios o maior nível de vulnerabilidade. O menor valor do indicador MATCIL ficou com a bacia hidrográfica do Marés, com 0,34 do indicador, Baixa vulnerabilidade.

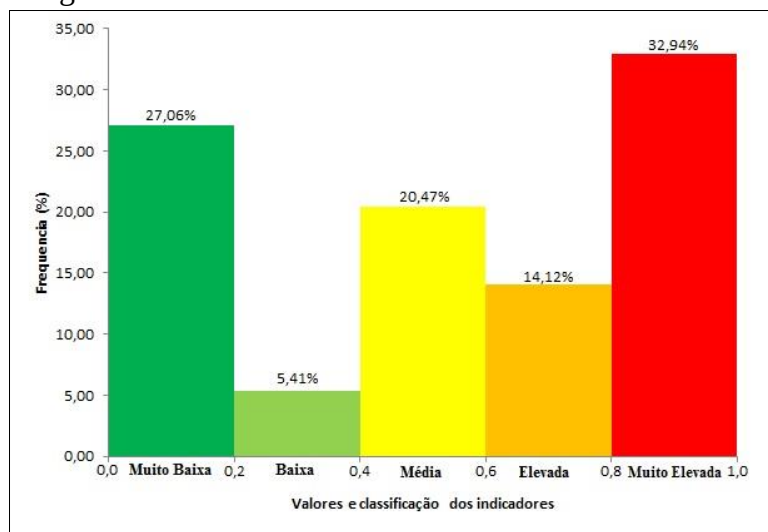
O indicador de áreas urbanizadas (URBAN) apresentou valores de vulnerabilidade Muito Baixa em quase todas as bacias hidrográficas da área de estudo. A bacia hidrográfica do rio Marés teve a vulnerabilidade classificada como Baixa (0,34). O destaque desse indicador são para as bacias hidrográficas dos rios Taperebus e Papocas que não apresentaram áreas urbanizadas.

Os valores do indicador de propensão à perda do solo (CRESOL) estão entre as categorias Média e Elevada vulnerabilidade, classificando-se apenas a bacia hidrográfica do rio Marés como Elevada com 0,66 do indicador.

No indicador de conflitos de uso (CONFSOL) a bacia hidrográfica que apresentou o maior valor foi a do rio Taperebus sendo classificada na categoria Elevada (0,67). A bacia hidrográfica do rio Marés representa a menor quantidade de conflitos de usos com um indicador de 0,14, considerada como de Muito Baixa vulnerabilidade. As bacias hidrográficas dos rios Gramame e Mamuaba e Aterro encontram-se na categoria de Baixa vulnerabilidade.

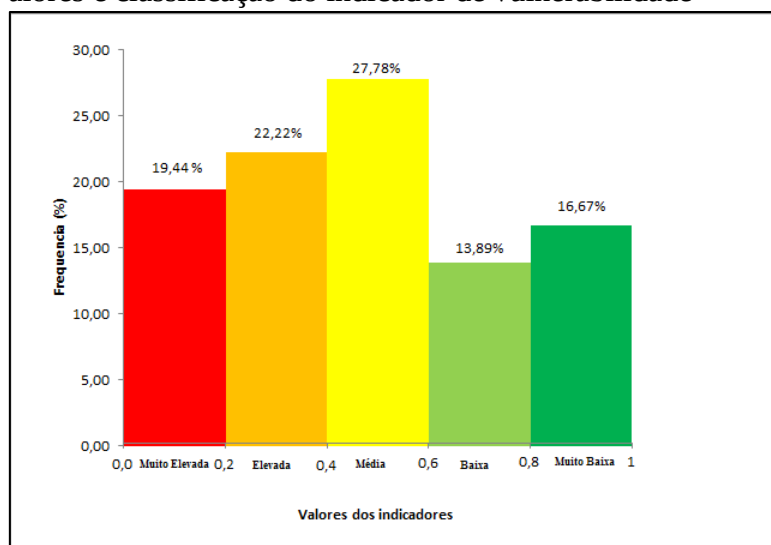
Foram realizados 425 avaliações referentes às 85 sub-bacias hidrográficas e os 5 indicadores. Os resultados revelaram ser a classificação Muito Elevada como a mais frequente com o percentual de 32,94%, seguida da classificação Muito Baixa equivalente a 27,06 %. A menor frequência foi a classificação Baixa com 5,41% (Figura 39).

Figura 39 – Valores e classificação do indicador de vulnerabilidade por sub-bacia hidrográfica hidrográfica



A análise realizada das sete bacias hidrográficas quanto a vulnerabilidade à luz dos cinco indicadores definidos nesse trabalho resultou em um percentual de vulnerabilidade Elevada e Muito Elevada em 41,66 % dos indicadores calculados. Por outro lado, foi atingido o percentual de 30,56% dos indicadores das bacias com a classificação vulnerabilidade Baixa ou Muito Baixa. A vulnerabilidade classificada como Média atingiu o percentual de 27,78 % (Figura 40).

Figura 40 – Valores e classificação do indicador de vulnerabilidade



As bacias hidrográficas que apresentaram as maiores vulnerabilidades média dos indicadores, igual a 0,56, foram as dos rios Dois Rios e Taperubus, onde estão projetadas captações para abastecimento público de água pela CAGEPA. Por outro lado, as bacias hidrográficas Aterro e Marés apresentaram as menores vulnerabilidades médias, respectivamente 0,44 e 0,46. Evidentemente esses resultados são apenas informativos, uma vez que os valores individuais aparentemente extremos imprimem mais importância no processo de análise para o planejamento do território no tocante à vulnerabilidade conforme definido nos diversos indicadores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conformidade com o capítulo primeiro dessa dissertação, o objetivo principal foi analisar e comparar as condições ambientais das bacias hidrográficas contribuintes às sessões de captação de água para abastecimento público na região litorânea Sul do estado da Paraíba, por meio de indicadores de vulnerabilidade ambiental.

Para a concretização do objetivo principal fosse atingida, foram estabelecidos objetivos secundários relativos a i) caracterização dos processos de degradação ambiental das bacias hidrográficas contribuintes às captações para abastecimento público de água, ii) construção de um sistema de indicadores temáticos relevantes para a análise das vulnerabilidades ambientais de bacias hidrográficas, iii) avaliação dos níveis de vulnerabilidade no espaço geográfico das bacias hidrográficas escolhidas como estudo de caso, iv) realização de análise comparativa das vulnerabilidades ambientais entre as bacias hidrográficas estudadas, e, finalmente, v) contribuir para o planejamento territorial especificando as áreas vulneráveis e os usos apropriados nas bacias hidrográficas, disponibilizando um instrumento metodológico de viável aplicação, mesmo com informações obtidas de fontes secundárias.

Para o atingimento desse objetivo ligado ao uso do solo, abrangendo agricultura, a urbanização, a cobertura florestal e conflitos, além das propriedades relativas a propensão à perda de solo, foram utilizados os indicadores definidos na pesquisa efetuada por Magalhães Jr. et al., (2003), e o indicador CONFSOL de frequência de conflitos de uso do solo na bacia hidrográfica introduzido nesse trabalho.

