



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL**

Karinna Ugulino de Araújo Maranhão

ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE MONTEIRO-PB

JOÃO PESSOA/PB
SETEMBRO DE 2014

KARINNA UGULINO DE ÁRAÚJO MARANHÃO

ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE MONTEIRO-PB

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

Orientador: Prof. Dr. Richarde Marques da Silva

JOÃO PESSOA/PB
SETEMBRO DE 2014

M311z Maranhão, Karinna Ugulino de Araújo.
 Zoneamento ambiental do município de Monteiro-PB /
 Karinna Ugulino de Araújo Maranhão.- João Pessoa, 2014.
 95f. : il.
 Orientador: Richarde Marques da Silva
 Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
 1. Engenharia urbana e ambiental. 2. Zoneamento
 Ambiental (ZA). 3. Zonas ambientais - avaliação da fragilidade
 - metodologias. 4. Perda do solo - utilização - Equação
 Universal de Perda de Solo (EUPS).

UFPB/BC

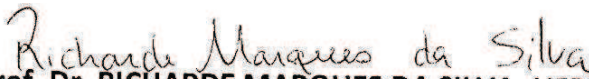
CDU: 62:711(043)

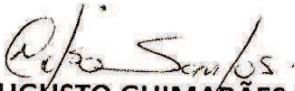
KARINNA UGULINO DE ARAÚJO MARANHÃO

ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE MONTEIRO-PB

Dissertação aprovada em: 26/09/2014

Banca Examinadora:


Prof. Dr. RICHARDE MARQUES DA SILVA- UFPB
(Orientador)


Prof. Dr. CELSO AUGUSTO GUIMARÃES SANTOS- UFPB
(Membro Interno)


Prof^a. Dr^a. KALLIANNA DANTAS ARAUJO - UFAL
(Membro Externo)

JOÃO PESSOA/PB
SETEMBRO DE 2014

A Deus, Pai Todo Poderoso e Misericordioso, conhecedor de todas as nossas limitações, por permitir e me tornar capaz de conquistar tantas coisas em minha vida.

A minha Mãe, Cristina, que sempre soube ser mãe no sentido mais amplo da palavra.

A meu Pai, Humberto, meu modelo de ser humano.

Em especial, ao meu noivo, Bruno, presente de Deus em minha vida, por acreditar na minha capacidade e por estar sempre me apoiando e incentivando. Pela infinita paciência e compreensão dispensada, estando presente nos meus melhores e piores momentos. Enfim, por todo amor, carinho, companheirismo, lealdade e sinceridade.

De coração, eu dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, sobretudo, a Deus, por me amparar e me encorajar nos momentos de fraquezas.

Aos meus queridos pais, Cristina Ugulino e Humberto Maranhão, pelo amor, carinho, compreensão e pela educação que me deram ao longo de todo o meu crescimento, permitindo a realização de mais esta vitória.

A meu noivo, Bruno Jefferson de Sousa Pessoa, pelo estímulo, apoio e paciência fornecidos ao longo desses anos, respeitando minhas ausências e me incentivando nos desânimos.

Ao Professor Dr. Richarde Marques da Silva, pela valiosa dedicação na orientação deste trabalho, pela confiança e valorização de minhas potencialidades e, principalmente, pela amizade construída.

Aos demais professores do curso Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental pelas contribuições acadêmicas.

Aos bolsistas do Laboratório de Ensino, Pesquisa e Projetos em Análise Espacial (LEPPAN) da UFPB, Alexandro Medeiros Silva, Ana Paula Campos Xavier, Isabella Carvalho de Medeiros e José Carlos Dantas pelo auxílio na realização desta pesquisa.

Ao meu grande amigo, José Moacir Soares da Costa Filho, por todos os momentos de amizade e companheirismo nesta fase da minha vida.

Enfim, a todos que, de maneira direta ou indireta, colaboraram com mais essa realização profissional.

Minha eterna gratidão, pelo amor, pelo encorajamento, pelo apoio de todos vocês.

Muito Obrigada!

“A natureza deve ser considerada como um todo,
mas deve ser estudada em detalhe.”

(Mário Bunge)

Objetivou-se avaliar a fragilidade ambiental e diretrizes para o Zoneamento Ambiental (ZA) utilizando técnicas de análises geoespaciais para o município de Monteiro, localizado no Estado da Paraíba. A proposta desse estudo foi aplicar duas metodologias diferentes para avaliar a fragilidade ambiental e usar os resultados para criar classes de zonas ambientais em uma porção semiárida da região Nordeste do Brasil. As duas metodologias utilizadas foram: (a) proposta original de Crepani *et al.* (2008) e adaptada à realidade local, em que foi analisada a vulnerabilidade à perda de solo, o seu uso e ocupação, e as Áreas de Preservação Permanente (APPs); e (b) proposta adaptada de Crepani *et al.* (2008), que ao invés de utilizar o mapa de vulnerabilidade à perda de solo, utilizou-se a estimativa de perda de solo gerada a partir da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). O mapa de vulnerabilidade à perda de solo foi adquirido por álgebra de mapas relacionados aos temas: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Cobertura Vegetal e Uso da Terra e Climatologia. O mapa de estimativa das perdas de solo, utilizando EUPS, foi gerado a partir dos fatores de erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, comprimento de rampa e declividade, uso e manejo e práticas conservacionistas. Como resultado, foi obtido dois mapas de ZA. Em ambos os casos, foram identificadas dez classes de uso indicado, tendo um apresentado maior percentual de área de Controle Ambiental, que requer manutenção da cobertura vegetal existente e da qualidade dos recursos hídricos, e outro apresentou maior percentual de Área de Preservação Prioritária, que apresenta áreas cobertas por vegetação de mata densa e preservada, porém com alto grau de erosão. Essa pesquisa mostra as áreas de maior fragilidade ambiental do município, além de comprovar a importância do ZA para o controle do uso e ocupação do solo de forma ordenada e planejada. Cabe, portanto, ao órgão municipal elaborar, baseado nesse estudo, sua legislação para ordenamento do território. A partir dessa pesquisa é possível aprofundar os estudos para gerar o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), onde, além das preocupações com a preservação, reabilitação e recuperação da qualidade ambiental, passa-se a uma maior preocupação com o desenvolvimento econômico e social.

Palavras-chaves: Zoneamento Ambiental, Semiárido, Vulnerabilidade, Perda de solo, EUPS

The objective is to evaluate the environmental fragility and guidelines for environmental zoning (EZ) using geospatial analyses techniques in the Monteiro County, Paraíba State. The purpose of this study was to evaluate two different environmental fragility methodologies to use the results to develop environmental zone classes within Brazilian semiarid region. The two methodologies used in this study were: (a) original purpose developed by Crepani *et. al.* (2008) and adapted to the local reality, in which it was analyzed the vulnerability to soil loss, its use and occupation, and the Permanent Preservation Areas (PPAs); (b) adopted purpose of Crepani *et. al.* (2008), that instead of using the map of soil loss vulnerability, it was used the estimation of soil loss achieved from the Universal Soil Loss Equation (USLE). The map of soil loss vulnerability was achieved by algebra of maps related to the following themes: Geology, Geomorphology, Pedology, Land Use Cover, and Climatology. The estimative map of soil losses, using USLE, was achieved from the factors of rainfall erosivity, soil erodibility, topographic and management, and conservation practices. As a result, two EZ maps were achieved. In both cases were identified ten types of indicated use, having one of them presented a higher percentage of Environmental Control area, which demands maintenance of both the existent vegetal cover and the quality of hydric sources; while another map has presented a higher percentage of Priority Preservation Area, which presents areas covered by vegetation of dense and preserved forest, but with high erosion degree. This research not only shows the city areas of higher environmental vulnerability, but also proves the importance of EZ to the control of soil use and occupation in an orderly and planned way. It is, then, government duty to elaborate, based on this study, its law to ordainment of territory. From this research it is possible to deepen the studies to create the Ecological-Economic Zoning (EEZ), which is concerned not only with the preservation, rehabilitation and recovery of environmental quality, but also with the social and economic development.

Keywords: Environmental Zoning, Semiarid, Vulnerability, Soil Loss, USLE

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização geográfica do município de Monteiro no Estado da Paraíba .	34
FIGURA 2	Fluxograma da metodologia adotada	36
FIGURA 3	Fluxograma das propostas para a elaboração de ZA para o município de Monteiro, Paraíba	37
FIGURA 4	Fluxograma da metodologia para delimitação das APPs de morros e montanhas	39
FIGURA 5	Mapa geológico do município de Monteiro, Paraíba	41
FIGURA 6	Grade triangular do modelo digital de elevação do município de Monteiro, Paraíba	44
FIGURA 7	Tipos de solos do município de Monteiro, Paraíba	46
FIGURA 8	Células da grade do TRMM com resolução de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$	49
FIGURA 9	Mapa das Áreas de Preservação Permanente do Município de Monteiro, Paraíba	54
FIGURA 10	Classificação do uso e ocupação do solo do município de Monteiro para os anos: (a) 1987 e (b) 2010	57
FIGURA 11	Mapa de vulnerabilidade geológica do município de Monteiro, Paraíba ..	58
FIGURA 12	Mapa de dissecação do relevo do município de Monteiro, Paraíba	60
FIGURA 13	Mapa de vulnerabilidade da amplitude altimétrica do município de Monteiro, Paraíba	62
FIGURA 14	Mapa de vulnerabilidade da declividade do município de Monteiro, Paraíba	64
FIGURA 15	Mapa de vulnerabilidade geomorfológica do município de Monteiro, Paraíba	65
FIGURA 16	Mapa de vulnerabilidade pedológica do município de Monteiro, Paraíba	67
FIGURA 17	Mapa de vulnerabilidade da cobertura vegetal e uso da terra do município de Monteiro, Paraíba, para os anos: (a) 1987 e (b) 2010	69
FIGURA 18	Precipitação média anual obtidos a partir de dados do TRMM e dos postos pluviométricos, durante os anos de 1998 e 2013	70
FIGURA 19	Interpolação pelo método do quadrado da distância (IQD) da intensidade pluviométrica obtida mediante dados de precipitação do TRMM no período de 1998 e 2013.....	72

FIGURA 20	Mapa de vulnerabilidade climatológica do município de Monteiro, Paraíba, referente aos anos de 1998 e 2013	73
FIGURA 21	Mapa de vulnerabilidade à perda do solo do município de Monteiro, Paraíba	75
FIGURA 22	Mapa de erosividade do município de Monteiro, Paraíba, gerado a partir dos dados dos postos pluviométricos	77
FIGURA 23	Mapa de erosividade do município de Monteiro, Paraíba, gerado a partir dos dados do TRMM	78
FIGURA 24	Mapa de erodibilidade e tipo de solo do município de Monteiro, Paraíba	79
FIGURA 25	Espacialização do fator topográfico LS do município de Monteiro, Paraíba	81
FIGURA 26	Espacialização dos fatores de uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas (fator CP) do município de Monteiro, Paraíba	82
FIGURA 27	Estimativa da perda de solo do município de Monteiro, Paraíba	83
FIGURA 28	Mapa de Zoneamento Ambiental (ZA1) do município de Monteiro, Paraíba, gerado a partir do mapa de vulnerabilidade à perda de solo	85
FIGURA 29	Mapa de Zoneamento Ambiental (ZA2) do município de Monteiro, Paraíba, gerado a partir da Equação Universal de perda de solo (EUPS) .	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Chaves de interpretação de objetos e feições	33
QUADRO 2	Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns e sua propensão ao risco	42
QUADRO 3	Escala de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo (amplitude interfluvial) e sua propensão ao risco	43
QUADRO 4	Escala de vulnerabilidade referente à amplitude altimétrica e sua propensão ao risco	44
QUADRO 5	Escala de vulnerabilidade referente à declividade e sua propensão ao risco	45
QUADRO 6	Valores de vulnerabilidade dos solos incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solos da Embrapa	47
QUADRO 7	Escala de vulnerabilidade referente à Intensidade Pluviométrica (I_p) e sua propensão ao risco	50
QUADRO 8	Valores do Fator de Erodibilidade do Solo (K) para os tipos de solo presentes na área de estudo	52
QUADRO 9	Valores de CP para os tipos de uso do solo e cobertura vegetal no município de Monteiro, Paraíba	52
QUADRO 10	Combinação entre classes para identificação dos usos indicados	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Áreas de Preservação Permanente (APPs) e sua relação à área total do município de Monteiro, Paraíba	55
TABELA 2	Evolução do uso e ocupação do solo para cada classe temática referente aos anos de 1987 e 2010 com suas respectivas vulnerabilidade	55
TABELA 3	Escala de vulnerabilidade para cada tipo de rocha encontradas no município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas	59
TABELA 4	Escala de vulnerabilidade para diferentes amplitudes interflúvias do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas	61
TABELA 5	Escala de vulnerabilidade para diferentes amplitudes altimétricas do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas	63
TABELA 6	Escala de vulnerabilidade para a declividade das encostas do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas	63
TABELA 7	Escala de vulnerabilidade relacionada à geomorfologia do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas	66
TABELA 8	Escala de vulnerabilidade pedológica e suas respectivas áreas no município de Monteiro, Paraíba	67
TABELA 9	Áreas e percentuais de cada classe de vulnerabilidade relacionada à cobertura vegetal e uso da terra do município de Monteiro, Paraíba, para os anos (a) 1987 e (b) 2010	68
TABELA 10	Variação dos dados de Precipitação Média Anual (PMA), nos anos de 1998 e 2013, obtidos a partir de dados do TRMM e 12 postos pluviométricos	71
TABELA 11	Intensidade Pluviométrica obtida a partir de dados do TRMM, nos anos de 1998 e 2013	72
TABELA 12	Escala de vulnerabilidade relacionada à climatologia do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas	74
TABELA 13	Escala de vulnerabilidade à perda do solo do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas e porcentagens	74

TABELA 14	Dados de precipitação de doze postos pluviométricos mais próximos da área de estudo	76
TABELA 15	Dados pluviométricos obtidos a partir de estimativas do TRMM nas proximidades da área de estudo	76
TABELA 16	Valores de Erodibilidades (K) para diferentes tipos de solos do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas	80
TABELA 17	Fator LS e suas respectivas áreas, referente ao município de Monteiro, Paraíba	80
TABELA 18	Valores de CP para os tipos de uso do solo e cobertura vegetal no município de Monteiro, Paraíba, com suas respectivas áreas e porcentagens	82
TABELA 19	Classes do ZA1 gerado a partir do mapa de vulnerabilidade à perda de solo e suas respectivas áreas e porcentagem em relação à área total do município de Monteiro, Paraíba	84
TABELA 20	Classes do ZA2 gerado a partir do mapa de perda de solo obtido pela EUPS e suas respectivas áreas e porcentagem em relação à área total do município de Monteiro, Paraíba	86
TABELA 21	Diferença entre áreas para cada Zoneamento Ambiental	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACA	Área de Controle Ambiental
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AEU	Área de Expansão Urbana
APA	Área de Proteção Ambiental
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
APP	Área de Preservação Permanente
ARA	Área de Recuperação Ambiental
CCZEE	Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DPC	Duração de Período Chuvoso
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	Equação Universal de Perda do Solo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverso da Potência da Distância
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
I_p	Intensidade Pluviométrica
IQD	Inverso do Quadrado da Distância
MDE	Modelo Digital de Elevação
PDI	Processamento Digital de Imagens
PLANAFLORO	Plano Agropecuário e Florestal do Estado
PMA	Precipitação Média Anual
PMP	Precipitação Máxima Provável
PND	Política Nacional de Defesa
PNDR	Política Nacional de Desenvolvimento Regional
PNGATI	Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
POLONOROESTE	Programa de Desenvolvimento Integrado para o Noroeste do Brasil
PRDA	Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia

PRODEAGRO	Projeto de Desenvolvimento Agroambiental
SAE/PR	Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República
SCA/MMA	Secretaria de Coordenação da Amazônia do Ministério do Meio Ambiente
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UZA	Unidades de Zoneamento Ambiental
ZA	Zoneamento Ambiental
ZAE	Zoneamento Agroecológico
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico
ZSEE	Zoneamento Socioeconômico-ecológico

1. INTRODUÇÃO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1. Planejamento ambiental e ordenamento territorial	22
2.2. Fragilidade ambiental.....	23
2.3. Zoneamento e suas diferentes tipologias	23
2.4. Geotecnologias aplicadas ao zoneamento.....	30
2.4.1. Técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI)	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. Caracterização da área de estudo	34
3.2. Elaboração do zoneamento ambiental.....	35
3.2.1. Delimitação das área de preservação permanente (APPs).....	37
3.2.2. Elaboração de mapa de uso e ocupação do solo	39
3.2.3. Análise da vulnerabilidade à perda de solo.....	40
3.2.3.1. Análise da vulnerabilidade geológica	40
3.2.3.2. Análise da vulnerabilidade geomorfológica	42
3.2.3.3. Análise da vulnerabilidade pedológica	46
3.2.3.4. Análise da vulnerabilidade da cobertura vegetal e do uso da terra.....	47
3.2.3.5. Análise da vulnerabilidade climatológica	48
3.2.4. Estimativa de perda de solo	51
3.2.5. Elaboração do mapa de Zoneamento Ambiental	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1. Avaliação das áreas de preservação permanente (APPs).....	54
4.2. Avaliação do uso e ocupação do solo	55
4.3. Vulnerabilidade à perda do solo	58
4.3.1. Análise da vulnerabilidade geológica	58
4.3.2. Análise da vulnerabilidade geomorfológica	59

4.3.3.	Análise da vulnerabilidade pedológica	66
4.3.4.	Análise da vulnerabilidade da cobertura vegetal e uso do solo	68
4.3.5.	Análise da vulnerabilidade climatológica	70
4.3.6.	Análise da vulnerabilidade à perda do solo	74
4.4.	Estimativa da perda do solo	75
4.4.1.	Fator de erosividade (R).....	75
4.4.2.	Fator de erodibilidade (K):.....	79
4.4.3.	Fator topográfico (LS):	80
4.4.4.	Fator de uso e ocupação do solo (C) e práticas conservacionistas (P):.....	81
4.5.	Determinação do zoneamento ambiental: vulnerabilidade e estimativa da perda do solo	84
4.5.1.	Zoneamento ambiental com base na vulnerabilidade à perda de solo	84
4.5.2.	Zoneamento ambiental com base na estimativa de perda de solo.....	86
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		89
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		90

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) em seu Art. 9º, inciso II da Lei n. 6938/81, institui o zoneamento ambiental como um dos seus instrumentos de política pública que visa subsidiar processos de planejamento e de ordenamento do uso e da ocupação do território, bem como da utilização de recursos ambientais a partir de estudos sistematizados de características, fragilidade e potencialidades do meio ambiente.

O zoneamento consiste em dividir o território em parcelas nas quais se autorizam determinadas atividades ou se interdita, de modo absoluto ou relativo, o exercício de outras atividades (MACHADO, 2004). O autor afirma ainda que o zoneamento não constitui, por si só, a solução de todos os problemas ambientais, mas é um significativo passo.

A Constituição Federal de 1988 confere ao Poder Público, competência para, através do Plano Diretor, promover o adequado ordenamento territorial mediante planejamento e controle de uso, do parcelamento e da ocupação do solo, visando a qualidade de vida da população.

A partir do zoneamento de um município, o Poder Público estabelece regimes especiais de uso e aproveitamento para a sua melhoria e recuperação, o que contribui para uma utilização sustentável do meio ambiente e implica indiscutivelmente o bem-estar da população (LOPES, 2006). Portanto, seu resultado é a apresentação de um conjunto de unidades, cada uma delas sujeita a normas específicas para o desenvolvimento de atividades e a conservação do meio.

O município de Monteiro, Estado da Paraíba, através da Lei Complementar nº 007/2006 que institui o Plano Diretor, a qual estabelece diretrizes e proposições de desenvolvimento para o Município de Monteiro, prevê o macrozoneamento como parte integrante da legislação municipal. O Plano Diretor Municipal designa, em seu artigo 64, que o macrozoneamento fixa as regras fundamentais de ordenamento do território e tem como objetivo definir diretrizes para a utilização dos instrumentos de ordenação territorial e de zoneamento de uso e ocupação do solo. Apesar do Plano Diretor do município de Monteiro apresentar o macrozoneamento como parte integrante da legislação municipal, esse Município não o possui. Além disso, existem poucos estudos que examinaram a fragilidade ambiental de Monteiro, Paraíba.

O zoneamento é um recurso estratégico amplo de planejamento urbano em que são analisados diversos atributos sociais, ambientais, econômicos e institucionais de territórios com o fim de propor alternativas de usos para a reestruturação dessas áreas, para que seja definida uma nova visão institucional do sistema nacional de planejamento (LOPES, 2006). É um instrumento imprescindível para o planejamento urbano, pois é a partir dele que se definem os critérios e diretrizes para o uso do solo como forma de minimizar os conflitos entre usos e atividades e controlar o crescimento urbano, baseado nas características de cada região, de forma que não comprometa seus recursos naturais e o meio ambiente em longo prazo.

Este tipo de análise regional fornece um meio para compreender melhor a fragilidade do ecossistema e ajuda a política de desenvolvimento de decisão para uma gestão eficaz. Sabe-se que é de responsabilidade da gestão municipal o seu desenvolvimento e, por essa razão, esta pesquisa irá propor um mapa de zoneamento ambiental que servirá de subsídio para os gestores e a sociedade em geral, sendo instrumento de planejamento territorial, visando ao desenvolvimento sustentável e uso adequado do território.

A falta de legislação para uso e ocupação do solo pode acarretar em expansão desordenada, exploração ilegal dos recursos naturais e desmatamentos. Para estabelecer diretrizes quanto ao uso e ocupação do solo, faz-se necessário o mapa de zoneamento.

Para desenvolver o ZA é necessário analisar a fragilidade dos ambientes naturais resultantes dos levantamentos básicos de geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima, onde cada uma destas variáveis é hierarquizada em classes de acordo com sua vulnerabilidade (SPÖRL e ROSS, 2004). Esses elementos tratados de forma integrada, segundo os autores, possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Para Lopes (2006), o zoneamento é resultado de um processo político-administrativo, sendo os conhecimentos técnicos e científicos imprescindíveis para a sua adequação à realidade ambiental e socioeconômica da(s) área(s) a ser (em) zoneada(s) e também pela possibilidade de sua execução em plenitude.

Os avanços tecnológicos nas geotecnologias têm permitido diversos estudos espaciais, sobretudo na área ambiental. De acordo com Câmara et al. (2001), as técnicas matemáticas e computacionais de análise espacial são ferramentas úteis para o tratamento da informação geográfica, e que por sua vez, vem influenciando de maneira crescente as áreas de

Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Com o crescimento das geotecnologias e a disponibilidade de diversos sensores instalados em satélites ou radares, é possível coletar imagens de grandes áreas através da captura de refletâncias eletromagnéticas. Segundo Bakr et al. (2010), as imagens do satélite são uma das principais fontes de dados mais amplamente utilizadas em todo o planeta, seja para o mapeamento de cobertura do uso do solo e diversos estudos ambientais desde 1972, como para a aquisição de informações morfométricas do terreno.

O uso de geotecnologias para análises sobre fragilidade ambiental e desenvolvimento de ZA vem sendo muito utilizados, principalmente na última década. Alguns exemplos são os trabalhos como os de Manfré (2013), Thomas (2012), Lopes (2006) e Almeida (2006). Manfré (2013) avalia três modelos diferentes de fragilidade ambiental aplicado a duas bacias hidrográficas rurais, localizadas em Ibiuna, São Paulo, e usa os resultados para desenvolver o ZA. Thomas (2012) e Lopes (2006) apresentam uma proposta de zoneamento ambiental realizada para o município de Arroio do Meio, no Estado do Rio Grande do Sul e em Aquiraz, no Ceará, respectivamente, de forma a contribuir com o desenvolvimento ordenado e racional, respeitando os condicionantes ambientais e os usos já consolidados no espaço de análise. Já Almeida (2006) apresenta uma proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico, para a Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual de Tambaba, localizada na Microrregião do Litoral Sul Paraibano, abrangendo três municípios (Conde, Pitimbu e Alhandra), onde foram analisados diversos aspectos bióticos, abióticos, econômicos, sociais e ambientais, utilizando indicadores de potencialidade social e da vulnerabilidade do meio físico.

A análise da fragilidade ambiental é imprescindível para o desenvolvimento do Zoneamento Ambiental, pois é a partir dessa análise que se determinam as áreas de maior ou menor vulnerabilidade. O ZA, por sua vez, ajudará em estudos ambientais e socioeconômicos e de negociações democráticas entre órgãos públicos, setores privados e a sociedade civil sobre estratégias e alternativas que serão adotadas para que se alcance o objetivo maior desse instrumento: a promoção do desenvolvimento sustentável.

Esse trabalho tem como área de estudo o município de Monteiro, Estado da Paraíba, e foi estruturado em seis capítulos, onde, no primeiro capítulo encontra-se uma breve introdução sobre o tema abordado, contextualizando o problema e justificando a sua realização. O capítulo seguinte trata da fundamentação teórica, ou seja, uma síntese dos conhecimentos teóricos necessários para o desenvolvimento do trabalho, onde foi abordado

temas como planejamento ambiental e ordenamento territorial; conceituação sobre zoneamento e seus tipos, com ênfase no zoneamento ambiental; e o uso do geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental. O terceiro capítulo refere-se aos materiais e métodos adotados na pesquisa, sendo apresentada também a área de estudo. O quarto capítulo apresenta os dados coletados e processados, além da análise e discussão desses. Por fim, constam as considerações finais, contendo respostas ao tema e confronto com o objetivo do trabalho, além de sugestões para futuros trabalhos e as referências bibliográficas.

O objetivo dessa pesquisa é avaliar a fragilidade ambiental, fornecendo diretrizes para o Zoneamento Ambiental (ZA) do município de Monteiro-PB, utilizando técnicas de análises geoespaciais. Para isso, foram analisadas duas diretrizes para desenvolvimento de ZA, sendo uma adotada por Crepani et al. (2008) e outra utilizando a estimativa de perda de solo gerada a partir da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Para obtenção desses zoneamentos ambientais, foi necessário analisar as condições geoambientais (geologia, geomorfologia e pedologia), a variabilidade climática, além da evolução recente do uso e ocupação do solo do município. Foi imprescindível também a identificação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) localizadas nas margens de cursos d'água, de nascentes e represas, áreas de topo de morros e montanhas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Planejamento Ambiental e Ordenamento Territorial

Durante a Conferência Europeia dos Ministros responsáveis pelo ordenamento territorial, em 1984, foi formulada e aprovada a Carta Europeia de Ordenamento do Território que define o ordenamento territorial como “uma disciplina científica, uma técnica administrativa e uma política que se desenvolve numa perspectiva interdisciplinar e integrada, visando o desenvolvimento equilibrado das regiões e a organização física do espaço segundo uma estratégia de conjunto” (CONSELHO DA EUROPA, 1988).

Para haver o ordenamento territorial, é imprescindível o planejamento. Esse planejamento deve estar inserido em uma nova realidade, onde a dimensão ambiental é uma condição essencial para o desenvolvimento equilibrado (SANTOS, 2010), surgindo, então, o termo Planejamento Ambiental, definido por Silva e Santos (2004) como:

[...] um processo contínuo que envolve coleta, organização e análise sistematizada das informações, por meio de procedimentos e métodos, para se chegar a decisões ou escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis em função de suas potencialidades, e com a finalidade de atingir metas específicas no futuro, tanto em relação a recursos naturais quanto à sociedade.

A Constituição Brasileira adota o princípio da ação cooperada entre os níveis de governo, cabendo à União a elaboração de diretrizes gerais nas várias matérias conforme o inciso IX do artigo 21, que diz: “Compete a União elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social.” E compete aos municípios, segundo o inciso VIII do artigo 30: “[...] promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso do solo, do parcelamento e da ocupação do solo urbano” (BRASIL, 1988). Uma importante ferramenta de planejamento ambiental e ordenamento territorial é o zoneamento, servindo de orientação ao gestor público do município na elaboração de políticas específicas a cada realidade regional.

2.2. Fragilidade Ambiental

Estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental, pois fornece uma das ferramentas mais utilizadas pelo poder público na elaboração de planejamentos territoriais, permitindo uma análise integrada dos atributos físicos, bióticos e antrópicos, a fim de avaliar as potencialidades do meio ambiente e, com resultado, compartimentar os atributos tanto de acordo com suas características naturais quanto com suas restrições (CARMO et al., 2011).

A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL e ROSS, 2004)

A fragilidade potencial compreende a integração dos elementos físicos naturais, como a geomorfologia, tipos de solo, declividade, geologia, entre outros, enquanto a fragilidade emergente compreende a análise integrada da fragilidade potencial do meio natural com o tipo de uso do solo (SANTOS et al., 2010).

Ainda segundo os autores, a elaboração de mapas de fragilidade ambiental mostra, em termos de intensidade e de distribuição espacial, a vulnerabilidade do meio físico, considerando-se os fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos e as suas respostas às pressões antrópicas, possibilitando a indicação de áreas onde os graus de fragilidade são mais baixos, com maiores opções de uso e ocupação e aquelas de graus de fragilidade mais altos, áreas mais vulneráveis, onde as opções de uso são mais reduzidas, exigindo-se, ainda, a aplicação de técnicas mais adequadas, fornecendo importantes subsídios para a gestão territorial com base no Zoneamento Ambiental.

2.3. Zoneamento e suas diferentes tipologias

O zoneamento, segundo o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2002), Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001, estabelece um referencial espacial para o uso e ocupação do solo, em concordância com as estratégias de política urbana, dividindo o território em unidades territoriais que expressam o destino específico às diferentes regiões do município.

Existem diferentes tipos de zoneamentos, cada um com seus objetivos específicos e formulação políticas variadas. Dentre esses zoneamentos, podem ser mencionados (MMA, 2014):

- **Zoneamento ambiental (ZA)** – instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938/1981), evoluído para Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) pelo Decreto Federal nº 4.297/2002, sendo nos estados de Mato Grosso e Rondônia chamado de **Zoneamento socioeconômico-ecológico (ZSEE)** que busca evidenciar, para além dos aspectos ambientais e econômicos, a dimensão social;
- **Zoneamento agroecológico (ZAE)** – instrumento da Política Agrícola, regida pela lei federal nº 8.171/1991, prevê, em seu artigo 19, inciso III, a realização de zoneamentos agroecológicos, que permitem estabelecer critérios para o disciplinamento e o ordenamento da ocupação espacial pelas diversas atividades produtivas, estando a aprovação do crédito rural, inclusive, condicionada às disposições dos zoneamentos agroecológicos elaborados, destacando-se, o ZAE da cana-de-açúcar, instituído por meio do Decreto Federal nº 6.961/2009;
- **Zoneamento agrícola de risco climático** – instrumento da Política Agrícola, elaborado com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos, permitindo a identificação da melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares. São analisados os parâmetros clima, solo e ciclos de cultivares, a partir de uma metodologia validada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e adotada pelo Ministério da Agricultura;
- **Zoneamento industrial** – disciplinado pela lei federal nº 6.803/1980, trata-se de tipologia de zoneamento realizado nas áreas críticas de poluição a que se refere o artigo 4º do decreto-lei nº 1.413/1975, com a identificação das zonas destinadas à instalação de indústrias, em esquema de zoneamento urbano, aprovado por lei, compatibilizando as atividades industriais com a proteção ambiental;
- **Zoneamento urbano** – instrumento utilizado nos planos diretores, através do qual a cidade é dividida em áreas sobre as quais incidem diretrizes diferenciadas para o uso e a ocupação do solo, especialmente os índices urbanísticos. O zoneamento urbano atua, principalmente, por meio do controle do uso e do porte (ou tamanho) dos lotes e das edificações. Através disso, supõe-se que o resultado final alcançado através das ações individuais esteja de acordo com os objetivos do município, que incluem

proporcionalidade entre a ocupação e a infraestrutura, a necessidade de proteção de áreas frágeis e/ou de interesse cultural, a harmonia do ponto de vista volumétrico, entre outros;

- **Etnozoneamento** – instrumento da Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI), instituída pelo decreto federal nº 7.747/2012, destinado ao planejamento participativo e à categorização de áreas de relevância ambiental, sociocultural e produtiva para os povos indígenas, desenvolvido a partir do etnomapeamento que, por sua vez, consiste no mapeamento dessas áreas, com base nos conhecimentos e saberes indígenas.

O Zoneamento Ambiental (ZA) estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinada a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população. Esse ZA tem por objetivo geral organizar, de forma vinculada, as decisões dos agentes públicos e privados quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais.

A partir do Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, o ZA é regulamentado no Brasil e passou a ser denominado de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), onde, além das preocupações com a preservação, reabilitação e recuperação da qualidade ambiental, passou-se a uma maior preocupação com o desenvolvimento econômico e social, proporcionando a conservação da natureza e seus recursos em harmonia com o desenvolvimento das atividades socioeconômicas (THOMAS, 2012).

Apesar do termo ZA está em desuso, neste trabalho optou-se pela utilização deste, uma vez que parâmetros sociais e econômicos não serão estudados, dando enfoque apenas aos parâmetros ambientais. Segundo Thomas (2012), o zoneamento ambiental deve buscar uma proposta de organização territorial, objetivando resolver ou minimizar os impactos decorrentes da inadequada ocupação e utilização do meio, levando em consideração as potencialidades, limitações e fragilidades do espaço geográfico estudado.

Para o estabelecimento de regimes especiais de uso pela ordenação do espaço em distintas zonas, consideram-se as características relativamente homogêneas da paisagem e dos atributos avaliados, dividindo conforme as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos seus recursos naturais e do seu desenvolvimento sustentável. Assim, as unidades de zoneamento irão diferenciar-se entre si pelas suas características próprias, apresentando distintos objetivos e normas para o desenvolvimento das atividades, manejo e

conservação do meio (THOMAS, 2012). Ainda segundo a autora, a compreensão de como ocorre a organização e apropriação humana espacial permite buscar alternativas para solucionar problemas decorrentes de uma utilização errônea do meio, a fim de buscar melhores condições de vida à população e a garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado.

O ZA é o instrumento mais adequado para a obtenção de respostas amplas com relação à viabilidade da ocupação do território em bases ambientalmente sustentáveis, tanto em relação aos fatores ambientais a serem considerados como também na delimitação das áreas de influência e/ou identificação de conflitos (MONTAÑO et al., 2007). Assim, o ZA trata-se de um instrumento essencial para a efetividade de outros instrumentos como Licenciamentos Ambientais e Estudos de Impacto Ambiental.

De acordo com Santos (2010), o ZA levou quase vinte anos para ser regulamentado sob o decreto nº 4.297 de 10 de julho de 2002, ratificando sua condição de instrumento de ordenamento territorial e afirmando a obrigatoriedade em ser obedecido por planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelecendo medidas e padrões de qualidade ambiental, segundo Santos (2010).

Antes mesmo da sua regulamentação, vários estudos de zoneamento foram realizados, principalmente em Estados do Noroeste, como é o caso: da Amazônia através do programa “Nossa Natureza”, financiado pelo Governo Federal, buscando orientar a ocupação e exploração da Amazônia Legal; de Rondônia como parte do Plano Agropecuário e Florestal do Estado (PLANAFLORO); e Mato Grosso pelo Projeto de Desenvolvimento Agroambiental (PRODEAGRO). Esses últimos, ambos financiados pelo Banco Mundial, foram elaborados com o objetivo de enfrentar problemas socioambientais resultantes da execução do Programa de Desenvolvimento Integrado para o Noroeste do Brasil (POLONOROESTE) que visava asfaltar 1500 km da BR-364, ligando as cidades de Cuiabá a Porto Velho (SANTOS, 2010).

Em 21 de setembro de 1990, o Governo Federal, através do decreto nº 99.540, institui a Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico (CCZEE), como instância interministerial a ser coordenada pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tendo por missão conhecer e avaliar os exercícios de ZEE elaborados no país, tendo a Amazônia como área prioritária. Em 1995, a SAE/PR publica “As fases e as etapas do Zoneamento Ecológico-econômico do território nacional” e, em 1996, juntamente com a Secretaria de Coordenação da Amazônia do ministério do Meio Ambiente (SCA/MMA) publica “Detalhamento da metodologia para execução do Zoneamento

Ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal”, tendo como técnicos responsáveis a Bertha K. Becker e Cláudio A. G. Egler.

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 21 e 43, faz referência ao poder-dever da União em relação ao Zoneamento, permitindo articular sua ação em um mesmo complexo geoeconômico e social, visando ao desenvolvimento e à redução das desigualdades regionais. Em seu artigo 25, institui os Estados, mediante lei complementar, para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum. E, em seu artigo 182, os municípios com mais de vinte mil habitantes a instituírem um Plano Diretor sob o qual está contido o zoneamento, sendo esse o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. Define em seu artigo 225 que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo, para as futuras gerações”.

A lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC e estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação.

Além desses, existem ainda variadas ações de preservação e desenvolvimento de âmbito nacional e regional, tais como: os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas, existentes na Amazônia Legal e no Cerrado; as Políticas de Desenvolvimento Regional (PNDR) e de Defesa (PND); o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC); o Programa Territórios da Cidadania; os Planos de Desenvolvimento Regionais (Marajó, BR-163 e Xingu); o Programa de Regularização Fundiária da Amazônia Legal (Terra Legal), a Lei de Gestão de Florestas Públicas (lei federal nº 11.284/2006), o Programa de Manejo Florestal Comunitário e Familiar (decreto federal nº 6.874/2009) e o Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia (PRDA).

O novo Código Florestal (lei federal nº 12.651/2012), dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, tendo revogado o Código Florestal Brasileiro de 1965, estabelece um prazo de cinco anos (art. 13, §2º) para que todos os Estados elaborem e aprovem seus ZEEs, segundo metodologia unificada estabelecida em norma federal. Esta colaboração se dá através da Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico do Território Nacional (CCZEE) (Decreto nº 28/2001), instância política responsável por planejar, coordenar, acompanhar e avaliar a execução dos trabalhos de ZEE. O apoio técnico advém do Consórcio ZEE Brasil (art. 6º do Decreto 28/2001), composto por quinze

instituições públicas (tais como a ANA, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, EMBRAPA, IBAMA e IBGE), para assessorar a CCZEE e os Estados da Federação, executar trabalhos, elaborar metodologias e orientar a elaboração do termo de referência do ZEE.

As zonas identificadas com certa homogeneidade em função de suas variáveis ambientais, passíveis de serem delimitadas no espaço em uma dada escala, são denominadas de Unidades de Zoneamento Ambiental (UZA), segundo Silva (2003). São determinadas por agrupamentos, no qual as variáveis ambientais (componentes, fatores e atributos) apresentam alto grau de associação e significativa diferenciação entre os grupos. Os componentes ambientais seriam os meios físico e biótico. Os fatores referem-se aos temas utilizados, tais como geologia, solo, uso da terra, dentre outros e; os atributos seriam os dados e informações obtidas de cada fator ambiental. A delimitação dessas zonas leva em consideração, o conceito de organização hierárquica da natureza e a inter-relação entre os fatores ambientais (SILVA, 2003).

Dentre as variadas nomenclaturas de UZA existentes, as mais comuns são: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Controle Ambiental (ACA), Área de Recuperação/Reabilitação Ambiental (ARA), e Área de Expansão Urbana (AEU).

As Áreas de Proteção Ambiental, também conhecida como Área de Preservação Ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA 010, de 14/12/88, “são unidades de conservação, destinadas a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais ali existentes, visando à melhoria da qualidade de vida da população local e também objetivando a proteção dos ecossistemas regionais”.