A área de estudo escolhida como a de maior relevância para a população da zona costeira Sul do estado da Paraíba, incluindo a grande João Pessoa, foi o conjunto de bacias hidrográficas contribuintes às captações para abastecimento público de água.

Foram pesquisadas as condições atuais para o cálculo dos indicadores de vulnerabilidade relativos à área florestada (COBFLO), presença de matas ciliares (MATCIL), áreas urbanizadas (URBAN), e indicador de propensão à perda de solo (CRESOL), estes escolhidos à luz do estudo realizado por Magalhães Jr. et al., (2003). Em complemento, buscando retratar a adequação do uso do solo nas bacias quanto a distribuição da agricultura, pecuária e áreas propícias para a preservação considerando as condições geomorfológicas foi proposto nesse trabalho o indicador de conflitos de uso (CONFSOL), baseado na metodologia proposta por Valle Jr. et al., (2010).

Assim, concebeu-se um sistema de indicadores capazes de realizar a caracterização das bacias selecionadas referentes à vulnerabilidade do solo compreendendo suas propriedades e seus diversos usos antrópicos. Esse sistema visa apoiar os gestores de recursos hídricos no processo de tomada de decisão quanto a temática das inter-relações dos recursos hídricos com o território, buscando-se estabelecer um instrumento útil para a minimização dos riscos de uma ocupação inadequada do solo e buscando a facilitação da adaptação às alterações climáticas.

A regulação do uso e a ocupação do solo tanto em áreas urbanas ou rurais é realizada pelo município, enquanto que os recursos hídricos são administrados pelos estados e a União. Nesse contexto, a análise que o sistema de indicadores proposto permite realizar envolve sub-bacias hidrográficas, quase sempre pertencentes a um município, e bacias hidrográficas, estas frequentemente atingindo territórios de mais de um município ou até mais de um estado. Assim, permite-se com base nos resultados da análise do sistema de indicadores proposto, realizar-se uma reflexão sobre o planejamento de ações relativas aos problemas de vulnerabilidade de bacias hidrográficas no sentido de fomentar a articulação e coordenação dos domínios do estado, municípios e a União.

As bacias hidrográficas analisadas no litoral Sul paraibano, especificamente na Zona da Mata paraibana apresentam, em sua grande maioria, o uso do solo para a agricultura. Assim, o indicador de cobertura vegetal refletiu com valores Muito Elevados de vulnerabilidade sendo o da bacia hidrográfica do rio Aterro equivalente à Elevada.

Relativamente à situação das matas ciliares os valores do indicador MATCIL forneceram valores de vulnerabilidade Muito Elevada para a bacia hidrográfica do rio Gramame e Mamuaba e Elevada para quatro bacias (Mumbaba, Dois Rios, Taperubus e Papocas), configurando um quadro um pouco melhor do que a cobertura vegetal porém preocupante devido aos valores inadequados na sua quase totalidade. Essa constatação remete a uma preocupação com a necessidade de se pugnar pela aplicação do Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012).

Relativamente à urbanização nas bacias hidrográficas, o indicador URBAN apresentou uma situação favorável: com exceção da bacia do rio Marés, que foi classificada como Baixa vulnerabilidade, as outras foram todas classificadas como Muito Baixa.

O indicador de propensão à perda de solo CRESOL resultou em valores de Média vulnerabilidade para cinco bacias hidrográficas e duas com vulnerabilidade Elevada (Marés e Mumbaba).

O indicador de conflitos de uso do solo CONFSOL foi o que resultou em valores mais variados entre as bacias e sub-bacias hidrográficas estudadas: alternou entre Muito Baixa e Baixa (Marés, Gramame e Mamuaba e Aterro), Elevada (Taperubus), e Média (Mumbaba, Dois Rios e Papocas).

Esses resultados alcançados com o uso do sistema de indicadores proposto indicam que o processo de planejamento baseado na análise espacial do território considerando os usos do solo e o planejamento dos recursos hídricos das bacias é uma necessidade urgente que deve ser implementada na agenda dos gestores públicos nos diversos níveis de governo.

Em uma das bacias hidrográficas, a de Marés, a atividade da mineração de areia destinada à construção civil não é insignificante. No entanto, não foi encontrada na bibliografia um modelo orientador da distribuição para o uso do solo em que o indicador de conflitos de uso do solo considere esta atividade minerária visando a melhor ordenação do território. Assim, as áreas destinadas à mineração, mais especificamente as de jazidas de Classe II, não foram consideradas na análise como geradora de conflitos, uma vez que este uso do solo não é incluído na metodologia de Sicco-Smit (1978), base para elaboração do indicador CONFSOL. Portanto, propõe-se como tema para futuras pesquisas um estudo amplo que considere esta atividade e a maneira de classificá-la frente aos outros usos do solo.

É certo que, a análise realizada não contemplou as características de qualidade ou quantidade de água produzida nas bacias para o aproveitamento visando fins úteis ou prioritários como o abastecimento ou descendentação de animais. Evidentemente estudos que caracterizam as vazões de cursos de água e produtividade hídrica, integrada aos estudos qualitativos são essenciais para o planejamento integrado dos recursos hídricos. No entanto, sabe-se que é impossível manter uma bacia hidrográfica, onde ocorrem usos antrópicos em níveis inadequados, sem reflexos na perda de solo, na qualidade da água ou nos escoamentos fluviais com vazões de base significativas. Daí, a contribuição desse trabalho para o planejamento dos recursos hídricos, considerando a essencialidade da proteção dos recursos hídricos, dos ecossistemas associados e dos benefícios sócio-econômicos proporcionados pelo binômio solo-água nas bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

ATTANASIO, C. M.; GANDOLFI S.; ZAKIA, J. B.; VENIZIANI JUNIOR J. C. T.; LIMA W. P. **A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas.** Journal Bragantia, Campinas, v. 71, n. 4, p.493-501, 2012.

ARAUJO, S. M. G. **As Áreas de Preservação Permanente e a questão urbana.** Consultora Legislativa da Área XI, Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. Brasília: Câmara dos Deputados. 2002.

BACELLAR, L. A. P. **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas.** Revista Geo.br vol. 01. ISSN1519-5708. 2005.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N.K.; VANZETTO, S.C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A.F. **O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas.** R. Amb., 4:131-149, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARD NETO, F.L. **Conservação do solo.** São Paulo. Ed. Ícone 5ª ed. p. 355. 2005.

BEZERRA, I. S. **Análise de riscos à perda de solo para cenários de uso e ocupação atual e potencial da bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas.** Dissertação de Mestrado. UFPB/PPGEUA. João Pessoa. 2013.

BEZERRA, I. S.; CABRAL DA SILVA, T. **Análise de riscos à perda de solo para diferentes cenários de uso e ocupação na bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Volume 19 n.4 – 195-204. Out/Dez 2014.