A lei 9.985/2000 dispõe em seu artigo 15 que a APA é:

[...] uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais, especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

De acordo com Thomas (2012), são áreas que apresentam grandes extensões de vegetação de mata densa e preservada, com maior fragilidade ambiental (maiores declividades), recursos hídricos não degradados, inexistência de aglomerações urbanas e atividades humanas rarefeitas. Presença de maior número de áreas protegidas, como as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

As APPs, de acordo com o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), em seu art. 3º, inciso II, são consideradas “áreas protegidas, 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”. São todas as áreas localizadas nas margens de cursos d’água, de nascentes, acumulações naturais ou artificiais de água, topo de morros e montanhas, encostas acentuadas, chapadas, tabuleiros, dunas, mangues, restingas, dentre outros.

As Áreas de Controle Ambiental (ACA) são áreas com existência de cobertura vegetal e recursos hídricos em bom estado de conservação, com predomínio de atividades agropastoris, presença de aglomerações urbanas de pequeno porte e ausência de atividades com impactos ambientais significativos (THOMAS, 2012).

Nessas áreas, devem ser promovidas a manutenção da cobertura vegetal florestal existente e incentivo à sua ampliação, bem como da qualidade e quantidade das águas, o controle ambiental dos impactos decorrentes de atividades agropecuárias e a exploração sustentável dos recursos naturais.

As Áreas de Recuperação/Reabilitação Ambiental (ARA), para Thomas (2012), são áreas com alteração total da cobertura vegetal (vegetação rarefeita), atividades antrópicas intensas, principalmente relacionadas ao uso da terra (pastagens e culturas), recursos hídricos em estado regular ou ruim de conservação, porém, com possibilidade de reversibilidade dos principais impactos existentes. São áreas cuja vulnerabilidade é média ou baixa, ocorrendo em locais de relevo plano ou suavemente ondulado. Por estar localizada em áreas de topografia pouco acidentada, fica passível de ações antrópicas, sendo necessário tomar medidas para sua recuperação.

As Áreas de Expansão Urbana (AEU) são locais propícios para expansão urbana, atividades agropecuárias, extrativismo vegetal e mineral e a implantação e/ou ampliação da rede viária, sendo aconselhado o uso de técnicas de manejo ecológico sustentável (BIANCHI, 2005). Ainda de acordo com o autor, essa unidade ocorre em áreas de relevo plano, sendo formada por ecossistemas em equilíbrio e ecodinâmica estável, alterada, quase que totalmente, pelos efeitos impactantes da antropização. A exploração dessas áreas deve ser feita de maneira a garantir a perenidade dos recursos naturais e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ambientais de forma socialmente justa e economicamente viável.

2.4. Geotecnologias aplicadas ao zoneamento

Com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, o tratamento de informações geográficas vem se tornando cada vez mais rápido e prático, com o uso de produtos e técnicas em ambiente computacional para representação e armazenamento das informações, sendo amplamente utilizado em áreas de Cartografia, Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA et al., 2001). Ainda de acordo com os autores, as geotecnologias envolvem um conjunto de técnicas computacionais e operações matemáticas voltadas para a coleta e tratamento de informações espaciais, que abrangem Cartografia Digital, Sistemas de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto e GPS, importantes na tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, apresentando um grande potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, onde o conhecimento é adquirido localmente.

Para a manipulação, análise e apresentação de informações espacializadas, são necessárias a utilização de sistemas computacionais específicos, mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Na utilização de um SIG é possível coletar, checar, integrar e analisar dados e informações relacionadas à superfície da Terra, devendo estar todos no mesmo referencial geográfico, para possibilitar a manipulação, comparação e análise (FRANCISCO, 2010).

Câmara et al. (2004) conceituam SIG como “sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica”. Esses dados podem ser oriundos de diferentes fontes, como: imagens de satélite, cartas topográficas, cartas de solo e vegetação, hidrografia, dados de censo, dentre outros, onde cada fonte com seus diferentes atributos são armazenados em um banco de dados, utilizado para gerenciar de maneira estruturada esta grande quantidade de informações (FRANCISCO, 2010).

Para Silva e Santos (2004), SIGs são conjuntos de programas computacionais utilizados para armazenar, analisar, manipular e gerenciar dados geográficos, com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies. Ainda de acordo com os autores, os SIGs podem ser atribuídas diversas funções que estão estreitamente ligadas às atividades necessárias para produzir zoneamentos ambientais, como: representar a maioria de entidades gráficas (linhas, pontos, símbolos, redes, imagens) em coordenadas geográficas ou

cartesianas; gerenciar base de dados alfanuméricos e gráficos; trabalhar com uma grande quantidade de dados; identificar relações topológicas; permitir consultas e simulações em base de dados, podendo gerar mapas; criar documentação alfanumérica; importar e exportar dados; integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de várias fontes (imagens de satélite, dados cartográficos, dados de censo, cadastro, modelos numéricos de terreno); combinar informações, por meio de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo de base de dados geocodificados e georreferenciados, podendo resultar em mapas específicos de acordo com a personalização implementada e com diferentes representações gráficas e possibilitar a automação da atualização e revisão do material produzido.

A aquisição de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (satélites), se tornou o meio mais fácil, rápido e de baixo custo, uma vez que muitos deles são financiados por instituições públicas. Essa tecnologia de aquisição, à distância, de dados da superfície terrestre é chamada de Sensoriamento Remoto, onde o sensor capta a energia refletida ou emitida pela superfície em diferentes comprimentos de onda ou frequência (FLORENZANO, 2008).

Um conjunto de sistemas de satélite atualmente em operação inclui o SPOT (França), o *Landsat* (EUA) e o IRS (Índia). Um exemplo sintomático é o *Landsat* ETM, um mapeador temático realçado, o qual, ao incluir um canal pancromático, passou a ter uma resolução espacial melhorada para 15 metros, e, desde que retornou ao financiamento público, a aquisição de cenas tornou-se bem mais barata. A sua largura de banda espectral torna-o utilizável para muitas aplicações e solução de problemas, sendo que os dados arquivados até 1982 o transformaram na ferramenta ideal para a utilização em programas de monitoramento. Com um tamanho de cena de 185×185 km, essas imagens fornecem uma maior cobertura regional, tendo assim, uma atrativa relação custo-benefício. No entanto, a limitação da resolução espacial devida à tecnologia do sensor óptico-eletrônico e da altitude de imageamento, não permite sua utilização para aplicações em regiões urbanas e com elevadas exigências de precisão (BLASCHKE e KUX, 2007).

De acordo com Florenzano (2008), há uma variedade de dados e técnicas de sensoriamento remoto que fornecem níveis de informação sem precedentes. A autora relata que os avanços tecnológicos dos novos sensores remotos, que produzem imagens com melhores resoluções espaciais (capacidade para discriminar objetos em função do tamanho deste), resolução espectral (capacidade para discriminar objetos em função da sensibilidade

espectral), resolução radiométrica (discriminação das intensidades de energia refletida ou emitida pelos objetos) e resolução temporal (frequência de imageamento sobre uma mesma área), além do recurso estereoscópico (imagens em três dimensões), permitem mapear, medir e estudar uma variedade de fenômenos espaciais com maior rapidez e precisão.

Dados obtidos de pares estereoscópicos digitais por sensores ópticos e dados topográficos orbitais de radar interferométrico, como os da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), permitem visualizar o espaço em três dimensões e, com o uso de SIG, obter, de forma automática, variáveis morfométricas (altitude, declividade, orientação de vertentes, etc.) que são essenciais nos estudos geomorfológicos (FLORENZANO, 2008).

2.4.1. Técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI)

As técnicas de processamento de imagens digital consistem em operações ou transformações numéricas aplicadas nas imagens, podendo ser agrupadas em três conjuntos: pré-processamento, técnicas de realce de imagens e técnicas de classificação de imagens (FLORENZANO, 2008).

Segundo a autora, o “pré-processamento refere-se ao tratamento preliminar dos dados brutos, com a finalidade de calibrar a radiometria da imagem, atenuar os efeitos da atmosfera, remover ruídos, corrigir suas distorções geométricas, por meio de georeferenciamento e reamostragem”.

As técnicas de realce de imagens tem a finalidade de melhorar a sua qualidade visual e facilitar o trabalho de interpretação. Algumas técnicas aplicadas ao estudo geomorfológico são (FLORENZANO, 2008):

- **Aplicação linear de contraste:** para destacar feições e unidades geomorfológicas, através da expansão da distribuição de dados originais para todo o intervalo possível;
- **Composições coloridas:** associação de duas ou três imagens em níveis de cinza às cores primárias azul, verde e vermelho;
- **Fusão de imagens:** reunir em uma única imagem a informação de três imagens obtidas em diferentes faixas espectrais, datas ou mesmo por diferentes tipos de sensores, obtendo novas imagens que combinam as melhores características espectrais das imagens originais.

As técnicas de classificação de imagens digitais, de acordo com Florenzano (2008), “visam o reconhecimento automático de objetos, em função de determinado critério de decisão, agrupando em classes os objetos que apresentam similaridade em suas respostas espectrais”. O resultado de uma classificação digital de imagens é um mapa temático, no qual cada *pixel* ou grupo de *pixels* (quando é feita a segmentação para dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas) da imagem original é classificado em uma das classes definidas, afirma a autora. Essa classificação pode ser supervisionada (onde o analista deve fornecer amostras espectralmente representativas, mas não necessariamente homogêneas, das classes), ou não supervisionada (onde as classes não são predeterminadas, e, por isso o analista tem pouco controle sobre o estabelecimento das classes).

Para a classificação supervisionada de imagens, é necessário fazer a análise e interpretação dessas. O método de classificação de Máxima Verossimilhança é o mais usado no sensoriamento remoto, o qual considera as correlações entre canais espectrais (BLASCHKE e KUX, 2007). As imagens obtidas por sensoriamento remoto são interpretadas com base em: tonalidade/cor, textura (impressão de rugosidade), tamanho, forma, sombra, altura, padrão (arranjo espacial dos objetos), localização e contexto (FLORENZANO, 2008). De modo geral, segundo a autora, formas irregulares são indicadoras de objetos naturais, enquanto formas geométricas indicam objetos culturais, construídos pelo homem.

Na interpretação de imagens, é importante elaborar “chaves de interpretação”, que são conjuntos de elementos de interpretação que caracterizam um determinado objeto. Florenzano (2008) apresenta algumas chaves de interpretação de objetos (Quadro 1).

QUADRO 1 – Chaves de interpretação de objetos e feições

Objeto	Chave de interpretação
Área urbana	Cor magenta; textura ligeiramente rugosa; forma irregular; localização junto de rodovias.
Solo exposto	Cor magenta (dependendo do tipo de solo, podendo ser bem claro, tendendo ao branco); textura lisa; forma regular; localização junto de áreas urbanas ou áreas agrícolas.
Área de mata/ capoeira	Cor verde-escuro; textura rugosa; forma irregular.
Corpos d’água (rios, lagos, represas e oceano)	Cor azul (material em suspensão) ou preta (água limpa); textura lisa; forma irregular, linear retilínea ou curvilínea para rios.
Área desmatada	Cor margenta (solo preparado ou cultura colhida), verde-claro (cultura em estágio inicial) e verde mais forte (cultura sadia e madura); textura lisa; forma regular/geométrica; padrão de talhões (divisão em parcelas); presença de sombras (áreas escuras) em culturas mais altas.
Área agrícola	Cor magenta; textura lisa; forma regular.

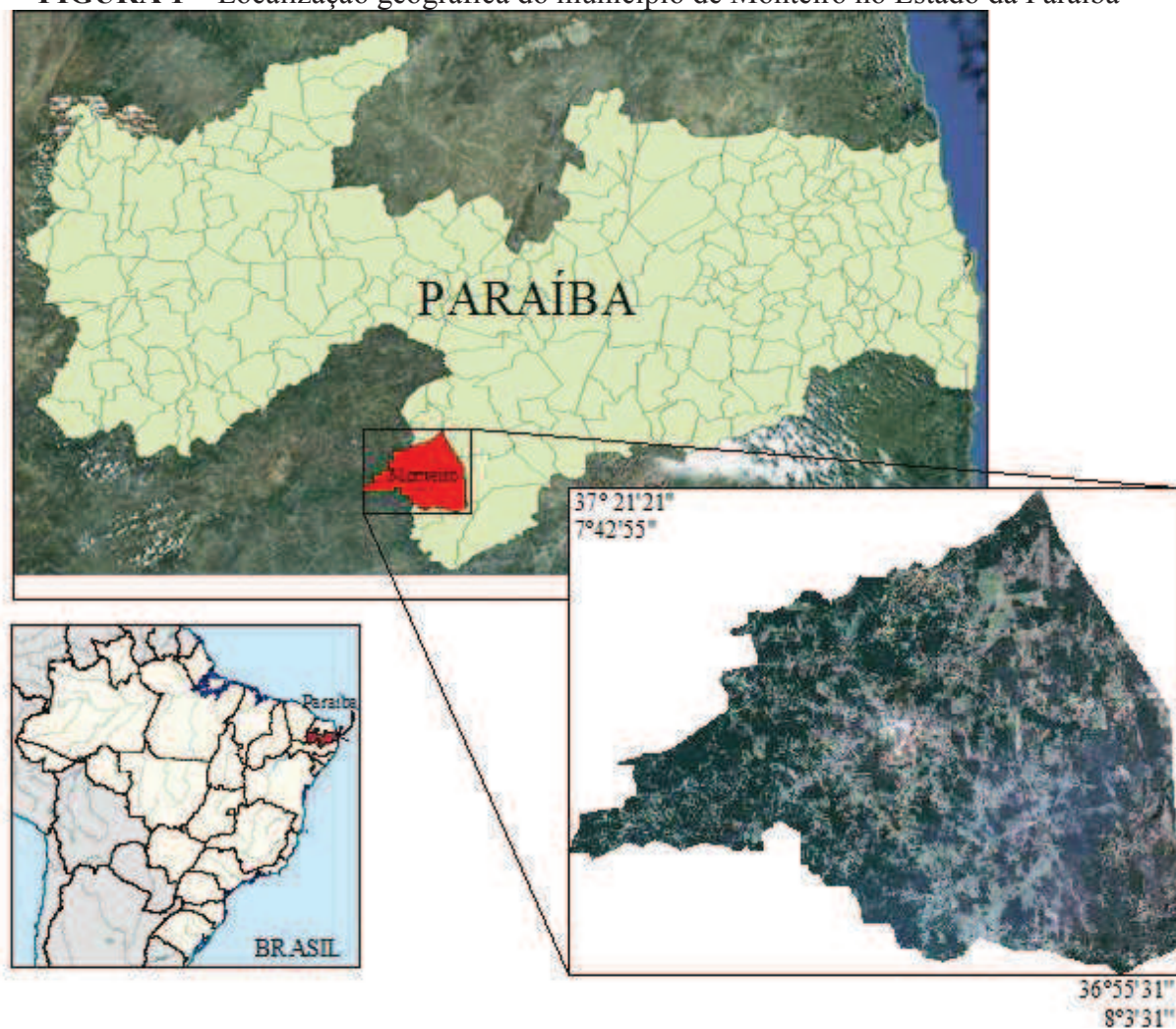
FONTE: Adaptado de Florenzano (2008)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O município de Monteiro está localizado na Microrregião do Cariri Ocidental Paraibano e na Mesorregião da Borborema, no Estado da Paraíba, mais precisamente entre as coordenadas geográficas 37°21'21"O e 7°42'55" O e 36°55'31" S e 8°3'31" S (Figura 1). O município possui uma área de 986 km², representando 1,75% da área total do Estado da Paraíba (IBGE, 2010).

FIGURA 1 – Localização geográfica do município de Monteiro no Estado da Paraíba



FONTE: Autor (2014)

O município de Monteiro apresenta predominância de solos Luvisolos (EMBRAPA, 1999), com altitude variando entre 530 a 1079 metros. O clima na região é do tipo semiárido, com temperatura média anual é de 23,7 °C e precipitação média anual de 736 mm para os últimos 50 anos (ALVES et al., 2013). A vegetação que recobre a região estudada é a caatinga hiperxerófila (vegetação caducifólia espinhosa), com trechos de floresta caducifólia, sendo a *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (*Fabaceae*), conhecida como catingueira, a de maior frequência e maior dominância e *Croton rhamnifolioides* Pax & Hollm. (*Euphorbiaceae*), conhecido popularmente como quebra faca ou caatinga branca, a maior densidade e maior índice de valor de importância e cobertura, cuja altura predominante é 4,1 a 6 m e o diâmetro 3 a 6 cm (PEREIRA JÚNIOR et al., 2012).

3.2. Elaboração do Zoneamento Ambiental

Para a elaboração do Zoneamento Ambiental, foram adotadas a metodologia descrita por Crepani et al. (2008) e outra análoga utilizando a estimativa de perda de solo gerada a partir da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

A metodologia adotada por Crepani et al. (2008) faz análise de aptidão agrícola que não foi feita nessa área de estudo, pois a região apresenta déficit para produção agrícola por não apresenta precipitação em vários meses do ano, o que representa pouca contribuição para o armazenamento de água no solo, conforme demonstrou Alves et al. (2013).

Para o desenvolvimento dos ZA's, foi necessária a utilização de uma base de informações envolvendo:

- Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas disponibilizados pelo projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) provindos da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 m, estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude;
- Dados espaciais nos formatos *shapefile* disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A), referentes à drenagem principal, açudes, rodovias e limite municipal;
- Mapa geológico adquirido junto à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2005) responsáveis por atividades de mapeamentos geológicos em esfera nacional, em escala 1:200.000;

- Mapa pedológico disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), chamado “Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba”.
- Imagens orbitais do sensor/satélite TM/*Landsat-5*, referentes à órbita e pontos 215/65 e 215/66, das datas de 09 de maio de 1987 e 24 de maio de 2010, obtidas junto ao INPE.
- Dados pluviométricos obtidos através de estimativas geradas pelo *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), obtidas pelo método 3B42(V7), originados de valores diários de 16 pontos georreferenciados obtidos para o período de 01 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2013, com resolução espacial de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$.
- Dados mensais de 12 postos pluviométricos obtidos através da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Pernambucana de Águas e climas (APAC).

O banco de dados adquirido para o desenvolvimento da pesquisa foi constituído com base em técnicas de sensoriamento remoto e SIG, além de várias cartas temáticas (Geologia, Geomorfologia, Solos, Uso da Terra e Cobertura Vegetal, Hidrografia) e dados climáticos. A partir desses dados, foi gerado o fluxograma com os Mapas de Perda de Solo (Vulnerabilidade e Estimativa) (a), Mapa de Áreas de Preservação Permanente (b), e os Mapas de Zoneamento Ambiental e de Gestão Territorial (c) (Figura 2).

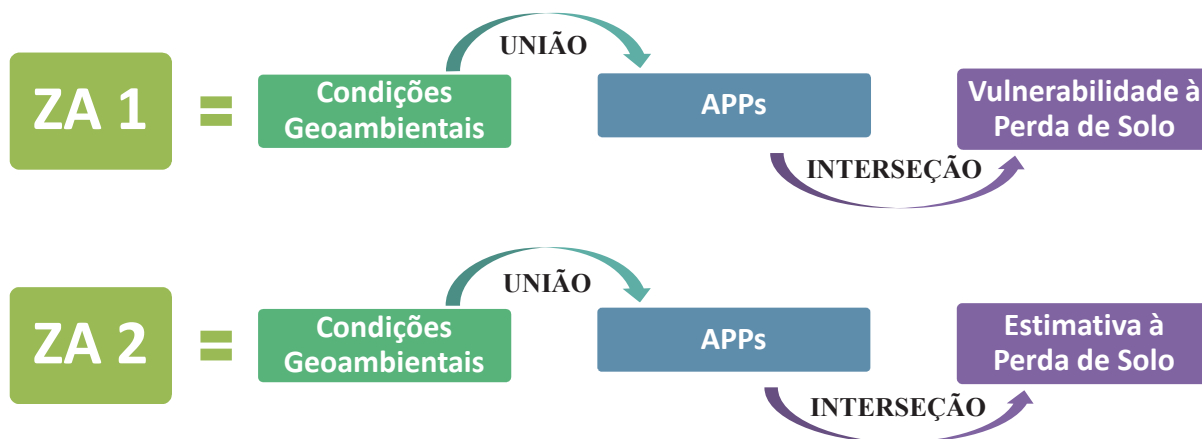
FIGURA 2 – Fluxograma da metodologia adotada



FONTE: Autor (2014)

A Figura 3 mostra o fluxograma das propostas para a elaboração de ZA para o município de Monteiro, Paraíba.

FIGURA 3 – Fluxograma das propostas para a elaboração de ZA para o município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

Para a elaboração dos dois mapas de ZA foram necessários gerar quatro mapas:

1. Mapa de Área de Preservação Permanente (APPs), comuns para os dois ZA;
2. Mapa de uso e ocupação do solo, comuns para os dois ZA;
3. Mapa de vulnerabilidade à perda de solo segundo a metodologia do Crepani *et al.* (2008);
4. Mapa de estimativa à perda de solo utilizando como base a EUPS.

3.2.1. Delimitação das Área de Preservação Permanente (APPs)

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram delimitadas considerando o previsto no Novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), tendo como parâmetros, dentre outros:

- ✓ 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:
 - 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;

- ✓ Áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais;
- ✓ Áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;
- ✓ Encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
- ✓ Topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.

A delimitação das faixas marginais dos cursos d'água foi feita através do *shapefile* da rede de drenagem do município disponibilizado pela AESA, utilizando a ferramenta “*buffer*” do ArcGis, com largura de 30 e 50 metros para cursos d'água de menos de 10 e 30 metros de largura, respectivamente. Essa mesma ferramenta foi utilizada também para delimitar as áreas no entorno dos reservatórios e das nascentes e olhos d'água, utilizando a largura de 50 metros.

Na área de estudo, não existe encostas, cujas declividades são acima de 45°. As áreas de topo de morros e montanhas foram feitas conforme metodologia adotada por Gasparini (2011) (Figura 4). Inicialmente foi necessário eliminar as depressões com valores de células inexistentes (espúrias) e que impedem os cálculos de direção de fluxo do terreno.

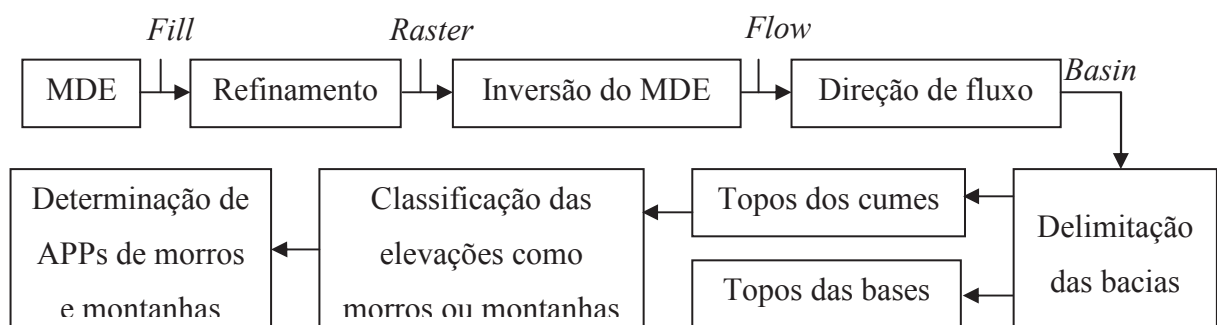
Em seguida, foi necessário inverter o MDE para que os pontos de topos se tornem fundos de vale e vice-versa. Com o MDE invertido (cumes), foi gerado o *raster* de direção de escoamento, e, sequencialmente, delimitada as bacias de drenagem relativas a este escoamento invertido e criada uma tabela de atributos. Através dos cumes e das bacias invertidas, obteve-se os cumes máximos (cumes_{max}). De maneira semelhante, utilizou-se o MDE preenchido e bacias invertida para determinar a altura da base.

Posteriormente, foi feita a classificação do terreno em morros ou montanhas, com base nos critérios da legislação, a qual afirma que, para ser considerado um morro, a elevação necessita ter pelo menos 50 m de altura e menos de 300 m e encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade, ou então, mais de 300 m para ser considerada como uma montanha.

Esse arquivo gerado foi convertido em inteiros e transformado em formato vetorial de pontos. Em seguida, realizou-se um “*Buffer*” com distância de 249,5 m, unindo o arquivo de

pontos e o arquivo obtido do *Buffer*. Uniu-se também o arquivo de pontos e o arquivo obtido da união anterior, sendo este convertido de vetor para *raster*. A partir desse arquivo, foram calculadas as áreas máximas dos topos de morros, tomando como limite as bacias invertidas. Por fim, obteve-se a delimitação das APPs de topo de morro.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia para delimitação das APPs de morros e montanhas



FONTE: Adaptado de Oliveira e Fernandes Filho (2013)

3.2.2. Elaboração de mapa de uso e ocupação do solo

Para gerar o mapa de uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens de satélites do sensor/satélite TM/*Landsat-5*, do referido município, adquiridas junto ao catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), referentes à órbita e pontos 215/65 e 215/66. Com a necessidade de se analisar a evolução espaço-temporal das classes de uso e ocupação do solo, foi imprescindível a aquisição de imagens de satélites com passagem em décadas diferentes e sem a presença de nuvens na área de estudo. Assim, foram escolhidas as imagens de 9 de maio de 1987 e 24 de maio de 2010. Essas imagens foram georreferenciadas utilizando pontos de controle em campo, recortadas a partir de um *shapefile* do limite do município, seguida da composição colorida das bandas, utilizando as bandas 7(R), 4(G) e 1(B), em seguida foi aplicado o contraste linear, para uma melhor definição dos objetos contidos nas imagens. Posteriormente, foi realizada a classificação das imagens utilizando a classificação supervisionada, usando o método da Máxima Verossimilhança. Esse método utiliza a aquisição de amostras de pixels para cada classe de uso e ocupação do solo identificadas em ambas as imagens. Nas duas imagens da área de estudo foram classificadas seis classes temáticas de uso e ocupação do solo, segundo critérios de porte arbóreo e de ocupação do solo: Vegetação Arbórea (a), Vegetação Arbustiva (b), Vegetação Arbustiva-Arbórea (c), Água (d), Solo Exposto (e) e Urbano (f).

3.2.3. Análise da vulnerabilidade à perda de solo

A análise da predisposição do meio físico frente a fatores ambientais (vulnerabilidade) foi realizada através da sobreposição de mapas temáticos referentes à geologia, pedologia, geomorfologia, cobertura vegetal e uso da terra e climatologia.

Para cada tema, as classes que compõem a unidade de paisagem foram associadas à valores que indicam o seu grau de vulnerabilidade à perda de solo, sendo utilizadas 21 cores obtidas a partir da combinação das três cores primárias (azul, verde e vermelho), de modo que foi associado a cada classe de vulnerabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor de maior estabilidade (1,0) se associa a cor azul, ao valor de estabilidade intermediária (2,0) se associa a cor verde e ao valor de maior vulnerabilidade (3,0), a cor vermelha, segundo a metodologia de Crepani et al. (2008).

Após atribuídos valores para todas as classes, de todos os mapas temáticos, é realizada a integração desses mapas usando álgebra de mapas em ambiente SIG, para gerar as classes de vulnerabilidade à perda do solo, por meio da equação (3.1):

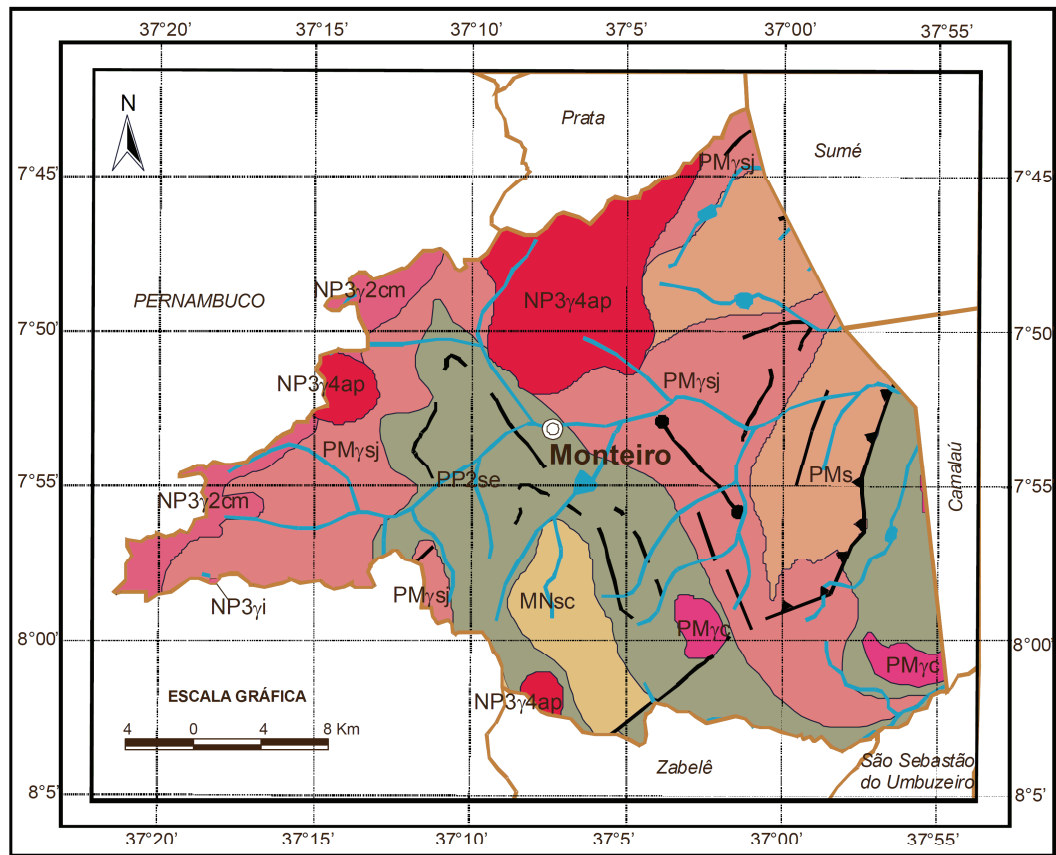
$$V = \frac{G + R + S + Vg + C}{5} \quad (3.1)$$

em que: V = vulnerabilidade da unidade de paisagem; G = vulnerabilidade geológica; R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia; S = vulnerabilidade para o tema Pedologia; Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação/Uso da Terra; C = vulnerabilidade para o tema Clima.

3.2.3.1. Análise da vulnerabilidade geológica

Para a análise da vulnerabilidade da Geologia, adquiriu-se o mapa geológico (Figura 5) junto à CPRM, responsável por atividades de mapeamentos geológicos em esfera nacional, em escala 1:200.000. Esse mapa foi georreferenciado e vetorizado, utilizando como referência o mapa político do município de Monteiro, Paraíba. A partir do mapa geológico, atribuiu-se escalas de vulnerabilidade à perda do solo relacionada à denudação (intemperismo + erosão), segundo valores definidos por Crepani et al. (2008), com base nas rochas mais comumente encontradas na crosta terrestre (Quadro 2).

FIGURA 5 – Mapa geológico do município de Monteiro, Paraíba



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Neoproterozóico

- NP3γ4ap** Suíte calcialcalina de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfirítico associado a diorito (588 Ma U-Pb);
- NP3γ2cm** Suíte calcialcalina de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfirítico associado a diorito (588 Ma U-Pb);
- NP3γi** Granitóides indiscriminados: granito, granosiorito, monzogranito

Mesoproterozóico

- MNsc** Complexo Surubim-Carolina: xisto, gnaiss, quartzito e metacarbonato

Paleoproterozóico

- PMγc** Suíte Camalaú: ortognaiss tonalítico-trondhjemitico-granítico e sienítico
- PMγsj** Complexo Serra de Jabiatá: ortognaiss e migmatito tonalítico-granodiorítico
- PMs** Complexo Sumé: leucognaiss trondhjemitico paragnaiss, metamáfica/metaultramáfica e anfibolito (retroeclogito)
- PP2se** Complexo Sertânia: gnaiss, mármore, quartzito, metavulcânica máfica (2100 Ma U-Pb)

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato geológico
- Falha ou fratura
- Falha ou Zona de Cisalhamento Contracional
- Lineamentos estruturais (Traços de Superfícies)
- Dique

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Sede Municipal
- Rodovias
- Limites Intermunicipais
- Rios e riachos
- Açude/barragem

FONTE: CPRM (2005)

QUADRO 2 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns e sua propensão ao risco

Tipo de rochas	Vulnerabilidade	Propensão ao risco
Quartzitos ou metaquartzitos	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, Anfíbolito, Kimberlito, Dunito	1,8	Medianamente estável/instável
Hornblenda, Tremolita, Actinolita, Xisto	1,9	
Estauroлита xisto, Xistos granatíferos	2,0	
Filito, Metassilito	2,1	
Ardósia, Metargilito	2,2	
Mármore	2,3	Moderadamente instável
Arenitos quartzosos, ou Ortoquartzitos	2,4	
Conglomerados, Subgrauvacas	2,5	
Grauvacas, Arcózios	2,6	
Siltitos, Argilitos	2,7	Instável
Folhelhos	2,8	
Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9	
Sedimentos inconsolidados: aluviões, colúvios etc.	3,0	

FONTE: Adaptado de Crepani et al. (2008)

3.2.3.2. Análise da vulnerabilidade geomorfológica

Para estabelecer os valores da escala de vulnerabilidade para as unidades de paisagem com relação à Geomorfologia, foram analisados, segundo Crepani et al. (2008), os seguintes índices morfométricos: dissecação do relevo pela drenagem (amplitude interfluvial), amplitude altimétrica e declividade.

A intensidade de dissecação do relevo está diretamente relacionada com a amplitude dos interflúvios, compreendida como sendo a distância entre os canais de drenagem (GOIS, 2010), em que quanto maior for essa amplitude (ou menor a intensidade de dissecação), menor são os valores atribuídos às unidades geomorfológicas na escala de vulnerabilidade, ou seja, são atribuídos valores mais próximos de 1,0 e vice-versa. Assim, a espacialização foi obtida a partir do *shapefile* da drenagem principal do município, disponibilizados pela AESA, cujas amplitudes definidas por Crepani et al. (2008), foram aplicadas às margens dos cursos d'água, utilizando o comando *buffer* do *software* ArcGis 9.3 (Quadro 3).

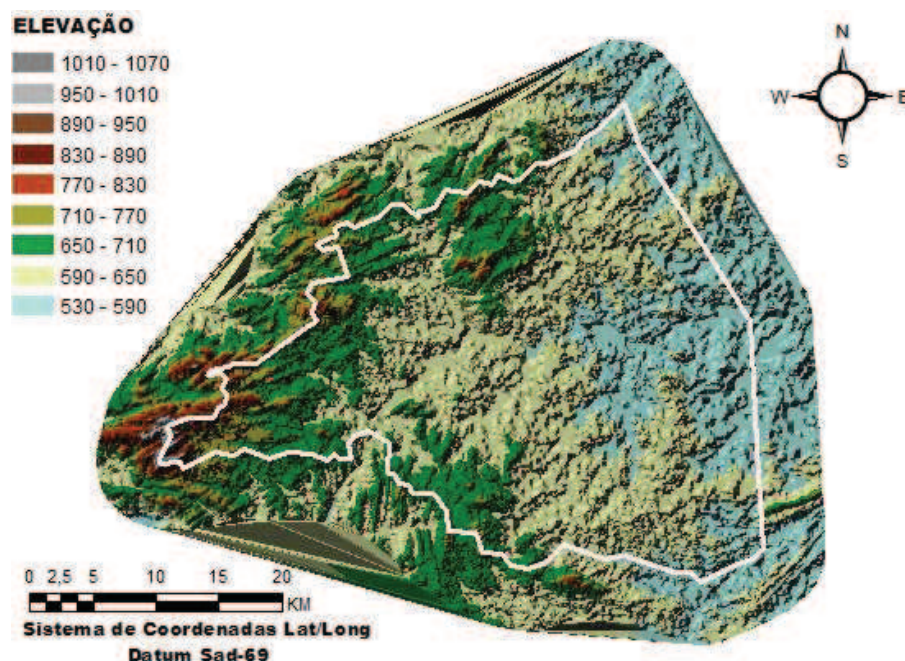
QUADRO 3 – Escala de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo (amplitude interfluvial) e sua propensão ao risco

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

FONTE: Adaptado de Crepani et al. (2008)

Os mapas hipsométrico (altimetria) e clinométrico (declividade) foram obtidos a partir do MDE do município (Figura 6), disponibilizados pelo projeto TOPODATA do INPE, cujos dados são estruturados em quadriculas compatíveis com a articulação 1:250.000, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude. Para área em estudo, foi necessário adquirir os dados de duas folhas, sendo elas 07s375 e 08s375, onde os dois primeiros dígitos se referem à latitude, o terceiro dígito refere-se ao hemisfério e os três últimos dígitos referem-se à longitude. A partir da aquisição desses dados, foi feito o mosaico e o recorte a partir do *shapefile* do limite do município e, em seguida, reclassificado segundo valores atribuídos por Crepani et al. (2008). Os valores atribuídos para a vulnerabilidade à amplitude altimétrica e a declividade estão apresentados nos Quadros 4 e Quadro 5.