BRASIL. **Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981:** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial da União: Brasília, 31 Ago. 1981. Disponível em [HTTP://WWW.PLANALTO.GOV.BR/CCIVIL_03/LEIS/L6938.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm).

BRASIL. **Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Nº 001 de 23 de janeiro de 1986:** Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União: Brasília, 23 Jan. 1986. Disponível em [HTTP://WWW.MMA.GOV.BR/PORT/CONAMA/RES/RES86/RES0186.HTML](http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/RES/RES86/RES0186.html).

BRASIL. **Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988:** Insitui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial da União: Brasília, 16 de mai. 1988.

BRASIL. **Lei Nº 9433, de 08 de janeiro de 1997:** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº

8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: Brasília, 09 Jan. 1997.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002: Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente-APP.

BRASIL. Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004: Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União: Brasília, 7 de dez. 2004.

BRASIL. Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em [HTTP://WWW.PLANALTO.GOV.BR/CCIVIL_03/ATO20072010/2007/LEI/L11445.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato20072010/2007/lei/L11445.htm)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Pagamentos por serviços ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal; Sven Wunder, Jan Börner, Marcos Rügnitz Tito e Lígia Pereira. p. 144. 2008.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (Código Florestal). Publicada no Diário Oficial da União: Nº 191-A. 4.. Brasília, 25 Mai., 2012. Disponível em [HTTP://WWW.PLANALTO.GOV.BR/CCIVIL_03/ATO20112014/2012/LEI/L12651.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato20112014/2012/lei/L12651.htm)

BREN, L. J. Riparian zone, stream, and floodplain issues: a review. Journal of Hydrology, Forestry Section, University of Melbourne, v. 150, n. 2-4, p. 277-299, 1993.

BRUN, F. G. K.; BRUN, E. J.; FUCHS, R. B. H.; BARBIERI, J.; SZYMCZAK, D. A. SCHUMACHER, M. V. Impactos ambientais no entorno da sanga “Lagoão do Ouro” – bairro Camobi, Santa Maria (RS). Ambiência Guarapuava (PR) v.7 n.3 p. 551-573. ISSN 1808 – 0251. Set./Dez. 2011.

CABRAL DA SILVA, T.; MATOS DE CARVALHO, M. B.; GADELHA, C. L. M.; SILVA JÚNIOR, W. R. da; Diagnóstico e hierarquização de problemas de drenagem urbana da zona costeira Sul do estado da Paraíba. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental - Vol.13 - Nº 2 - abr/jun. Rio de Janeiro – RJ. p.144-152. 2008.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; CAMARGO, R. A. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. Engenharia Sanitária & Ambiental, v. 14, n. 1, p. 19-28. 2009

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; GARRIDO, J. **SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling**. Computer & Graphics, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CARNEIRO, P. R F.; CARDOSO, A. L.; AZEVEDO, J. P. S. de; **Gestão de recursos hídricos integrada ao planejamento urbano**. III Encontro da ANPPAS 23 a 26 de maio. Brasília – DF. 2006.

CARRILHO, L. V. de A. M.; SANTOS, K. M. dos.; FILGUEIRA, H. J. A.; NEVES, C. de A. PEDROSA FILHO, L. de A.; CABRAL DA SILVA, T. **Integrando informações para a gestão de restauração de rios: bacia do rio Marés no litoral Sul paraibano**. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador – Bahia. 2008.

CASTRO, L. M. A. de; BAPTISTA, M. B. CORDEIRO NETTO, O. M. **Análise multicritério para a avaliação de sistemas de drenagem urbana proposição de indicadores e de sistemática de estudo**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 9 n.4 Out/Dez, p. 05-19. 2004.

CAVALCANTI, A. K. G. **Investigação sobre o uso do solo na bacia hidrográfica do rio gramame considerando os cenários atual e potencial**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. Impactos no meio ambiente ocasionados pela urbanização no mundo tropical. In: SOUZA, M.A.A. (org) **Natureza e sociedade hoje: Natureza e sociedade hoje uma leitura geográfica**. Coleção o novo mapa do mundo. São Paulo: HUCITEC, p. 132.1993.

CLARKE, R., & KING, J. **O atlas da água**, São Paulo, Publifolha, 2005.

COELHO, C.; SILVA, R.; TAVEIRA-PINTO, F.; Metodologia de Análise de Vulnerabilidade para Aplicação à Costa Oeste Portuguesa. In: ALMEIDA, A. B. de; **Gestão da água: incertezas e riscos, conceptualização operacional**. Editora Esfera do Caos Editores. 1º Edição. Lisboa. Portugal. 2011.

COELHO, V. H. R. **Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero livre da bacia do rio Gramame – PB**. Dissertação de Mestrado. UFPB. 2011.

COSTA, T. C. e C. da; UZEDA, M. C.; FIDALGO, E. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARAES, S. P. **Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra**. Anais - XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis - SC, Brasil, 21-26 abril, INPE, p. 2493-2500. 2007.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDES 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: MCT/INPE, 2001.

CRUZ, J. C.; NUMMER, A. V.; ELTZ, F. L. F.; SILVA, J. L. S. da; ARAUJO, T. A. **Avaliação ambiental integrada: construção metodológica de modelo para bloco do meio físico.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.1. 223-233– Jan/Mar. 2013.

CUNHA, M. C. 12º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa – SILUSBA de 22 a 27 de novembro. Brasília - DF. **Mensagem da comissão organizadora do 12º SILUSBA.** Disponível em [HTTP://WWW.ABRH.ORG.BR/XXISBRH/](http://WWW.ABRH.ORG.BR/XXISBRH/) Acesso em 03 de março de 2015.

DUDA, A.M.; EL-ASHRY, M.T. **Addressing the global water and environmental crisis through integrated management of land, water and ecological resources.** Water International, Washington, v.25, n.1, p.115-126. 2000.

FEYISA, G. L.; MEILBY, H.; FENSHOLT, R.; PROUD, S. R. **Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery.** Remote Sensing of Environment. Vol. 140. 23 – 35. 2013.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo. Oficina de Textos. 2011.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDÃO, Z. N. LIMA, E. R. V. de.; SILVA, B. B. da. **Mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá.** Revista Brasileira de Geografia Física. Vol. 6. Número 02. ISSN:1984-2295. 271 – 286. 2013.

GALETI, P.A. **Conservação dos solos – reflorestamento – clima.** Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 286p. 1979.

GOVINT. Fórum para Governança Integrada. Workshop II – **Territórios vulneráveis.** 2014. Disponível em: <http://www.forumgovernacaointegrada.pt/index.php/conferencia/88-problemas-sociais-complexos/workshops/132-ws-ii-territorios-vulneraveis>.

GRECO, M. G. **Análisis socioambiental de espacios vulnerables sometidos a desastres. algunos estudios de caso en el norte de la republica argentina.** In: XV ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA. Anais. Havana, Cuba. p. 183-195. 2015.