FIGURA 6 - Grade triangular do modelo digital de elevação do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

QUADRO 4 – Escala de vulnerabilidade referente à amplitude altimétrica e sua propensão ao risco

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

FONTE: Adaptado de Crepani et al. (2008)

QUADRO 5 – Escala de vulnerabilidade referente à declividade e sua propensão ao risco

Declividade		Vulnerabilidade	Propensão ao risco
Graus	Porcentagem		
< 2	< 3,5	1,0	Estável
2 – 3,3	3,5 – 5,8	1,1	
3,3 – 4,6	5,8 – 8,2	1,2	
4,6 – 5,9	8,2 – 10,3	1,3	
5,9 – 7,3	10,3 – 12,9	1,4	Moderadamente estável
7,3 – 8,6	12,9 – 15,1	1,5	
8,6 – 9,9	15,1 – 17,4	1,6	
9,9 – 11,2	17,4 – 19,8	1,7	
11,2 – 12,5	19,8 – 22,2	1,8	Medianamente estável/instável
12,5 – 13,8	22,2 – 24,5	1,9	
13,8 – 15,2	24,5 – 27,2	2,0	
15,2 – 16,5	27,2 – 29,6	2,1	
16,5 – 17,8	29,6 – 32,1	2,2	
17,8 – 19,1	32,1 – 34,6	2,3	Moderadamente instável
19,1 – 20,4	34,6 – 37,2	2,4	
20,4 – 21,7	37,2 – 39,8	2,5	
21,7 – 23,0	39,8 – 42,4	2,6	
23,0 – 24,4	42,4 – 45,3	2,7	Instável
24,4 – 25,7	45,3 – 48,1	2,8	
25,7 – 27	48,1 – 50	2,9	
> 27	> 50	3,0	

FONTE: Adaptado de Crepani et al. (2008)

Após a determinação dos valores de vulnerabilidade referente a cada índice morformétrico (dissecação do relevo, altimetria e declividade), a vulnerabilidade com relação à Geomorfologia pode ser definida por:

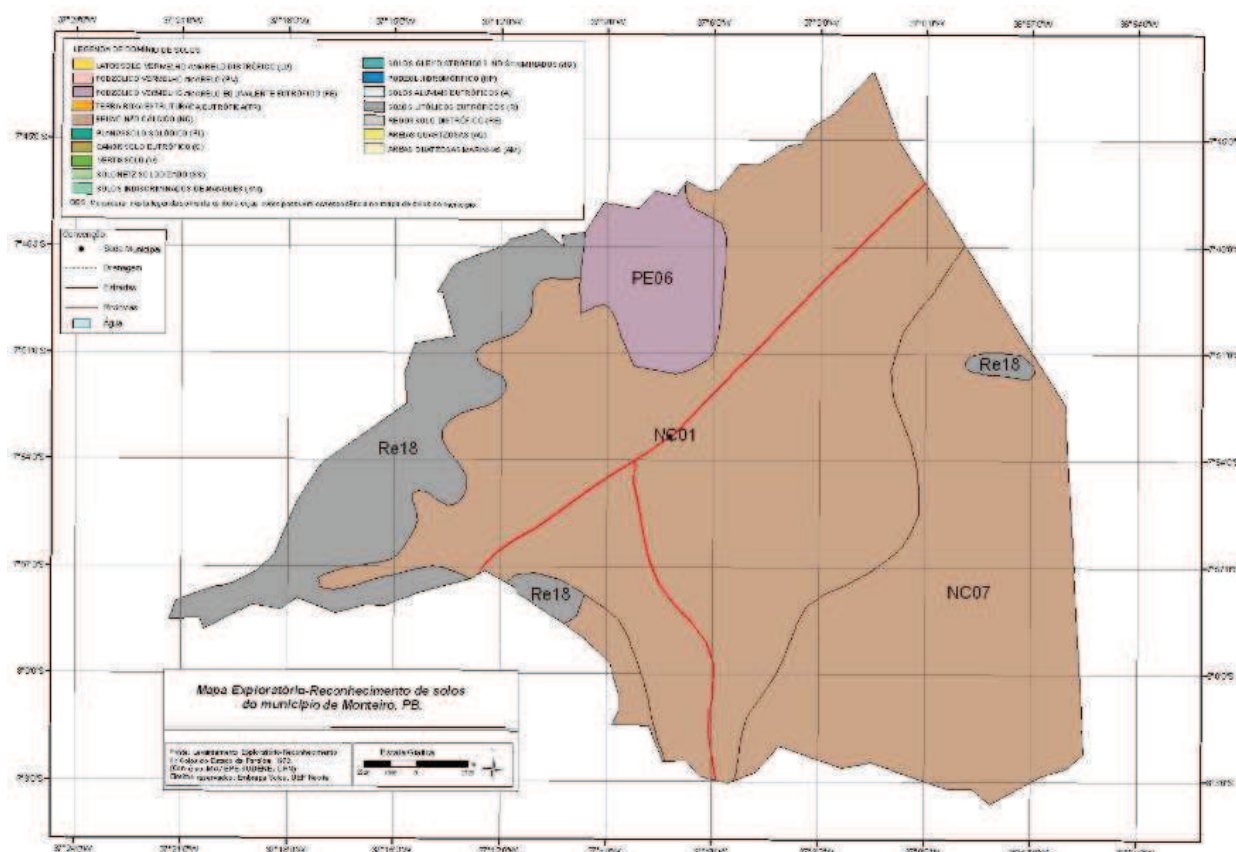
$$R = \frac{G + A + D}{3} \quad (3.2)$$

em que: R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia; G = vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação; A = vulnerabilidade atribuída à Altimetria; D = vulnerabilidade atribuída à Declividade.

3.2.3.3. Análise da vulnerabilidade pedológica

Para a análise da vulnerabilidade do solo (análise pedológica), foi realizada uma ponderação em função da proporção dos componentes das associações de solos, atribuindo valores de vulnerabilidade aos principais tipos de solos. A base pedológica de referência neste estudo foi o “Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba” (Figura 7) disponibilizado pela EMBRAPA (1999), sobre o qual foi feito o georreferenciamento e a vetorização dos polígonos para cada tipo de solo, para depois reclassificá-lo, segundo a escala de vulnerabilidade estabelecida por Crepani et al. (2008), conforme Quadro 6.

FIGURA 7 - Tipos de solos do município de Monteiro, Paraíba



Fonte: EMBRAPA (1999)

QUADRO 6 – Valores de vulnerabilidade dos solos incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solos da Embrapa

Classe de solos	Sigla	Classificação dos solos (EMBRAPA)	V*
Latossolos Amarelos	LA	Latossolos Amarelos	1,0
Latossolos Vermelho-Amarelos	LV	Latossolos Vermelho-Amarelos	
Latossolos Vermelho-Escuros	LE	Latossolos Vermelhos	
Latossolos Roxos	LR	Latossolos Vermelhos	
Latossolos Brunos	LB	Latossolos Brunos	
Latossolos Húmicos	LH	Latossolos (...) Húmicos	
Latossolos Húmicos Brunos	LBH	Latossolos Bruno (...) Húmicos	
Podzólicos Amarelos	PA	Argissolos	2,0
Podzólicos Vermelho-Amarelos	PV	Argissolos Luvisolos Alissolos	
Podzólico Vermelho-Escuros	PE	Nitossolos	
Terras Roxas Estruturadas	TR	Argissolos Nitossolos	
Brunos Não-cálcicos	NC	Luvisolos	
Brunizéns	B	Chernossolos	
Brunizéns Avermelhados	BA		
Rendzinas	RZ		
Planossolos	PL	Planossolos	
Solos Hidromórficos (abrupticos)	HI		
Podzóis	P	Espodossolos	
Cambissolos	C	Cambissolos	
Solos Litólicos	R	Neossolos Litólicos	3,0
Solos Aluviais	A	Neossolos Flúvicos	
Regossolos	RE	Neossolos Regolítico	
Areias Quartzosas	A	Neossolos Quartzarênicos	
Vertissolos	V	Vertissolos	
Solos Orgânicos	HO	Organossolos	
Solos Hidromórficos (não abrupticos)	HI	Gleissolos	
Glei Húmico	HGH	Gleissolos Plintossolos	
Glei Pouco Húmico	HGP		
Plintossolos	PT	Plintossolos	
Laterita Hidromórfica	LH		
Solos Concrecionários Lateríticos	CL		
Afloramento Rochoso	AR	Afloramento Rochoso	

* Valor da Vulnerabilidade

FONTE: Adaptado de Crepani et al. (2008)

3.2.3.4. Análise da vulnerabilidade da cobertura vegetal e do uso da terra

Para a análise da vulnerabilidade da cobertura vegetal e do uso da terra foi utilizado o mapa de uso e ocupação do solo do município que foi reclassificado segundo critérios de vulnerabilidade, onde, segundo Crepani et al. (2008), áreas com alta densidade de cobertura vegetal, recebem menores valores de vulnerabilidade, e vice-versa.

3.2.3.5. Análise da vulnerabilidade climatológica

De acordo com Crepani et al. (2008), as principais características físicas da chuva envolvidas nos processos erosivos são: a quantidade ou pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal. Os autores afirmam que dentre as três características é especialmente importante se conhecer a intensidade pluviométrica porque representa uma relação entre as outras duas (quanto chove/quando chove), resultado que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética.

O valor da Intensidade Pluviométrica (I_p) para uma determinada área foi obtido dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso, em meses (CREPANI et al., 2008). A Duração do Período Chuvoso (D_{pc}) foi obtida dividindo-se o número de dias com chuva no ano por 30, transformando-o, em meses. Assim, o cálculo do valor de I_p para cada grade do TRMM/estação pluviométrica foi calculado pela equação (3.3):

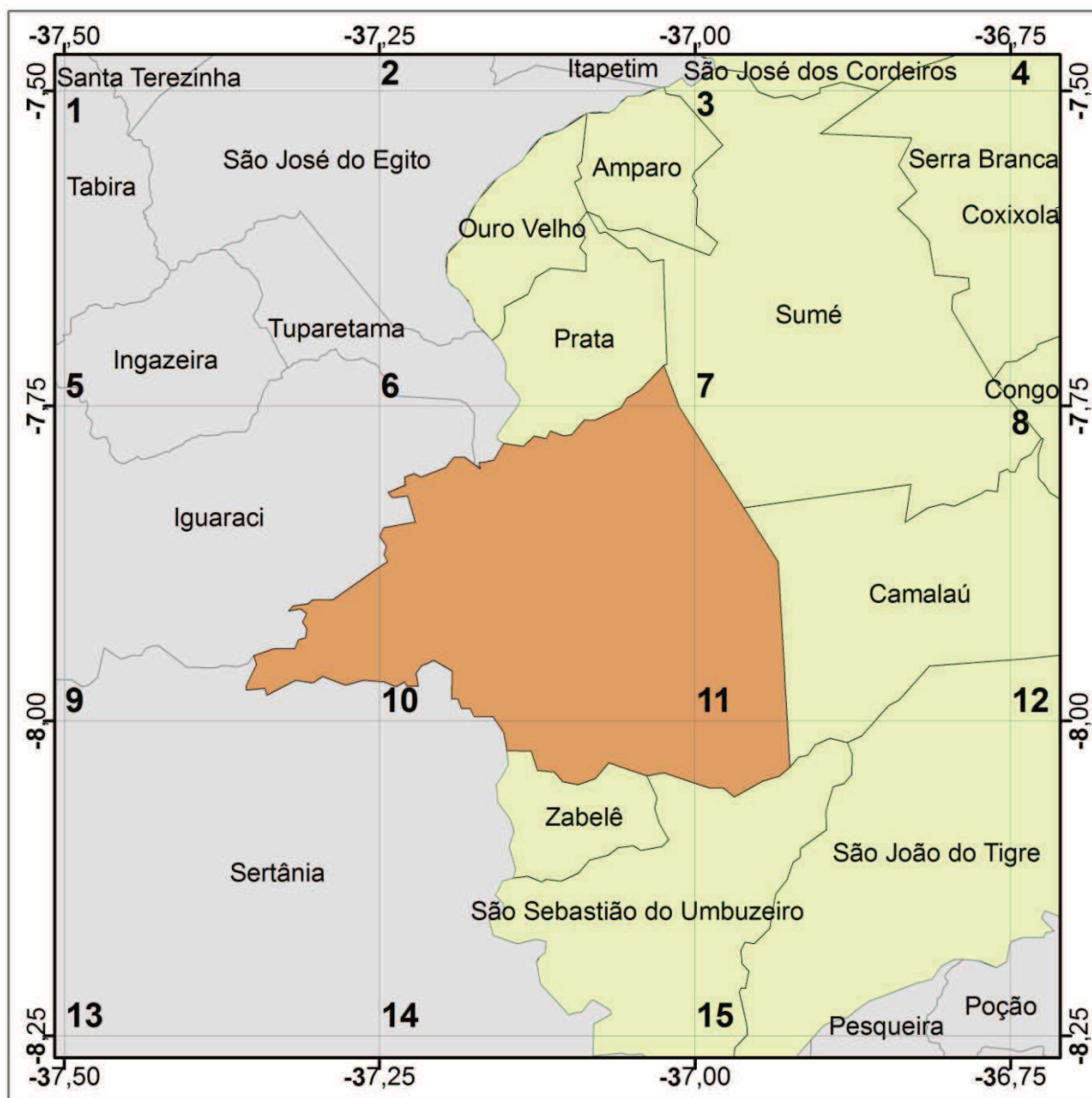
$$I_p = \frac{P_m}{D_{pc}} \quad (3.3)$$

em que: I_p = intensidade pluviométrica, P_m = precipitação média anual, e D_{pc} = número de dias com chuva e dividido por 30.

Os dados pluviométricos da região foram obtidos através de estimativas geradas pelo TRMM, pelo método 3B42(V7), originados de valores diários das células de 16 pontos georreferenciados, a partir discretização dada pela grade de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (Figura 8), obtidos para o período de 01 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2013, sendo disponibilizado pelo sensor a partir desse período. Esse estudo foi feito com dados anuais, sendo necessário obter os dados de todos os meses do ano. Como o ano de 2014 está incompleto, não se adquiriu dados referentes a esse ano.

Foram obtidos também dados de 12 postos pluviométricos, sendo três no município de Monteiro e seis situados nas proximidades da região estudada (Sertânia, Sumé, Prata, Camalaú, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Afogados do Ingazeira, Igaraci e São José do Egito) obtidos junto a AESA, INMET e APAC.

Figura 8 – Células da grade do TRMM com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$



FONTE: Autor (2014)

Para a obtenção do mapa climatológico foram utilizados dados da precipitação média anual obtidos dos 16 pontos de grade do TRMM e dos postos pluviométricos, sendo realizado um comparativo desses dados. Em seguida, calculou-se o D_{pc} , em meses, somando os dias com chuva para cada ano e dividindo por 30. Esse cálculo foi realizado apenas com os dados do TRMM, uma vez que não foi possível obter dados diários de chuva em postos pluviométricos no período de estudo. Em seguida, obteve-se a intensidade pluviométrica de cada grade do TRMM sobre a área de estudo, sendo este o dado utilizado.

O mapa climatológico foi elaborado através da técnica de interpolação de dados utilizando o método do inverso da potência da distância (IDW), com expoente dois, que recebe a denominação de inverso do quadrado da distância (IQD), realizando a estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos a cada um dos n postos mais próximos, ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior o peso atribuído ao ponto amostrado (GARDIMAN JÚNIOR et al., 2012).

Posteriormente, obteve-se o mapa de vulnerabilidade à perda do solo relacionado à climatologia do município, reclassificando os valores de intensidade pluviométrica a partir da escala estabelecido por Crepani et al. (2008) (Quadro 7).

QUADRO 7 – Escala de vulnerabilidade referente à Intensidade Pluviométrica (I_p) e sua propensão ao risco

I_p (mm/mês)	Vulnerabilidade	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	
> 520	3,0	

FONTE: Adaptado de Crepani et al. (2008)

3.2.4. Estimativa de Perda de Solo

Para a estimativa das perdas de solo utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS). A EUPS foi desenvolvida por Wischmeier e Smith, no *National Runoff and Soil Loss Data Center* e pela *Agricultural Research Service* em colaboração com a *Perdue University* (EUA) e revisada por Wischmeier e Smith (1978), incorporando novos dados, sendo descrita pela seguinte equação (3.4):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (3.4)$$

em que: “A” = perda de solo (ton/ha.ano); “R” = fator de erosividade das chuvas (Mj.mm/ha.h.ano); “K” = fator de erodibilidade do solo (ton.h/Mj.mm); “L” = fator comprimento de rampa (m); “S” = declividade (%); “C” = fator uso e manejo (adimensional) e “P” = fator práticas conservacionistas (adimensional).

O fator de erosividade da EUPS (Fator R) corresponde ao poder erosivo da precipitação média anual da região sobre as partículas de solo, sendo calculada em t.m/ha.mm/ha. Para determinar a erosividade da chuva (R), utilizou-se a equação (3.5) proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999):

$$R = \sum_{i=1}^{12} 89,823 \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,759} \quad (3.5)$$

em que: P_m = precipitação média mensal (mm) e P_a = precipitação média total anual (mm).

Utilizando os dados já adquiridos dos doze postos pluviométricos e da grade do TRMM, ambos para o período de 1998 a 2013, foram calculadas as médias mensais e os totais anuais médios, e assim determinados a erosividade anual dos postos/pontos individualmente. Posteriormente, os dados de erosividade foram interpolados pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância, em ambiente SIG, de forma a representar uma maior distribuição espacial da erosividade.

O Fator de Erodibilidade do Solo (K) foi obtido mediante a associação do mapa de solos disponibilizados pela EMBRAPA (1999) com os valores proposto por Silva *et al.* (2009) (quadro 8):

QUADRO 8 – Valores do Fator de Erodibilidade do Solo (K) para os tipos de solo presentes na área de estudo

Tipos de solos	Fator K
Argissolos Vermelho-Amarelo	0,034
Luvissolos	0,042
Neossolos Regolítico	0,052

FONTE: Silva et al. (2009)

Para o cálculo do Fator LS da EUPS utilizou-se como base o MDE com resolução espacial de 30 metros, aplicando-se o modelo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1999), conforme Equação (3.6):

$$LS = 0,00984 M^{0,63} D^{1,18} \quad (3.6)$$

em que: M = comprimento de rampa, em metros; e D = declividade, em %.

Os Fatores de Uso e Ocupação do Solo e Práticas Conservacionistas (C e P) foram obtidos com base no mapa de uso e ocupação do solo. Esses valores foram obtidos na literatura, conforme demonstrado no quadro 9, sendo os fatores C e P utilizados conjuntamente como um único fator, uma vez que, segundo Gurgel et al. (2011), quando o enfoque do trabalho é a perda de solo por erosão, os fatores C e P estão correlacionados de tal forma que podem ser analisados como um único fator.

QUADRO 9 – Valores de CP para os tipos de uso do solo e cobertura vegetal no município de Monteiro, Paraíba

CLASSES	Fator CP
Água	0,0
Arbustiva	0,01
Arbustiva-Arbórea	0,0007
Arbórea	0,00004
Solo Exposto	1,0
Urbano	0,0
TOTAL	—

FONTE: Borges (2009)

3.2.5. Elaboração do mapa de Zoneamento Ambiental

O mapa de Zoneamento Ambiental é o resultado da combinação dos seguintes mapas: Perda de Solo (a), Áreas de Preservação Permanente (b) e Uso e Ocupação do Solo (c). Para

se obter essa combinação, foi necessário unir os mapa das Áreas de Preservação Permanente ao do uso e ocupação do solo, seguido da interseção com o mapa de Perda do Solo. A partir daí, fez-se a combinação das classes a partir de análises geográficas de cada classe, delimitando áreas que precisam ser preservadas, as que devem ser recuperadas ou reabilitadas, as que necessitam de um Plano de Controle Ambiental e as passíveis de expansão urbana.

Para gerar o ZA obtido através da vulnerabilidade à perda de solo, utilizou-se a combinação de classes do Quadro 10, sendo a perda de solo classificada em instável, média ou estável. Para gerar o ZA obtido através da estimativa de perda de solo utilizando a EUPS, o mesmo foi realizado com base na combinação das classes, e em seguida atribuído um grau de perda de solo (alto, médio ou baixo).

QUADRO 10 – Combinação entre classes para identificação dos usos indicados

Classes do Zoneamento Ambiental	Perda de solo	APPs	Uso e ocupação do solo
Área de Preservação Permanente	—	Topos de morro e áreas próximas às nascentes, represas e cursos d'água	—
Área de Preservação Prioritária	Instável (Alta)	—	Vegetação arbórea ou arbórea-arbustiva
Área de Preservação	Média	—	Vegetação arbórea ou arbórea-arbustiva
Área de Controle Ambiental	Estável (Baixa)	—	Vegetação arbórea ou arbórea-arbustiva
Área de Reabilitação Ambiental	Estável (Baixa)	—	Vegetação arbustiva ou solo exposto
Área de Recuperação	Média	—	Vegetação arbustiva ou solo exposto
Área de Recuperação Prioritária	Instável (Alta)	—	Vegetação arbustiva ou solo exposto
Área Urbana	---	—	Área Urbana
Área de Expansão Urbana	Estável (Baixa)	—	Vegetação arbustiva ou solo exposto e próximo à área urbana
Água	—	—	Água

FONTE: Adaptado da metodologia de Crepani et al. (2008)

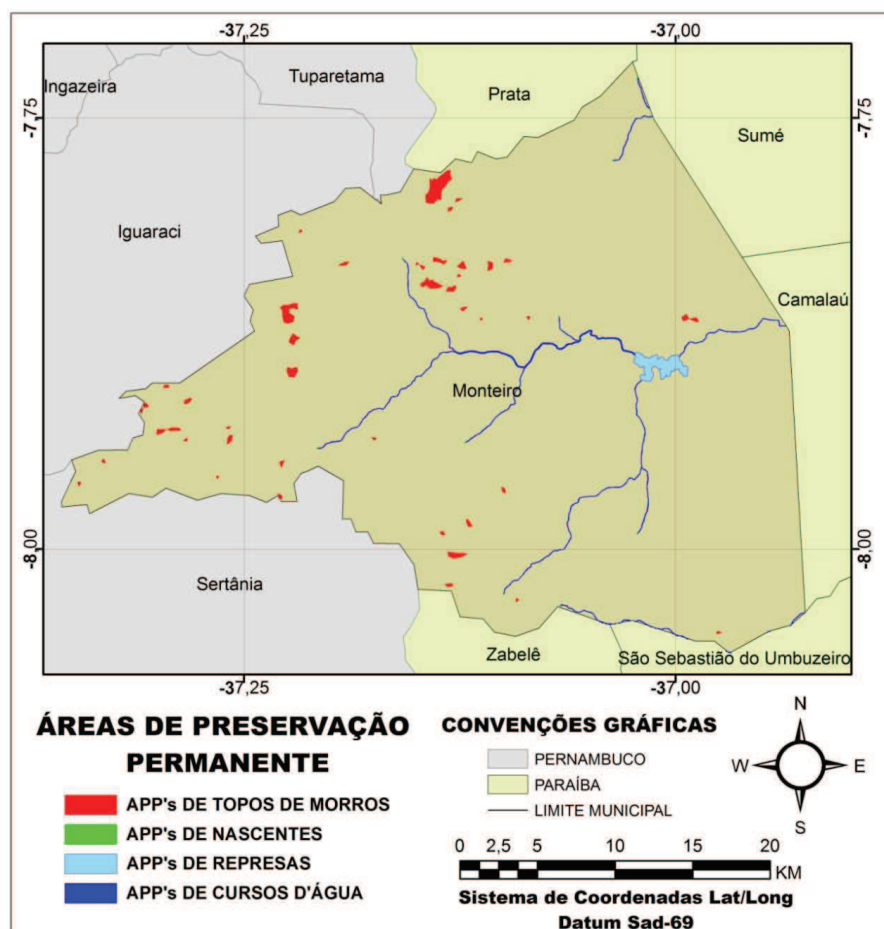
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Avaliação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)

O mapa de APPs (Figura 9) foi gerado baseado no que está previsto no Novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012) referente à: faixas marginais dos cursos d'água natural, áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes e topo de morros, montes, montanhas e serras, onde se observa uma maior predominância de APPs de topos de morros e cursos d'água.

Em relação à área total do município de Monteiro, Paraíba, o total de APPs foi representado por 16,54 km² da área municipal, sendo as áreas de maior predominância (topos de morros e cursos d'água) representadas por 6,89 e 6,34 km², respectivamente (Tabela 1).

Figura 9 - Mapa das Áreas de Preservação Permanente do Município de Monteiro, Paraíba.



FONTE: Autor (2014)

TABELA 1 – Áreas de Preservação Permanente (APPs) e sua relação à área total do município de Monteiro, Paraíba

APPs	Área (km ²)	Porcentagem (%) em relação à área total do município
Topos de Morros	6,89	0,70
Nascentes	0,07	0,01
Represas	3,24	0,33
Cursos d'água	6,34	0,64
TOTAL	16,54	1,68

FONTE: Autor (2014)

4.2. Avaliação do uso e ocupação do solo

A Figura 10a-b apresenta a classificação do uso e ocupação do solo para os anos 1987 e 2010, respectivamente, e a tabela 2 apresenta os resultados das áreas ocupadas para os referidos anos, além de mostrar a variação percentual da área ocupada.

TABELA 2 – Evolução do uso e ocupação do solo para cada classe temática referente aos anos de 1987 e 2010 com suas respectivas vulnerabilidade

Classes	Área em 1987 (km ²)	%	Área em 2010 (km ²)	%	Variação (%)
Água	5,75	0,58	9,24	0,94	60,70
Arbustiva	458,15	46,43	322,00	32,63	-29,72
Arbustiva-Arbórea	231,45	23,46	373,48	37,85	61,37
Arbórea	225,66	22,87	257,70	26,12	14,20
Solo Exposto	64,25	6,51	19,70	2,00	-69,34
Urbano	1,52	0,15	4,65	0,47	205,92
TOTAL	986,77	100,00	986,77	100,00	—

FONTE: Autor (2014)

O fator de maior relevância observado na tabela 2 é a diminuição da vegetação arbustiva. Supõe-se que essa diminuição é devido à desarticulação da atividade cotonicultura em todo Nordeste, que teve início em 1983, quando a praga do bicudo começou a atacar os algodoads (Campos, 2006). De acordo com a classificação realizada, a monocultura algodoeira está inserida na classe arbustiva, uma vez que a resposta espectral é similar a da vegetação nativa de mesmo porte, sendo impossível classificá-lo separadamente devido a baixa resolução das imagens satélites utilizadas. Dados da produção agrícola fornecidos pelo IBGE

permitem observar um decréscimo da área colhida com algodão de 800 hectares em 1987, sendo suprimido em 2010.

Outro fator que influenciou a redução da Vegetação Arbustiva foi a quantidade de lavoura permanente e temporária referentes aos anos de 1990 e 2010 que passou de 1.415 hectares para 431 hectares de lavoura permanente e de 17.134 para 2.620 ha de lavoura temporária, segundo dados do IBGE. Isso representa uma redução de 15498 hectares de áreas de plantação.

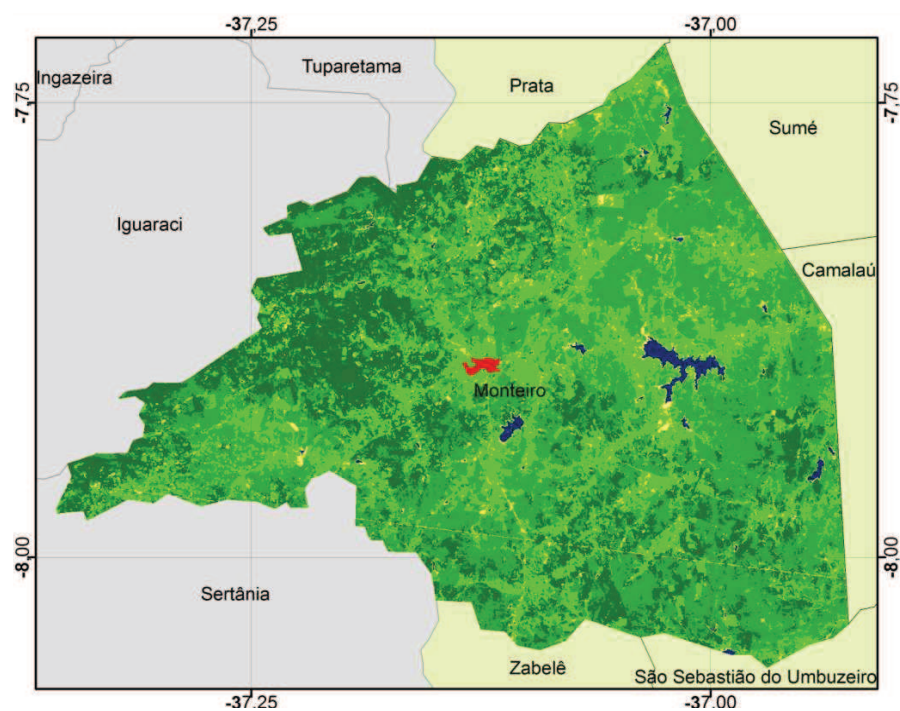
O aumento da Vegetação Arbórea e Arbustiva-Arbórea e diminuição do Solo Exposto pode-se atribuir à da recuperação do solo e da vegetação ao longo das décadas. A Área Urbana teve um acréscimo de 210%. Isso se deve ao crescimento populacional em áreas urbanas das últimas décadas com acréscimo de 18% da população total no ano de 2010. Esse crescimento populacional acarreta em aumento de lotes para habitações e comércios, uma vez que os moradores de áreas rurais e migram para áreas urbanas.

A figura 10 demonstra que as maiores alterações ocorridas no município de Monteiro apresenta-se em locais com baixas altitudes, cujas áreas são susceptíveis das ações antrópicas, principalmente para atividades agropecuárias. É perceptível nessas áreas de baixa altitude, alterações de forma regular, característico de grandes propriedades rurais. Contrariamente, nas áreas com maiores altitudes, situadas ao oeste do município, apresentam-se aumento da Vegetação Arbórea.

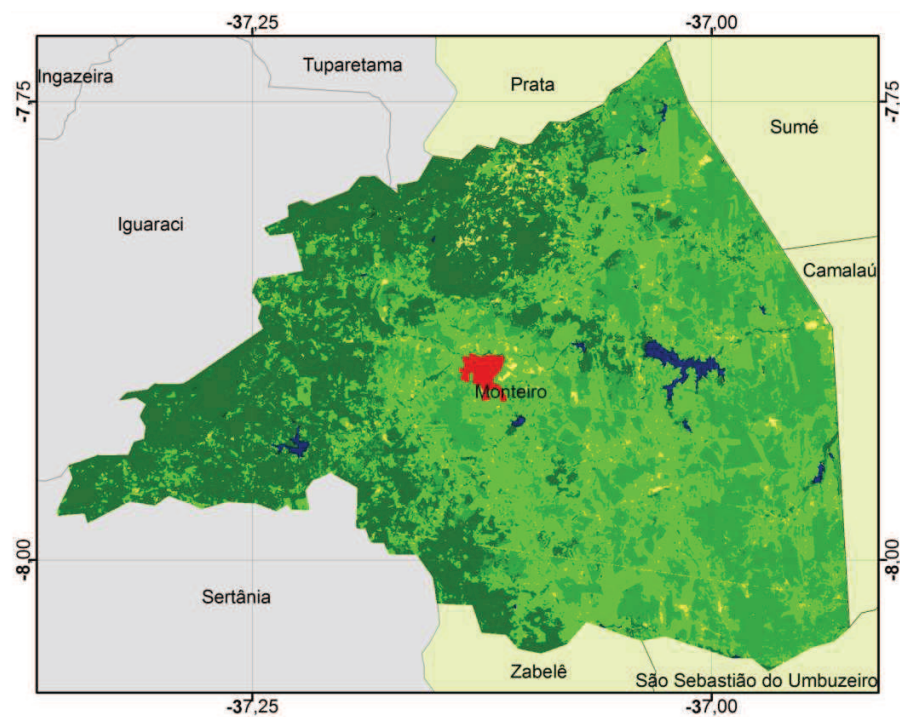
Observa-se ainda que mais de 90% da área municipal é composta de vegetação de porte vaiado. Em 2010, a concentração maior foi de vegetações de porte médio (Arbustiva-Arbórea), o que confirma a análise feita por Pereira Júnior et al. (2012) que afirma que a maior parte dos indivíduos dessa região são de altura mais centrais, variando de 4,1 a 6 metros.

Figura 10 - Classificação do uso e ocupação do solo do município de Monteiro para os anos de: (a) 1987 e (b) 2010

(a)



(b)



**VULNERABILIDADE DA
COBERTURA VEGETAL
E USO DA TERRA**

- Água
- Arbustiva
- Arbustiva-Arbórea
- Arbórea
- Solo Exposto
- Urbano

CONVENÇÕES GRÁFICAS

- PERNAMBUCO
- PARAÍBA
- LIMITE MUNICIPAL

0 2,5 5 10 15 20 km

**Sistema de Coordenadas Lat/Long
Datum Sad-69**



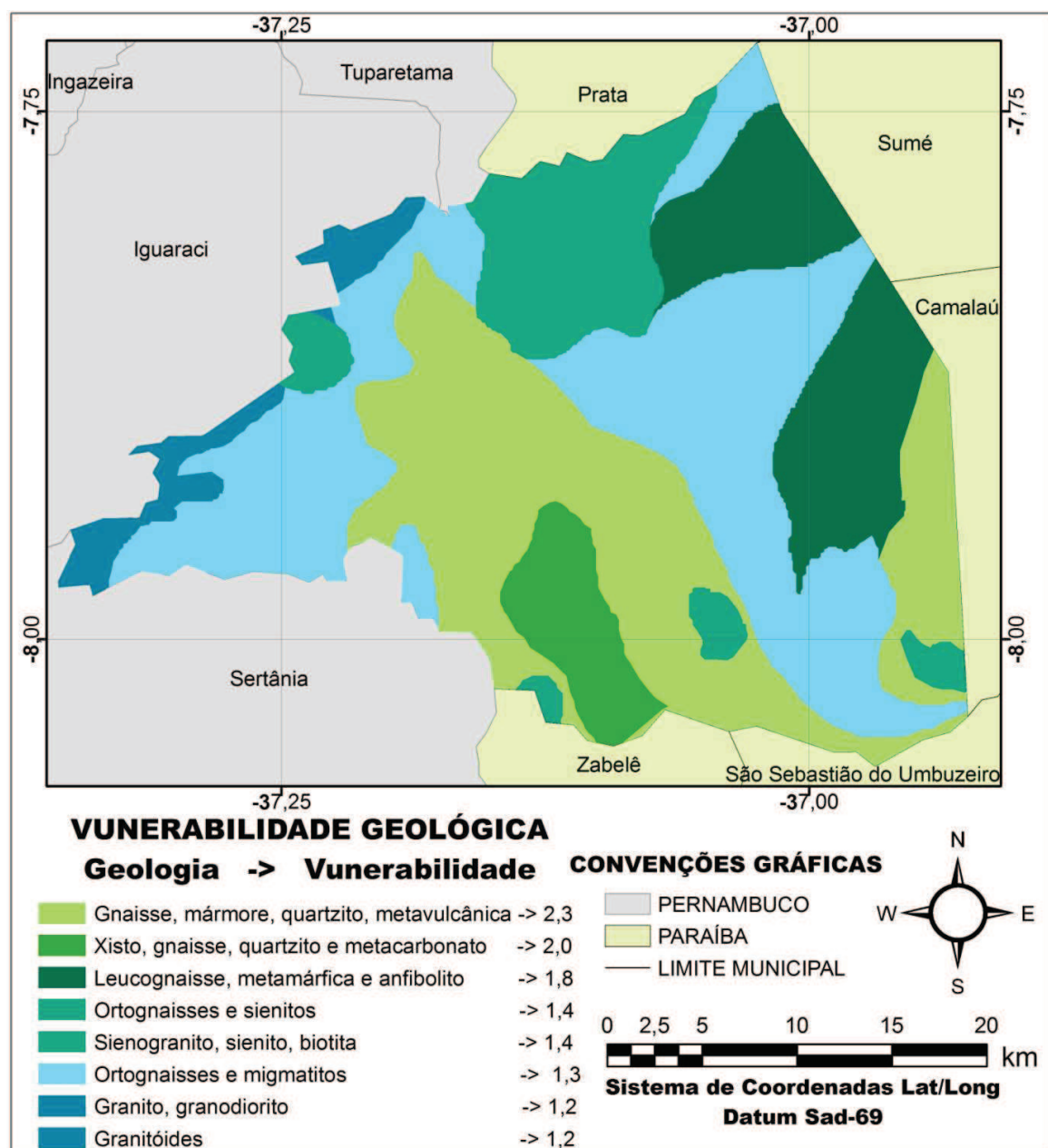
FONTE: Autor (2014)

4.3. Vulnerabilidade à Perda do Solo

4.3.1. Análise da Vulnerabilidade Geológica

Observou-se a predominância de Ortognaisses e Migmatitos que são rochas pouco vulneráveis, predominante em aproximadamente 34% da área total do município, e de Gnaisses, mármore, quartzito e metavulcânica, com cerca de 30% da área total do município, cuja vulnerabilidade é moderadamente instável. (Figura 11 e Tabela 3).

FIGURA 11 – Mapa de vulnerabilidade geológica do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

TABELA 3 – Escala de vulnerabilidade para cada tipo de rocha encontradas no município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas

Geologia	Escala de vulnerabilidade	Área (km ²)	%
Gnaiss, mármore, quartzito, metavulcânica	2,3	293,64	29,76
Xisto, gnaiss, quartzito e metacarbonato	2,0	50,78	5,103
Leucognaiss, metamárfica e anfibolito	1,8	139,86	14,05
Ortognaisses e sienitos	1,4	15,34	1,542
Sienogranito, sienito, biotita	1,4	110,64	11,12
Ortognaisses e migmatitos	1,3	337,69	33,94
Granito, granodiorito	1,2	38,70	3,889
Granitóides	1,2	0,12	0,012
TOTAL		986,77	100,00

FONTE: Autor (2014)

4.3.2. Análise da Vulnerabilidade Geomorfológica

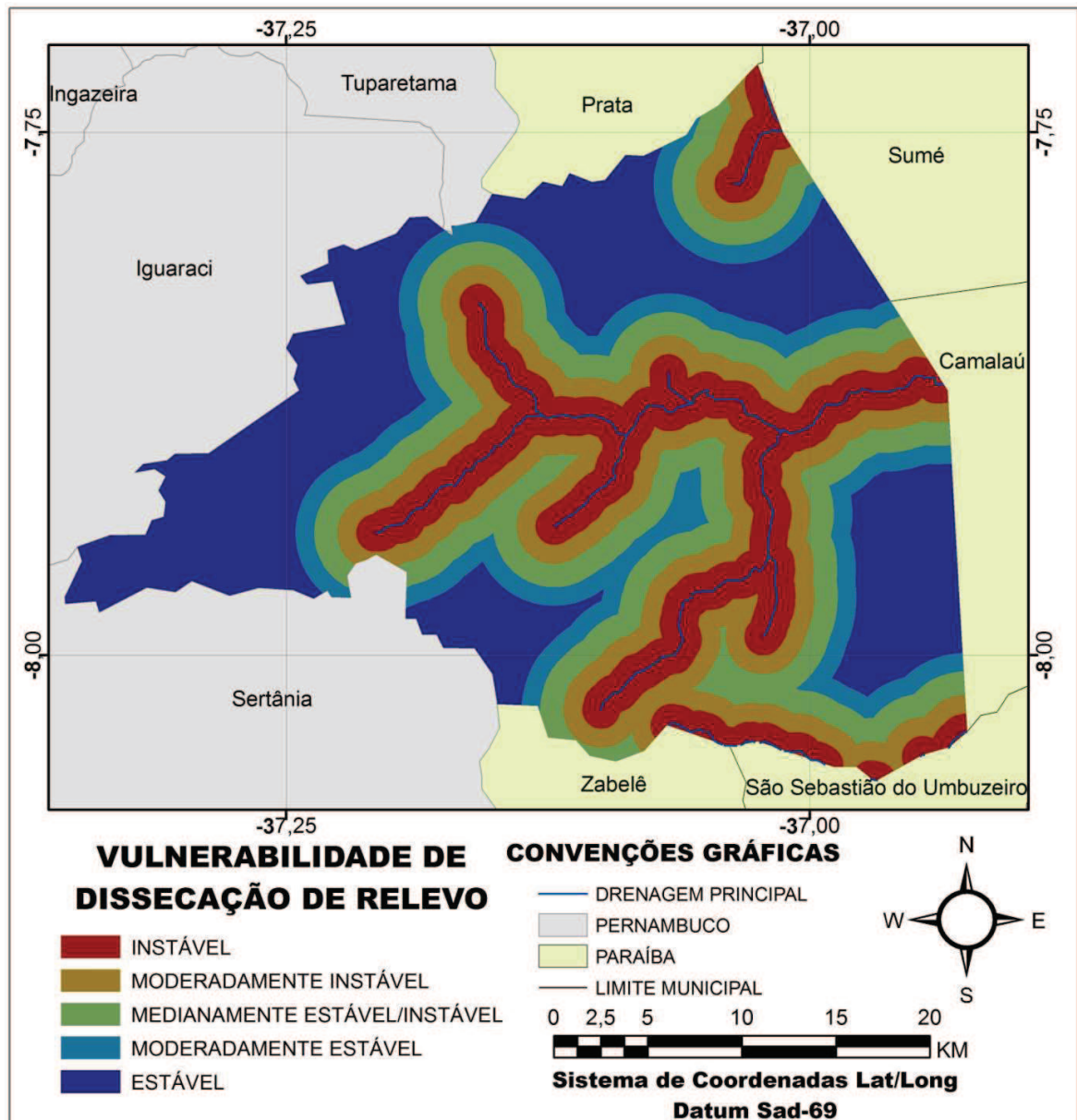
Para estabelecer os valores da escala de vulnerabilidade para as unidades de paisagem com relação à Geomorfologia, foram analisados os índices morfométricos relacionados à: dissecação do relevo pela drenagem (amplitude interfluvial), amplitude altimétrica e declividade.