GRIGIO, A. M. **Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guaramé (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera.** 2003. 230f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 337-379. 1996.

GUERRA, A. J.; ARAÚJO, G. H. & ALMEIDA, J. R. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro - RJ: Bertrand Brasil. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. Manuais técnicos em Geociências, Número 7. 2º Edição. Rio de Janeiro – RJ. 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. Manuais técnicos em Geociências, Número 4. 2º Edição. Rio de Janeiro – RJ. 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos em Geociências, Número 5. 2º Edição. Rio de Janeiro – RJ. 2009.

IMBRENDA, V.; D’EMILIO, M.; LANFREDI, M.; MACCHIATO, M.; RAGOSTA, M.; **Indicators for the estimation of vulnerability to land degradation derived from soil compaction and vegetation cover**. European Journal of Soil Science, November, 65, 907–923. 2014.

KOBIYAMA, M. **Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana**. Revista OESP Construção, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm. 1928.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. **Hidrologia de matas ciliares**. pp 33-44. In: Matas Ciliares: Conservação e recuperação. (Org) Ricardo Ribeiro Rodrigues e Hermogenes de Freitas Filho. Ed. EDUSP. 2ª ed. 320p. 2001.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M. J. B. **O papel do ecossistema ripário**. In: LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Org.). As florestas plantadas e a água. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RiMa. p. 77-87. 2006.

LORENA, R. B.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANT’ANNA, H. M.; SANT’ANNA, H. S. S.; MENEZES, R. S. **Dados multitemporais de sensoriamento remoto para análise da dinâmica do solo e da cobertura da terra na região do Peixoto (AC)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. 2001, FOZ DO IGUAÇU. São José dos Campos: INPE. p. 1653-1656. 2001.

MAGALHÃES JR, A. P.; NETTO, O.M.C.; NASCIMENTO, N.O. **“Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil – resultados de um painel de especialistas”**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 8, n. 4, pp. 49-67, 2003.

MAGALHÃES JR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa**. Bertrand Brasil. 3ª Edição. Rio de Janeiro – RJ. 2011.

MARTINELLI, P. **Qualidade ambiental urbana em cidades médias: proposta de modelo de avaliação para o estado de São Paulo**. 2004. 141f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP. 2004.

MELO, J. R. C. de. **Arcabouço legal e institucional e a situação de proteção ambiental dos mananciais: o caso do rio Marés na Paraíba**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFBA. Salvador - BA. 2013.

MENEZES, L. **Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa/ PB, através do modelo drastic**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Federal da Paraíba. 2007.

METZGER, M.J.; ROUNSEVELL, M.D.A.; ACOSTA-MICHLIK, L.; R. LEEMANS, R.; SCHRÖTER, D. **The vulnerability of ecosystem services to land use change**. Agriculture, Ecosystems and Environment. Elsevier v.114. 69–85. 2006

MORAES, A.C.R. **Contribuição para a gestão da zona costeira do brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. Edusp/Hucitec, São Paulo – SP. p. 229. 1999.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. **Core set of indicators for environmental performance reviews**. Paris: OECD, 1993. <http://lead.virtualcentre.org/en/dec/toolbox/Refer/gd93179.pdf> . Acesso em 03 de março de 2015.

OLIVEIRA, A. M. M. de; PINTO, S. dos A. F.; LOMBARDI NETO, F. **Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo**. Estudos Geográficos, Rio Claro, 5(1): (ISSN 1678—698X). 63-86. 2007.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Health in sustainable development planning: the role of indicators**. Yasmin von Schirnding. Geneva. 2002.

ONU. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. **Sustentar o progresso humano: reduzir as vulnerabilidades e reforçar a resiliência**. Relatório de Desenvolvimento Humano. eISBN 978-92-1-056669-8. 1 UN Plaza, New York, NY 10017, USA. 2014.

PARAÍBA. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Gramame. João Pessoa – PB**. 2000.

PARAIBA. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca – PAE-PB**. Superintendência de Administração do Meio Ambiente. 2011.

PARAIBA. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Implantação da barragem Cupissura, Caaporã – PB**. Secretaria de Estado de Infraestrutura. 2013.

PERT, P. L.; BUTLER, J. R. A.; BRODIE, J. E.; BRUCE, C.; HONZAK, M.; KROON, F. J.; METCALFE, D.; MITCHELL, D.; WONG, G. **A catchment-based approach to mapping hydrological ecosystem services using riparian habitat: a case study from the Wet Tropics, Australia**. *Ecological Complexity*, v.7, p.378-388. 2010.

PIRES, J. S.; SANTOS, J. E. dos; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus - BA: Editus. 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. **Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, jaboticabal (SP)**. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. V. 28 : 297-305. 2004.

PORTO, M. F. A. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. In: Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, V.5, p.387- 414. 1995.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. *Estudos Avançados* v. 22 (n. 63), eISSN 1806-9592. São Paulo – SP. 2008.

SALM, R. V.; CLARK, J. R. **“Marine and coastal protected areas: a guide for planners and managers”**. International Union for Conservation of Nature na Natural Resources. Gland, Switzerland. 302p. 1989.

SALVATI, L.; Bajocco, S.; Ceccarelli, T.; Zitti, M.; Perini, L.; **Towards a process-based evaluation of land vulnerability to soil degradation in Italy**. *Ecological Indicators*. Elsevier. v.11 1216–1227. 2011.

SANTOS, M. & SILVEIRA, M. L.; **O Brasil: território e sociedade no início do século XXI**. Editora Record, 10ª Edição. Rio de Janeiro – RJ. p. 40-41. 2008.

SICCO SMIT, G. **SLAR for forest type-classification in a semi-deciduous tropical region**. *ITC Journal*, n. 3, pp. 385-401, 1978.

SILVA, L.; LIMA, E. R. V.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. C. **Caracterização geomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do açude Soledade**. *Revista Brasileira de Geografia Física* v. 03. 112-122. 2010.

SPÖRL, C. & ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, São Paulo, Nº 15, pp.39-49, 2004.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil**. *Ambi-Água, Taubaté*, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

TAGLIANI, C. R. A. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informação.** In: Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. Belo Horizonte. São José dos Campos: INPE. p. 1657-1664. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, jul./dez. 1997.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da drenagem urbana.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