Com relação à dissecação do relevo pela drenagem (amplitude interfluvial), quanto mais próximo das margens dos cursos d'água mais instável é o solo em relação a dissecação do relevo e vice-versa (Figura 12).

Aproximadamente 32% do solo apresentou-se estável em relação à dissecação do relevo e cerca de 18,5% apresentou-se instável (Tabela 4). Isso é devido a uma pequena área de drenagem encontrada no município e a grandes distâncias entre os cursos d'água.

Isso afirma o que foi dito por Crepani et al. (2001) que diz: “quanto maiores forem os interflúvios, menores são os valores atribuídos às unidades de paisagem natural na escala de vulnerabilidade, ou seja, valores mais próximos à estabilidade (valores próximos a 1,0)” e vice-versa.

FIGURA 12 – Mapa de dissecação do relevo do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

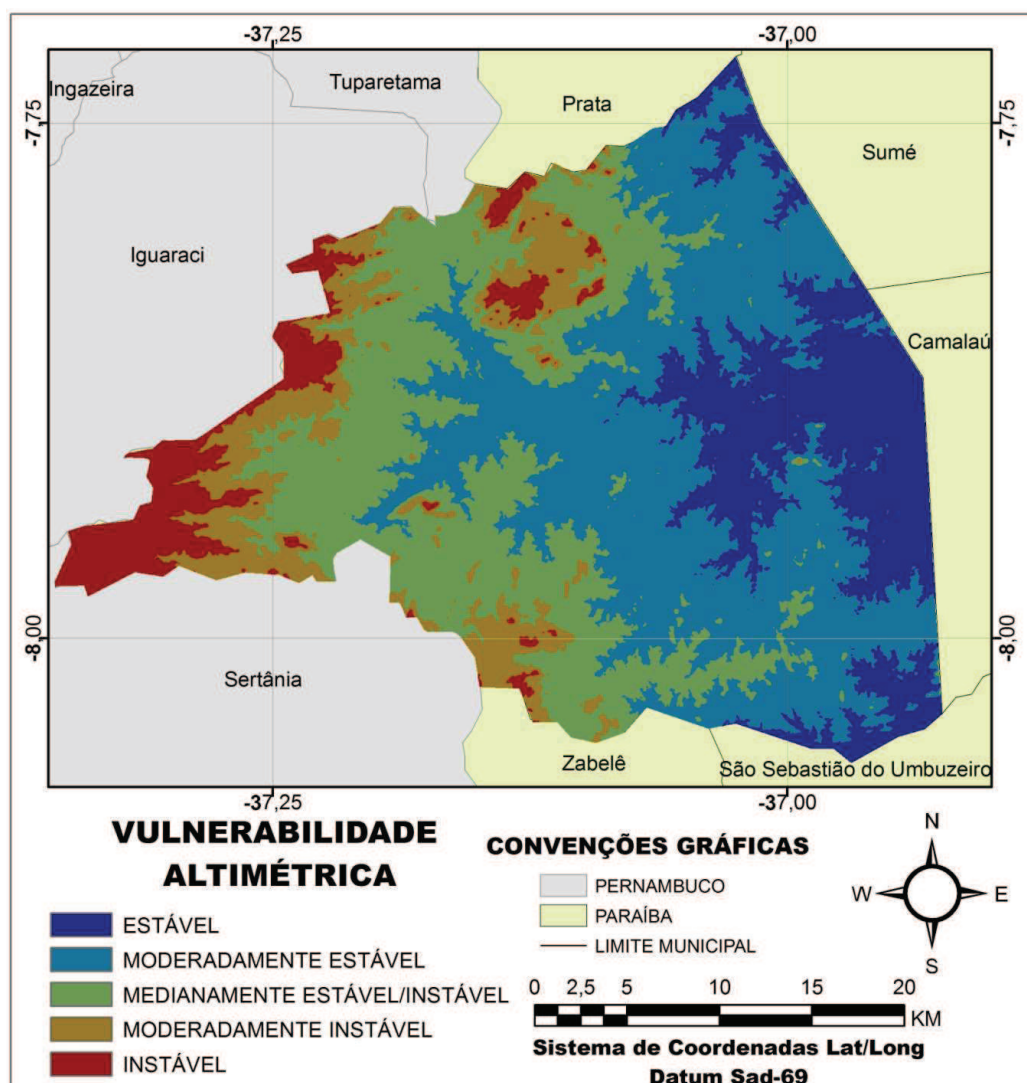
TABELA 4 - Escala de vulnerabilidade para diferentes amplitudes interfluvial do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas

Amplitude de interflúvio (m)	Vulnerabilidade	Área (km ²)	%	Propensão ao risco
> 5000	1,0	235,87	23,90	Estável
4750 – 5000	1,1	25,35	2,57	
4500 – 4750	1,2	26,08	2,64	
4250 – 4500	1,3	26,99	2,74	
4000 – 4250	1,4	28,11	2,85	Moderadamente estável
3750 – 4000	1,5	29,84	3,02	
3500 – 3750	1,6	32,21	3,26	
3250 – 3500	1,7	33,2	3,36	
3000 – 3250	1,8	33,95	3,44	Medianamente estável/instável
2750 – 3000	1,9	35,43	3,59	
2500 – 2750	2,0	37,91	3,84	
2250 – 2500	2,1	39,85	4,04	
2000 – 2250	2,2	41,17	4,17	
1750 – 2000	2,3	42,47	4,30	Moderadamente instável
1500 – 1750	2,4	43,95	4,45	
1250 – 1500	2,5	45,17	4,58	
1000 – 1250	2,6	45,48	4,61	
750 – 1000	2,7	45,60	4,62	Instável
500 – 750	2,8	45,61	4,62	
250 – 500	2,9	45,67	4,63	
< 250	3,0	46,86	4,75	
TOTAL		986,77	100,00	

FONTE: Autor (2014)

A amplitude altimétrica do município de Monteiro varia entre 540 a 1080 m e a declividade entre 0 e 77%. Após a reclassificação, segundo valores atribuídos por Crepani et al. (2008), a partir do mapa hipsométrico obteve-se 21 classes de vulnerabilidade (Figuras 13 e 14).

FIGURA 13 – Mapa de vulnerabilidade da amplitude altimétrica do município de Monteiro, Paraíba.



FONTE: Autor (2014)

Observou-se que o município de Monteiro possui em sua grande maioria altitudes entre 568 e 673 m, cuja vulnerabilidade varia de estável à moderadamente vulnerável, sendo a concentração maior entre 587 e 625 metros, considerado moderadamente estável. Em relação à declividade, observa-se que em sua grande maioria (aproximadamente 80%) apresenta-se estável, com declives de até 8,2% (Tabelas 5 e 6).

Isso afirma o estudo feito pelo CPRM, Serviço Geológico do Brasil (2005), que diz que o município é caracterizado por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas, com relevos isolados onde testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino.

TABELA 5 - Escala de vulnerabilidade para diferentes amplitudes altimétricas do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas

Amplitude altimétrica (m)	Vulnerabilidade	Área (km ²)	%	Propensão ao risco
539 – 559	1,0	19,76	2,00	Estável
559 - 568	1,1	30,45	3,09	
568– 578	1,2	53,55	5,43	
578 - 587	1,3	67,30	6,82	
587– 597	1,4	83,58	8,47	Moderadamente estável
597 - 606	1,5	94,33	9,56	
606 – 616	1,6	97,88	9,92	
616 - 625	1,7	88,60	8,98	
625 – 635	1,8	74,55	7,56	Medianamente estável/instável
635 - 644	1,9	60,88	6,17	
644 – 654	2,0	50,65	5,13	
654 - 663	2,1	47,48	4,81	
663 – 673	2,2	41,11	4,17	
673 - 682	2,3	32,84	3,33	Moderadamente instável
682 – 692	2,4	28,82	2,92	
692 – 701	2,5	24,52	2,48	
701 – 711	2,6	18,46	1,87	
711 - 720	2,7	14,32	1,45	Instável
720 – 730	2,8	12,66	1,28	
730 - 739	2,9	11,08	1,12	
739 – 1079	3,0	33,95	3,44	
TOTAL		986,77	100,00	

FONTE: Autor (2014)

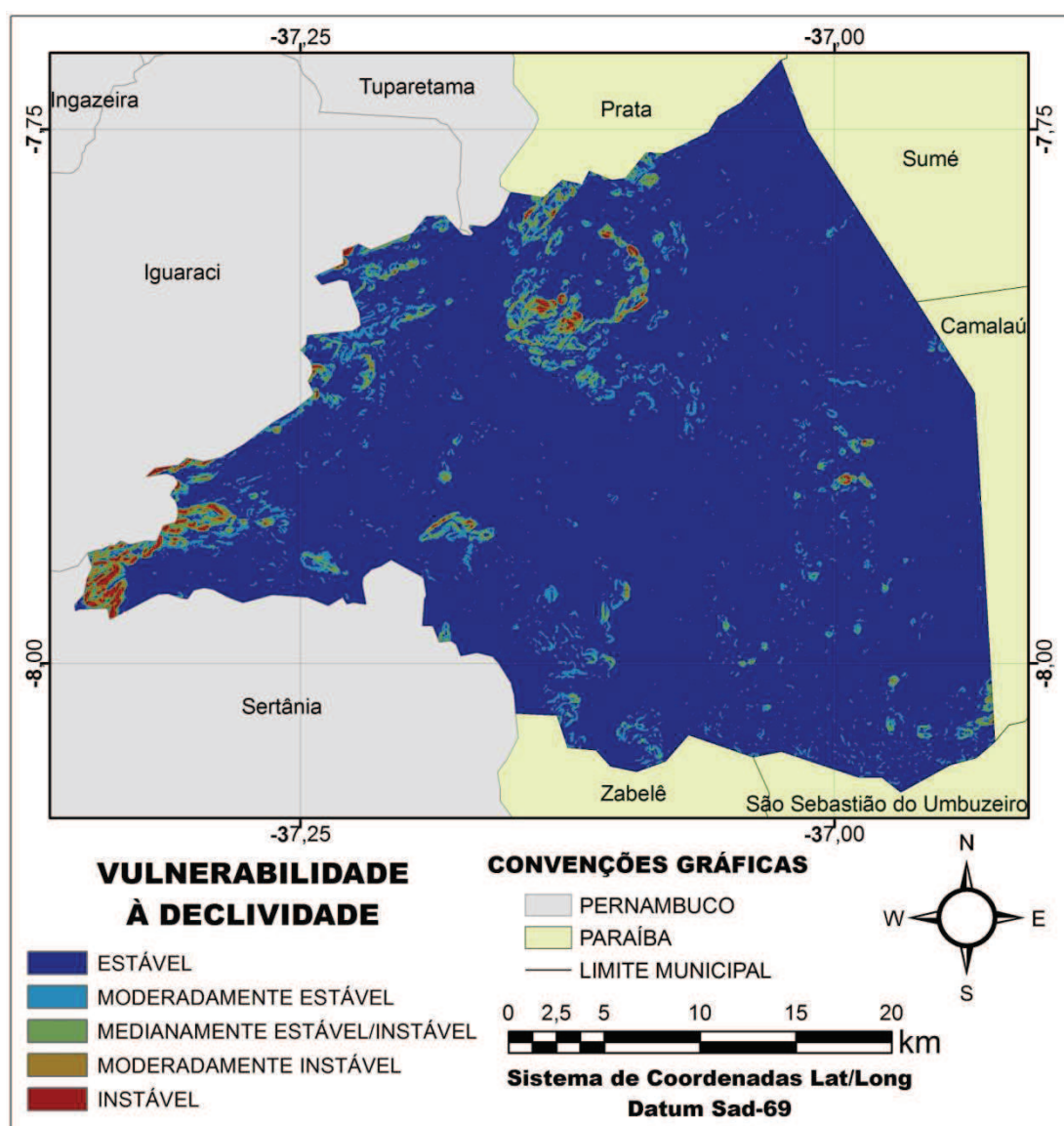
TABELA 6 - Escala de vulnerabilidade para a declividade das encostas do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas

Declividade		Vulnerabilidade	Área (Km ²)	%	Propensão Ao Risco
Graus	%				
< 2	< 3,5	1,0	280,20	28,4	Estável
2 – 3,3	3,5 – 5,8	1,1	281,29	28,51	
3,3 – 4,6	5,8 – 8,2	1,2	233,00	23,61	
4,6 – 5,9	8,2 – 10,3	1,3	57,66	5,843	
5,9 – 7,3	10,3 – 12,9	1,4	29,23	2,962	Moderadamente estável
7,3 – 8,6	12,9 – 15,1	1,5	23,84	2,415	
8,6 – 9,9	15,1 – 17,4	1,6	11,17	1,132	
9,9 – 11,2	17,4 – 19,8	1,7	9,27	0,939	
11,2 – 12,5	19,8 – 22,2	1,8	9,88	1,001	Medianamente estável/instável
12,5 – 13,8	22,2 – 24,5	1,9	6,27	0,635	
13,8 – 15,2	24,5 – 27,2	2,0	280,20	28,4	

15,2 – 16,5	27,2 – 29,6	2,1	4,64	0,471	Moderadamente instável
16,5 – 17,8	29,6 – 32,1	2,2	5,42	0,549	
17,8 – 19,1	32,1 – 34,6	2,3	3,89	0,394	
19,1 – 20,4	34,6 – 37,2	2,4	4,38	0,444	
20,4 – 21,7	37,2 – 39,8	2,5	3,31	0,336	
21,7 – 23,0	39,8 – 42,4	2,6	3,62	0,367	
23,0 – 24,4	42,4 – 45,3	2,7	3,26	0,33	Instável
24,4 – 25,7	45,3 – 48,1	2,8	3,04	0,308	
25,7 – 27	48,1 – 50	2,9	2,60	0,263	
> 27	> 50	3,0	3,78	0,383	
TOTAL			986,77	100,00	

FONTE: Autor (2014)

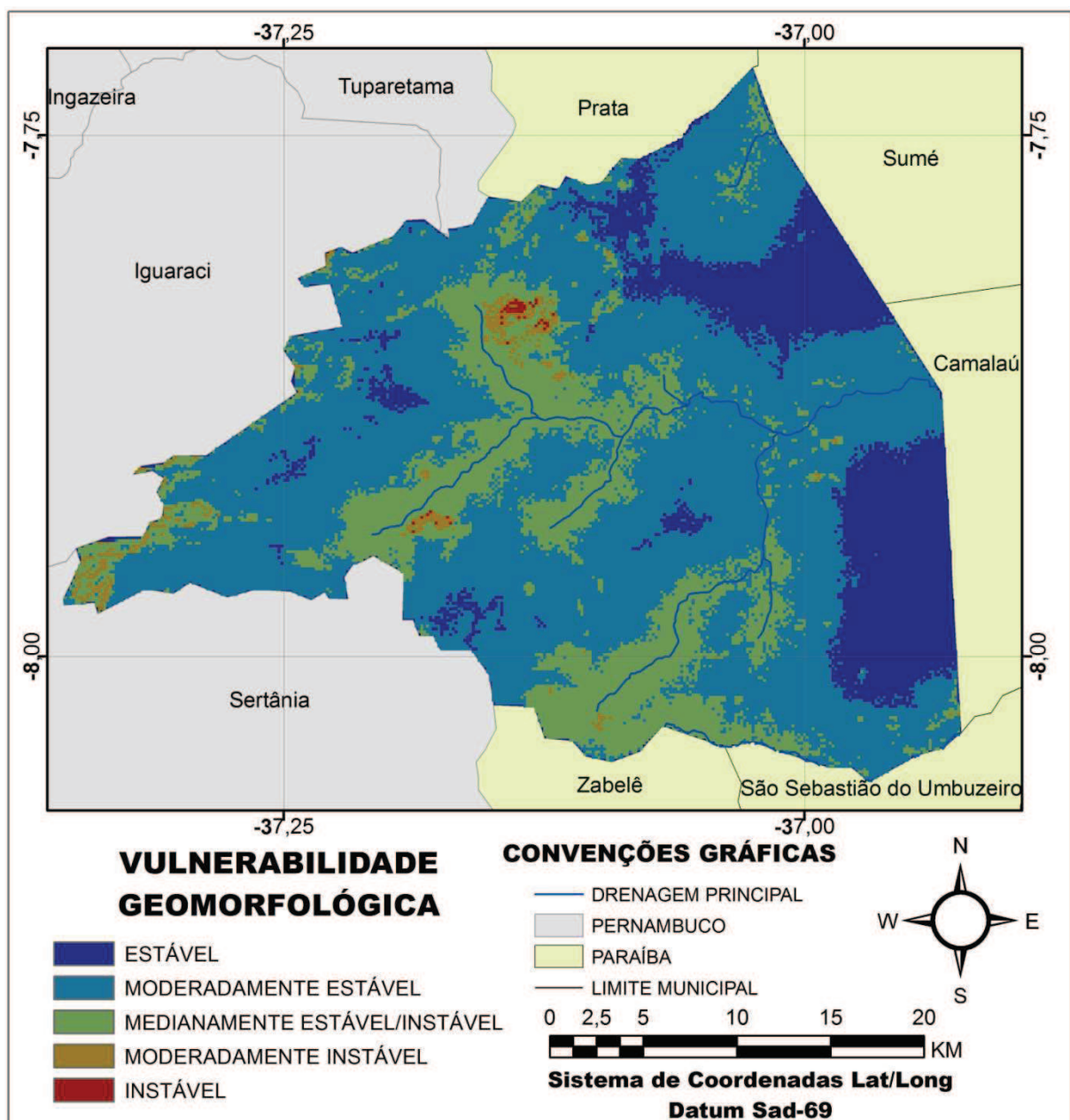
FIGURA 14 – Mapa de vulnerabilidade da declividade do município de Monteiro, Paraíba.



FONTE: Autor (2014)

Constatou-se que a geomorfologia do município de Monteiro, Paraíba, apresenta em sua grande maioria (61,26%), com propensão a níveis moderadamente estáveis, o que confirma as afirmações de Crepani *et al.* (2001), quando ressaltam que estruturas geomorfológicas caracterizadas por relevo plano, suave ondulado e de interflúvio plano tendem a apresentar propensão a níveis estáveis e moderadamente estáveis, enquanto que relevos forte ondulado e de interflúvio forte ondulado tendem a propensões medianas, com equilíbrio entre a instabilidade e a estabilidade relativamente a perda de solo.

FIGURA 15 – Mapa de Vulnerabilidade Geomorfológica do Município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

TABELA 7 - Escala de vulnerabilidade relacionada à geomorfologia do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas

Vulnerabilidade	Área (km ²)	%	Propensão Ao Risco
1,0	10,89	1,10	Estável
1,1	38,06	3,86	
1,2	43,92	4,45	
1,3	58,50	5,93	
1,4	113,17	11,47	Moderadamente estável
1,5	151,56	15,36	
1,6	170,05	17,23	
1,7	169,73	17,20	
1,8	142,35	14,43	Medianamente estável/instável
1,9	51,67	5,24	
2,0	15,14	1,53	
2,2	9,27	0,94	
2,3	6,24	0,63	Moderadamente instável
2,4	3,66	0,37	
2,5	1,39	0,14	
2,7	0,72	0,07	Instável
2,8	0,28	0,03	
3,0	0,16	0,02	
TOTAL	986,77	100,00	

FONTE: Autor (2014)

4.3.3. Análise da Vulnerabilidade Pedológica

Verificou-se uma predominância de solos do tipo Luvisolos, representando quase 80% da área total do município, sendo este de propensão medianamente estável/instável a riscos. Apenas 15% da área total do município, representado por solos do tipo Neossolos Regolíticos, apresenta vulnerabilidade alta que representa instabilidade à perda de solo (Figura 16 e Tabela 8).