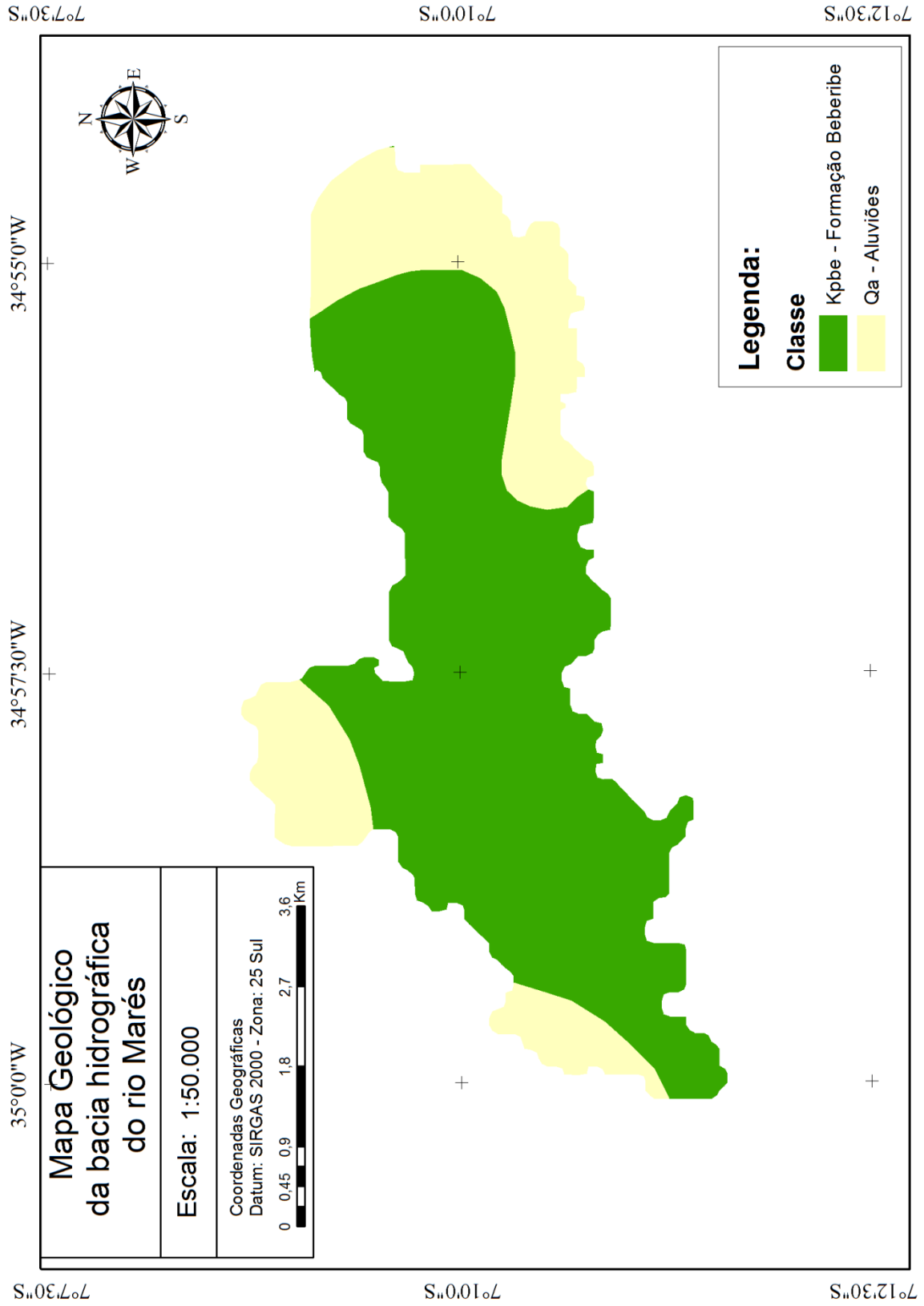
VALLE JUNIOR, R. F. do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba.** 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2008.

VALLE JUNIOR, R. F. do; PASSOS, A. de O.; ABDALA, V. L.; RAMOS, T. G. **Determinação das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio uberaba – MG, utilizando o sistema de informação geográfica – SIG.** Global science and technology. ISSN 1984 – 3801. 2010.

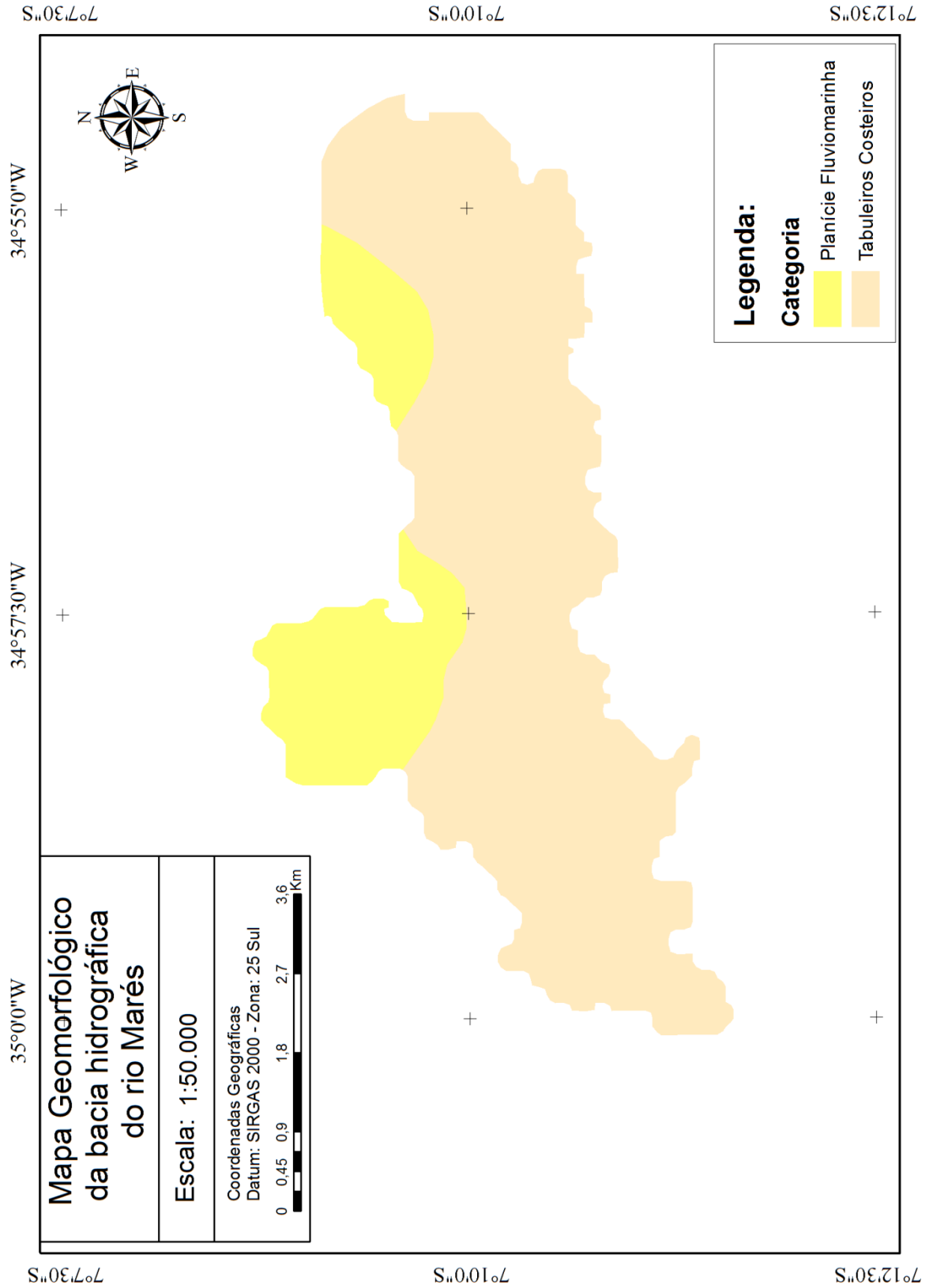
VALLE JUNIOR, R. F. do; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V. **Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na bacia do rio Uberaba.** Global Science And Technology. Gl. Sci Technol, Rio Verde, v. 06, n. 01, p.40 – 52, jan/abr. 2013.

VILLELA, S.M; MATOS, A. **Hidrologia aplicada.** 1 ed. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, p. 245. 1975.

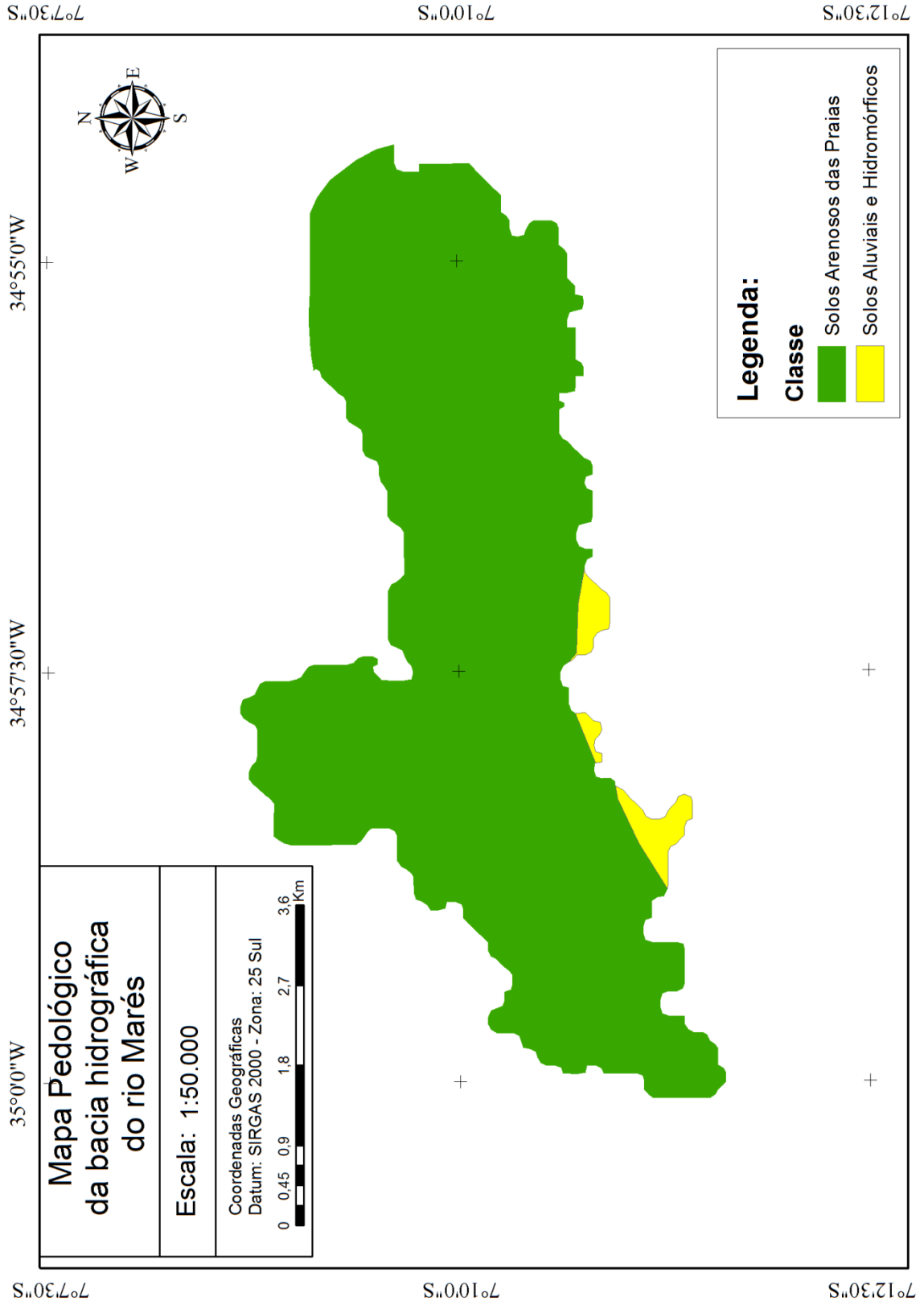
APÊNDICE A: Carta geológica da bacia hidrográfica do rio Marés



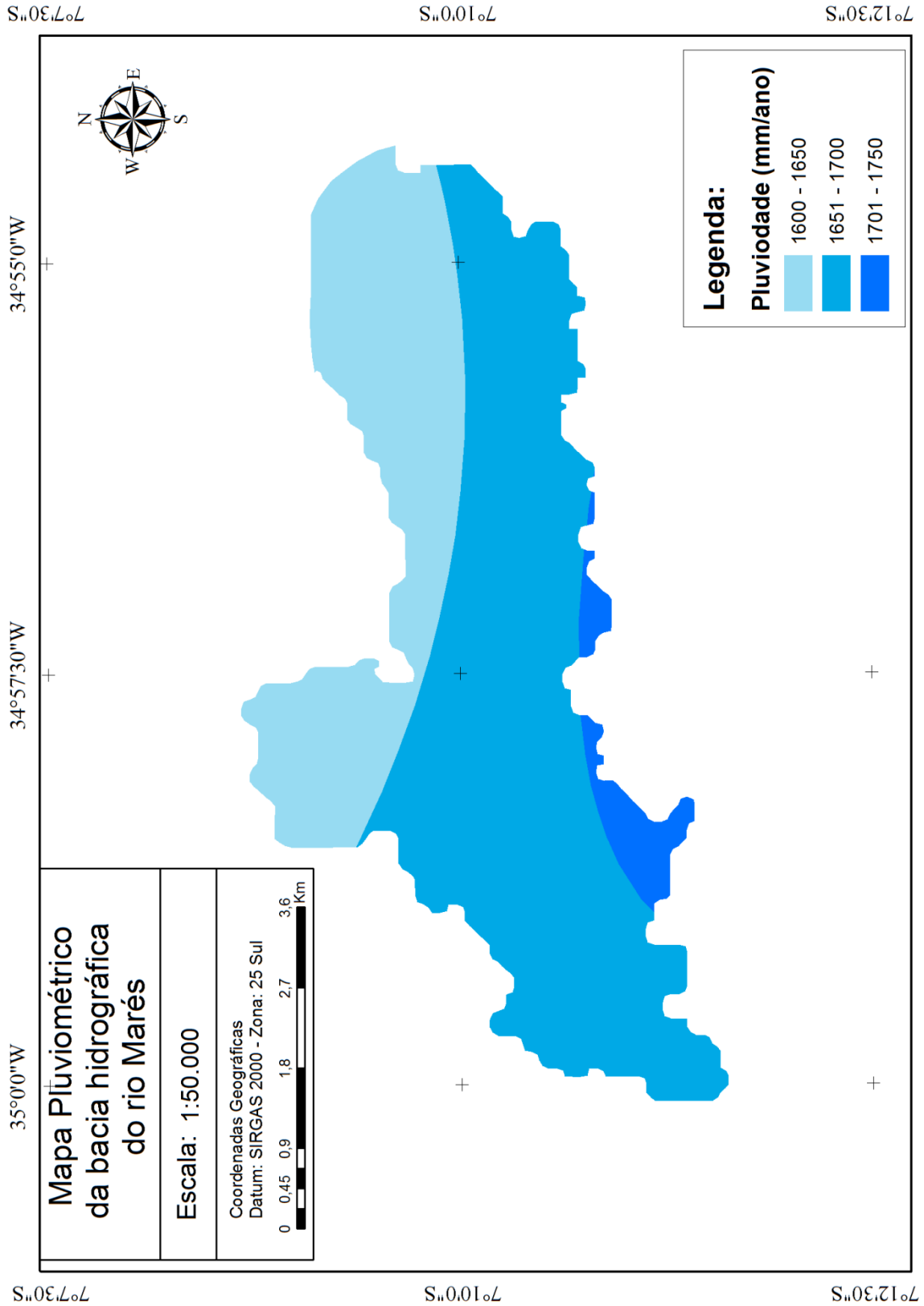
APÊNDICE B: Carta geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Marés



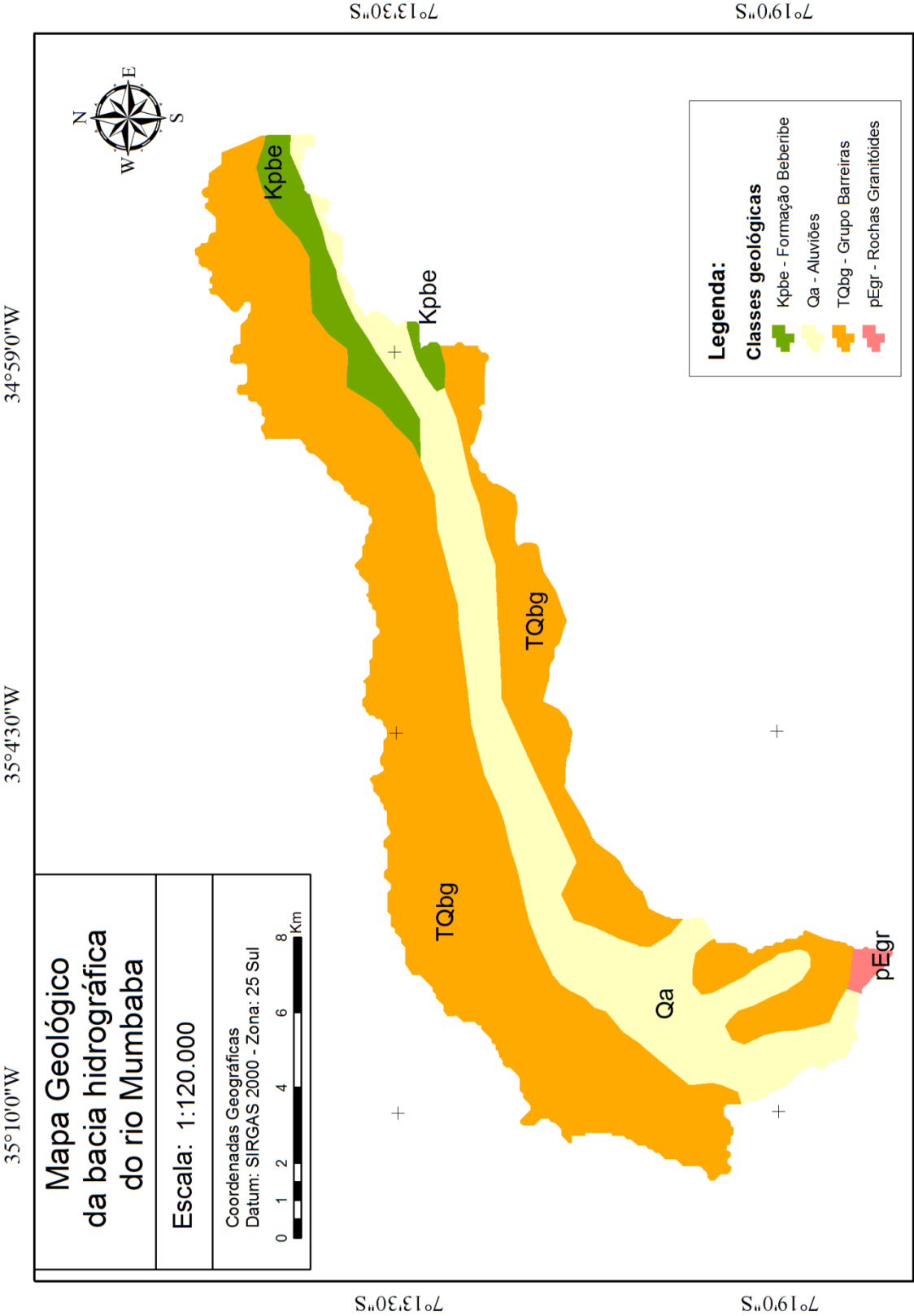
APÊNDICE C: Carta pedológica da bacia hidrográfica do rio Marés



APÊNDICE D: Carta pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Marés



APÊNDICE E: Carta geológica da bacia hidrográfica do rio Mumbaba



APÊNDICE F: Carta geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Mumbaba

35°10'0"W

35°4'30"W

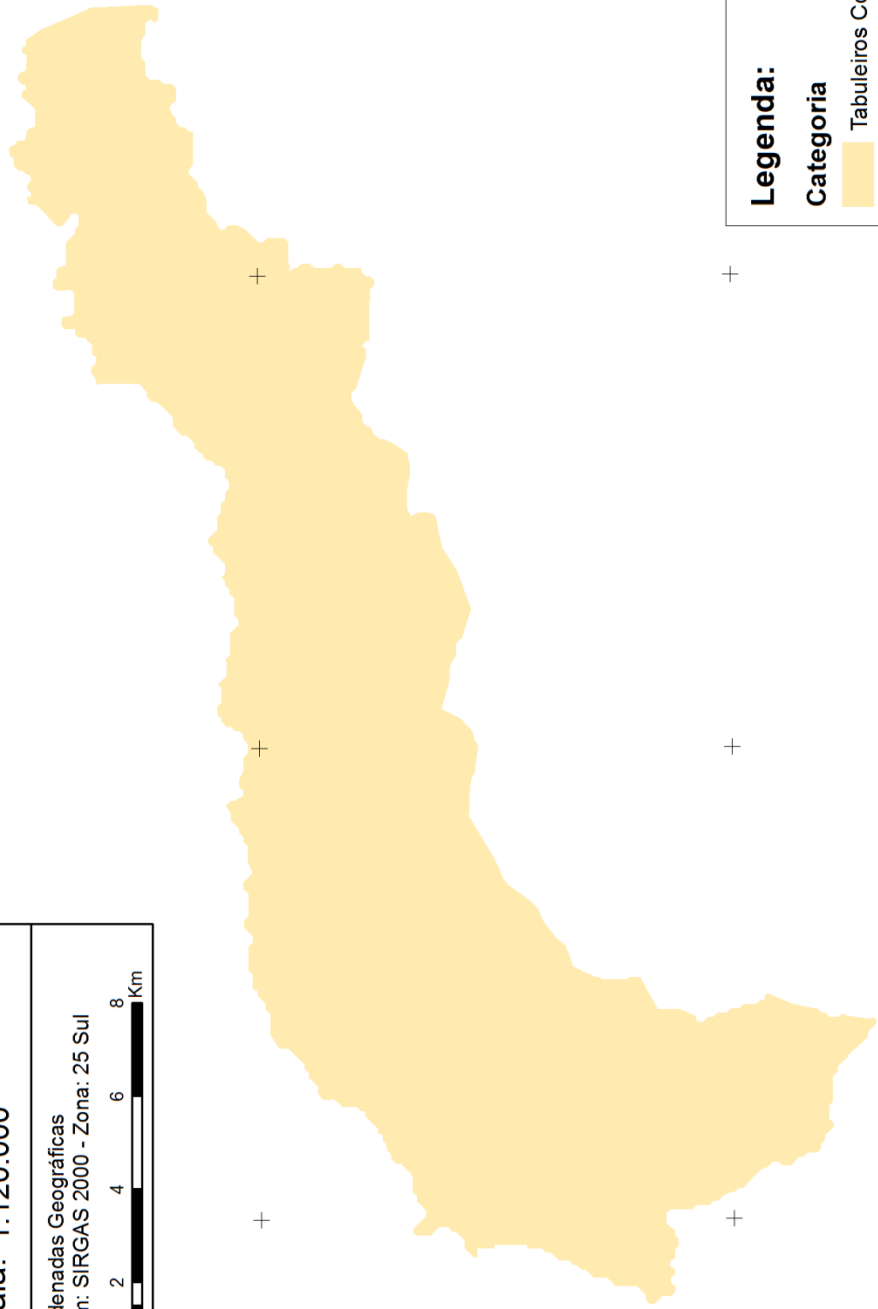
34°59'0"W

Mapa Geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Mumbaba

Escala: 1:120.000

Coordenadas Geográficas

Datum: SIRGAS 2000 - Zona: 25 Sul



Legenda:

Categoria

Tabuleiros Costeiros

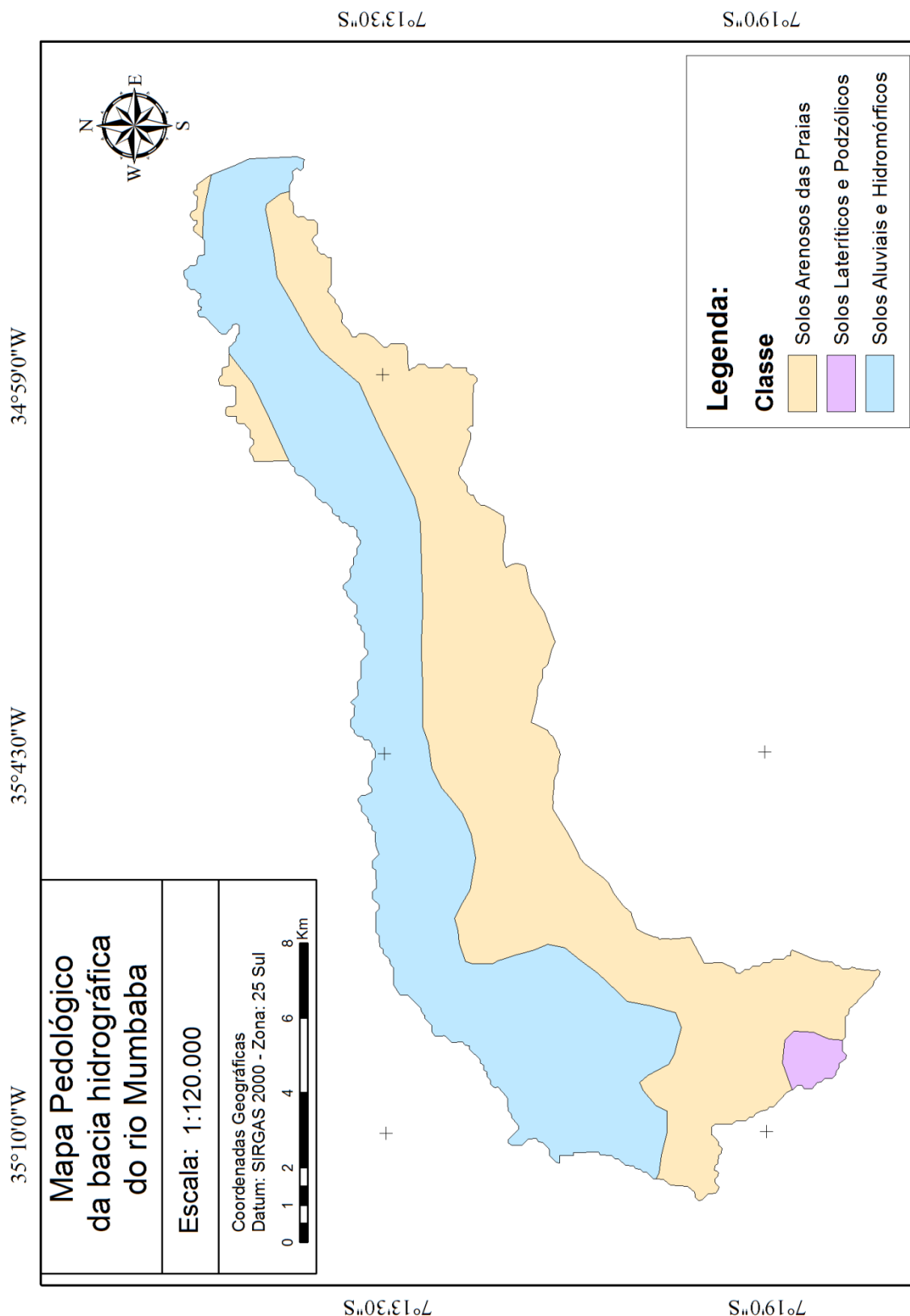
7°13'30"S

7°19'0"S

7°13'30"S

7°19'0"S

APÊNDICE G: Carta pedológica da bacia hidrográfica do rio Mumbaba



APÊNDICE H: Carta pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Mumbaba