Os Luvisolos, segundo Manzatto et al. (2002), compreendem solos com elevada fertilidade natural, dotados de argilas com alta capacidade de retenção de íons trocáveis (argila de atividade alta) e saturação por bases também alta (elevada capacidade de retenção de nutrientes).

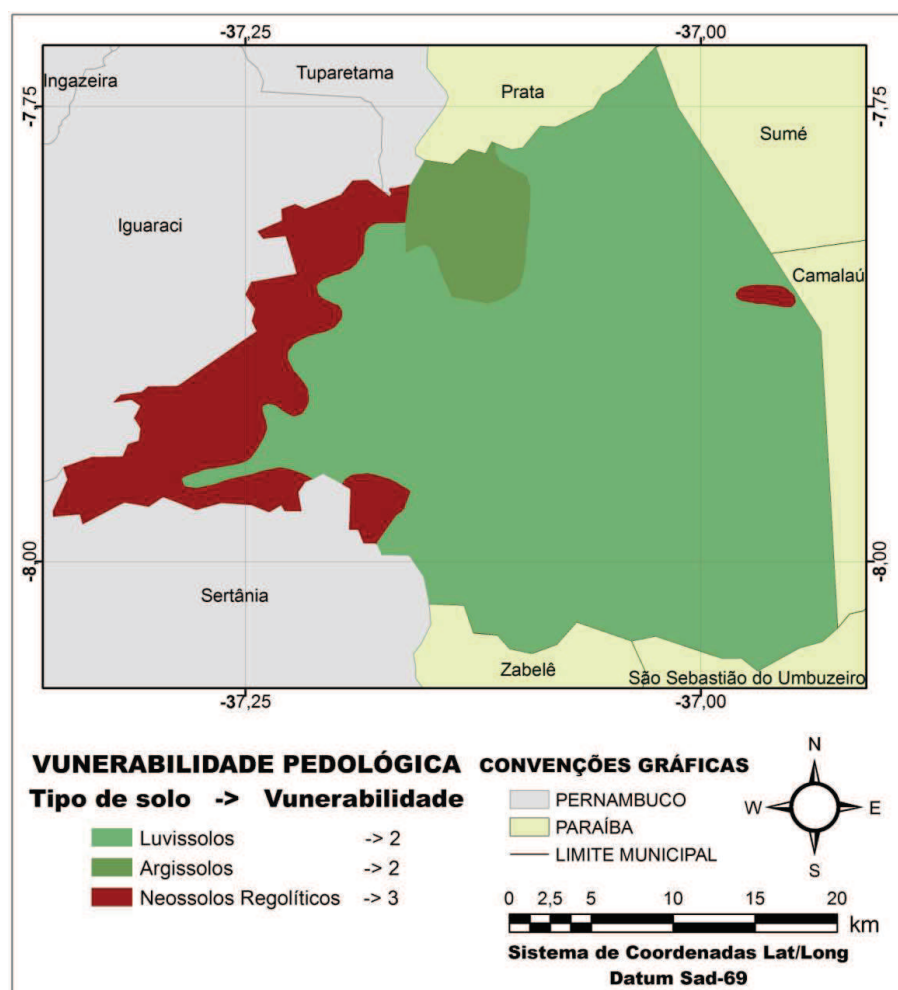
Os Neossolos Regolíticos, de acordo com Silva et al. (2013), por se tratar de um solo raso e de textura arenosa constitui ambiente com pouca sustentabilidade para as plantas sobreviverem, nos períodos cíclicos de estiagem, porém, apresenta boa fertilidade natural, devido a presença de minerais primários facilmente intemperizáveis e ricos em nutrientes, principalmente em cálcio, magnésio e potássio, sendo, portanto, solos utilizados para pecuária extensiva e agricultura familiar.

TABELA 8 - Escala de vulnerabilidade pedológica e suas respectivas áreas no município de Monteiro, Paraíba.

Pedologia	Vulnerabilidade	Área (Km ²)	%
Neossolos Regolíticos	3,0	149,85	15,26
Argissolos	2,0	52,72	5,451
Luvissolos	2,0	784,20	79,29
TOTAL		986,77	100,00

FONTE: Autor (2014)

FIGURA 16 – Mapa de vulnerabilidade pedológica do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

4.3.4. Análise da vulnerabilidade da cobertura vegetal e uso do solo

Em termos de vulnerabilidade relacionada à cobertura vegetal e o uso da terra, observa-se que aproximadamente 93% do solo apresentam-se entre estável e mediantemente estável, enquanto que apenas cerca de 7% apresenta-se instável ou moderadamente instável (Figuras 17A e 17B e Tabela 9).

TABELA 9 – Áreas e percentuais de cada classe de vulnerabilidade relacionadas à cobertura vegetal e uso da terra do município de Monteiro, Paraíba, para os anos de: (a) 1987 e (b) 2010

Classes	V*	Área em 1987 (km ²)	%	Área em 2010 (km ²)	%	Varição (%)
Água	0,0	5,75	0,58	9,24	0,94	60,70
Arbórea	1,0	225,66	22,87	257,70	26,12	14,20
Arbustivo-arbórea	1,5	231,45	23,46	373,48	37,85	61,37
Arbustiva	2,0	458,15	46,43	322,00	32,63	-29,72
Solo exposto	2,5	64,25	6,51	19,70	2,00	-69,34
Urbano	3,0	1,52	0,15	4,65	0,47	205,92
TOTAL		986,77	100,00	986,77	100,00	–

*V = vulnerabilidade

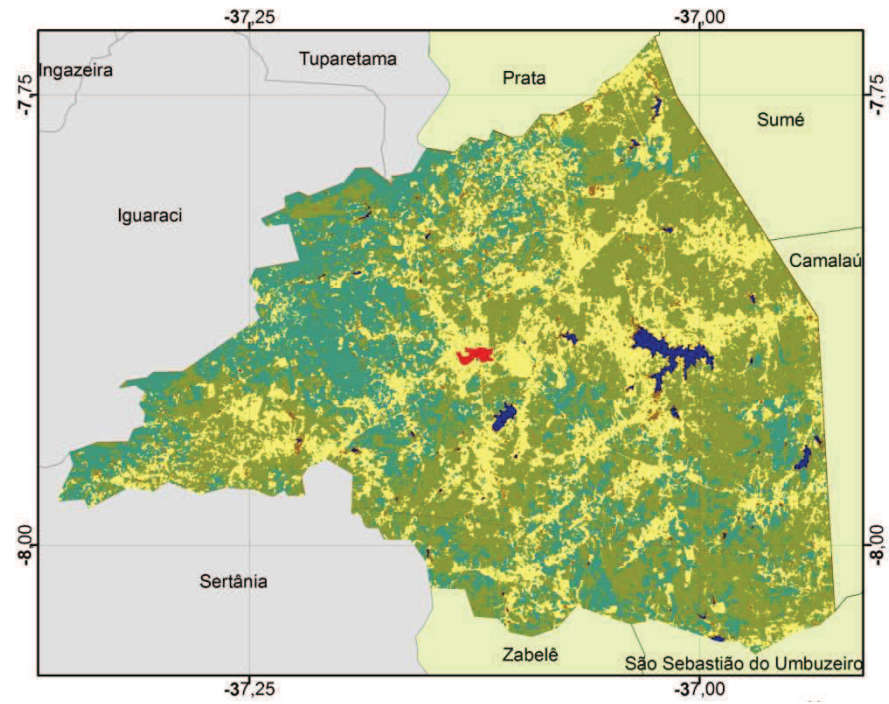
FONTE: Autor (2014)

Com o acréscimo das áreas de Vegetação Arbórea e Arbustiva-Arbórea, assim como a diminuição de solo exposto, aumentam a área de solo mais estável entre os períodos analisados e, conseqüentemente, diminui a área de solos cuja vulnerabilidade é mais instável. Ou seja, entre os anos de 1987 e 2010, houve um ganho em áreas vulneravelmente mais estáveis.

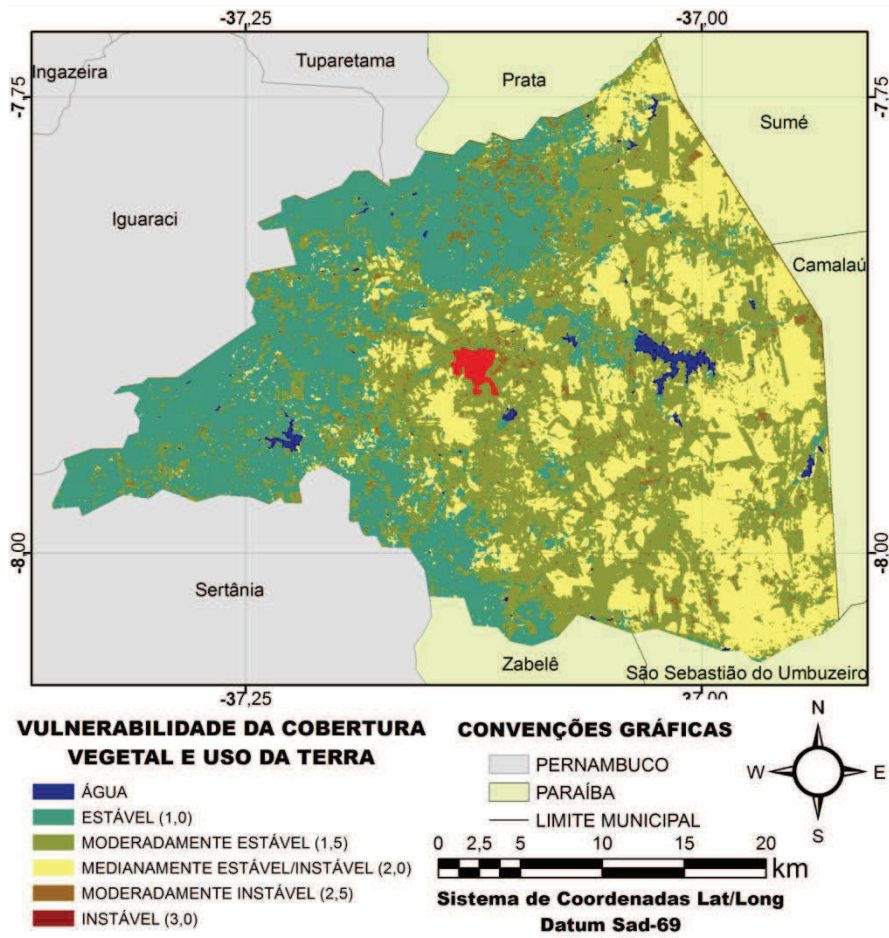
Como já dito anteriormente, as maiores alterações ocorridas no município de Monteiro apresentou-se em locais com baixas altitudes, cujas áreas são susceptíveis das ações antrópicas. Contrariamente, nas áreas com maiores altitudes, situadas ao oeste do município, apresentam-se aumento da Vegetação Arbórea.

FIGURA 17 – Mapa de vulnerabilidade da cobertura vegetal e uso da terra do município de Monteiro, Paraíba, para os anos de: (a) 1987 e (b) 2010.

(a)



(b)

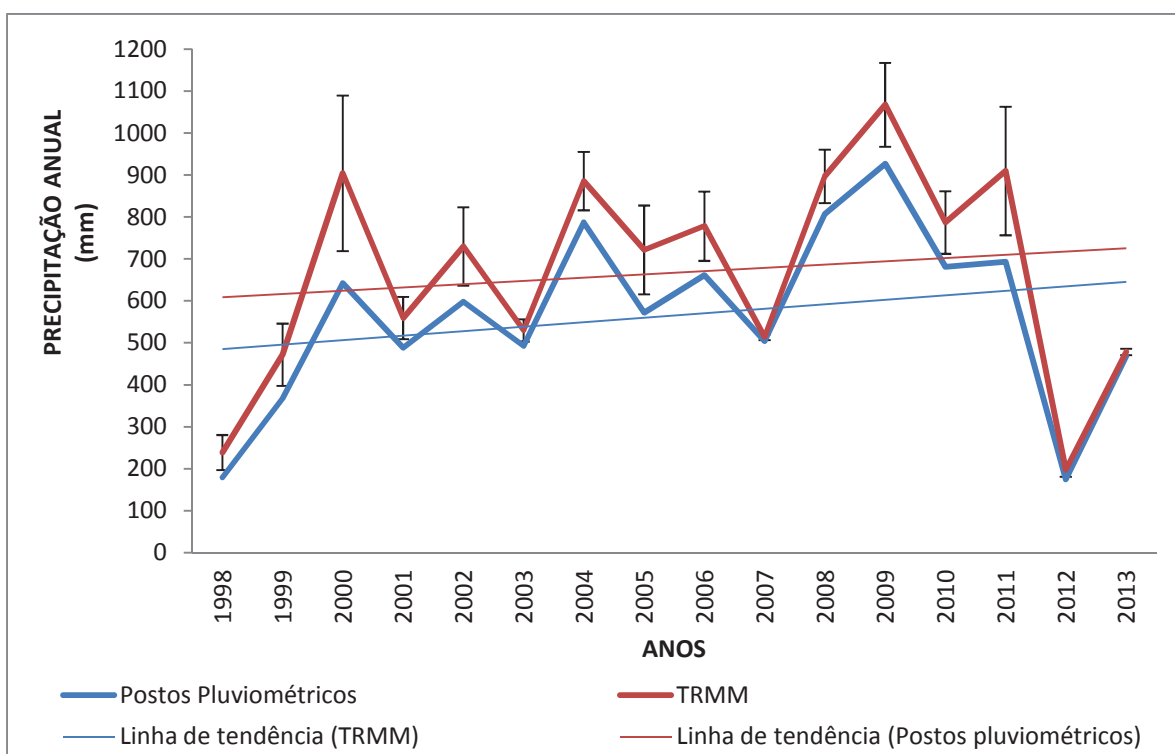


FONTE: Autor (2014)

4.3.5. Análise da vulnerabilidade climatológica

Analizando-se a precipitação pluvial média anual, no período de 1998 e 2013, obtidos a partir de dados do TRMM e de 12 postos pluviométricos, constatou-se que houve uma semelhança nos dados obtidos, cujas linhas de tendência são positivas. Porém, os valores do TRMM foram superiores em relação aos dados obtidos pelos postos pluviométricos. Essa variabilidade é decorrente da extensa malha de pontos de grade do TRMM e a insatisfatória rede de postos pluviométricos no entorno do Município de Monteiro, Paraíba. Os maiores desvios foram encontrados nos anos de 2000 e 2011 e os menores desvios foram em 2007, 2012 e 2013 (Tabela 10).

FIGURA 18 - Precipitação média anual obtida a partir de dados do TRMM e dos postos pluviométricos, durante o período de 1998 e 2013



FONTE: Autor (2014)

TABELA 10 – Variação dos dados de Precipitação Média Anual (PMA), nos anos de 1998 e 2013, obtidos a partir de dados do TRMM e de 12 postos pluviométricos

Ano	PMA Do TRMM (mm/ano)	PMA De Postos Pluviométricos (mm/ano)	DP*	Diferença (mm/ano)
1998	238,86	179,64	41,87	59,22
1999	472,07	367,41	74,01	104,67
2000	904,27	641,97	185,47	262,30
2001	559,29	488,10	50,34	71,19
2002	729,99	598,27	93,14	131,72
2003	530,01	492,40	26,60	37,61
2004	885,60	787,24	69,55	98,36
2005	721,63	571,86	105,90	149,77
2006	778,36	661,48	82,65	116,88
2007	513,82	504,10	6,87	9,72
2008	897,06	807,20	63,54	89,86
2009	1067,54	926,45	99,77	141,09
2010	787,03	681,41	74,68	105,62
2011	909,70	693,17	153,11	216,54
2012	197,55	174,73	16,13	22,81
2013	478,88	468,04	7,67	10,84
MÉDIA				101,51
DPA**	250,47	208,04		42,43
MH***	725,81	585,06		140,75

FONTE: Autor (2014)

* DESVIO PADRÃO

** DESVIO PADRÃO AMOSTRAL

*** MÉDIA HISTÓRICA

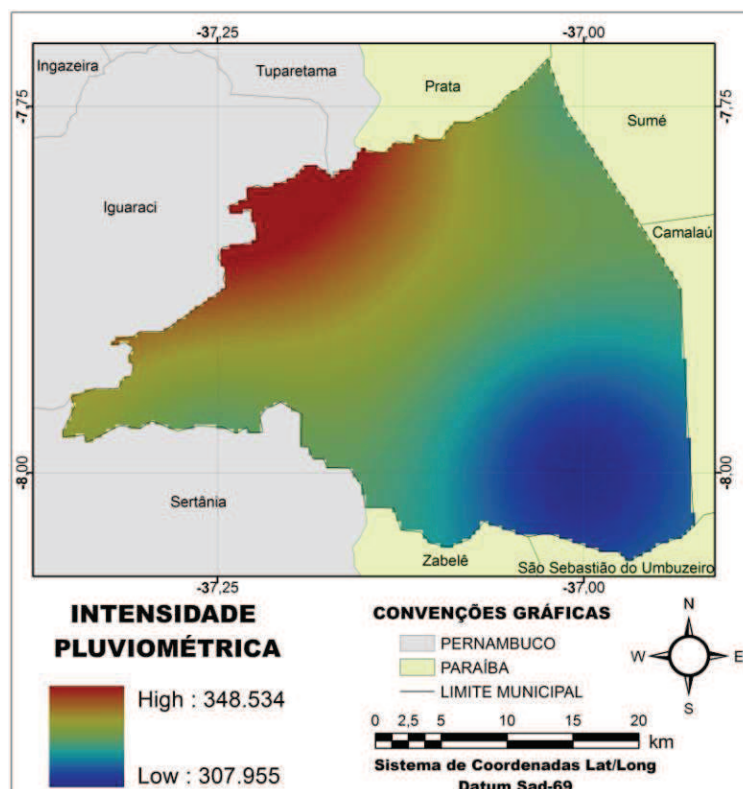
Devido à semelhança entre os dados obtidos e a dificuldade de obtenção de dados diários na maioria dos postos pluviométricos estudados, optou-se por calcular a Intensidade Pluviométrica (I_p) a partir dos dados do TRMM (Tabela 11). A partir das intensidades pluviométricas encontradas, elaborou-se o mapa climatológico (Figura 19) e, em seguida, o mapa de vulnerabilidade climatológica (Figura 20).

TABELA 11 – Intensidade Pluviométrica obtida a partir de dados do TRMM, nos anos de 1998 e 2013

Ponto	Coordenadas		Média Anual (Mm/Ano)	DPC (Meses)	Intensidade Pluviométrica (Mm/Mês)
	Lat.	Long.			
01	-7,50	-37,5	865,50	2,18	396,41
02	-7,50	-37,25	783,89	2,05	382,39
03	-7,50	-37,00	649,43	2,05	316,80
04	-7,50	-36,75	589,64	1,93	304,99
05	-7,75	-37,5	820,44	2,15	381,60
06	-7,75	-37,25	753,21	2,12	355,85
07	-7,75	-37,00	643,63	2,00	321,81
08	-7,75	-36,75	572,71	1,70	336,89
09	-8,00	-37,50	762,50	2,37	322,18
10	-8,00	-37,25	717,88	2,23	321,44
11	-8,00	-37,00	600,50	1,95	307,95
12	-8,00	-36,75	550,37	1,77	311,53
13	-8,25	-37,50	696,18	2,47	282,23
14	-8,25	-37,25	630,42	2,05	307,52
15	-8,25	-37,00	643,81	1,98	324,61
16	-8,25	-36,75	614,80	1,97	312,61

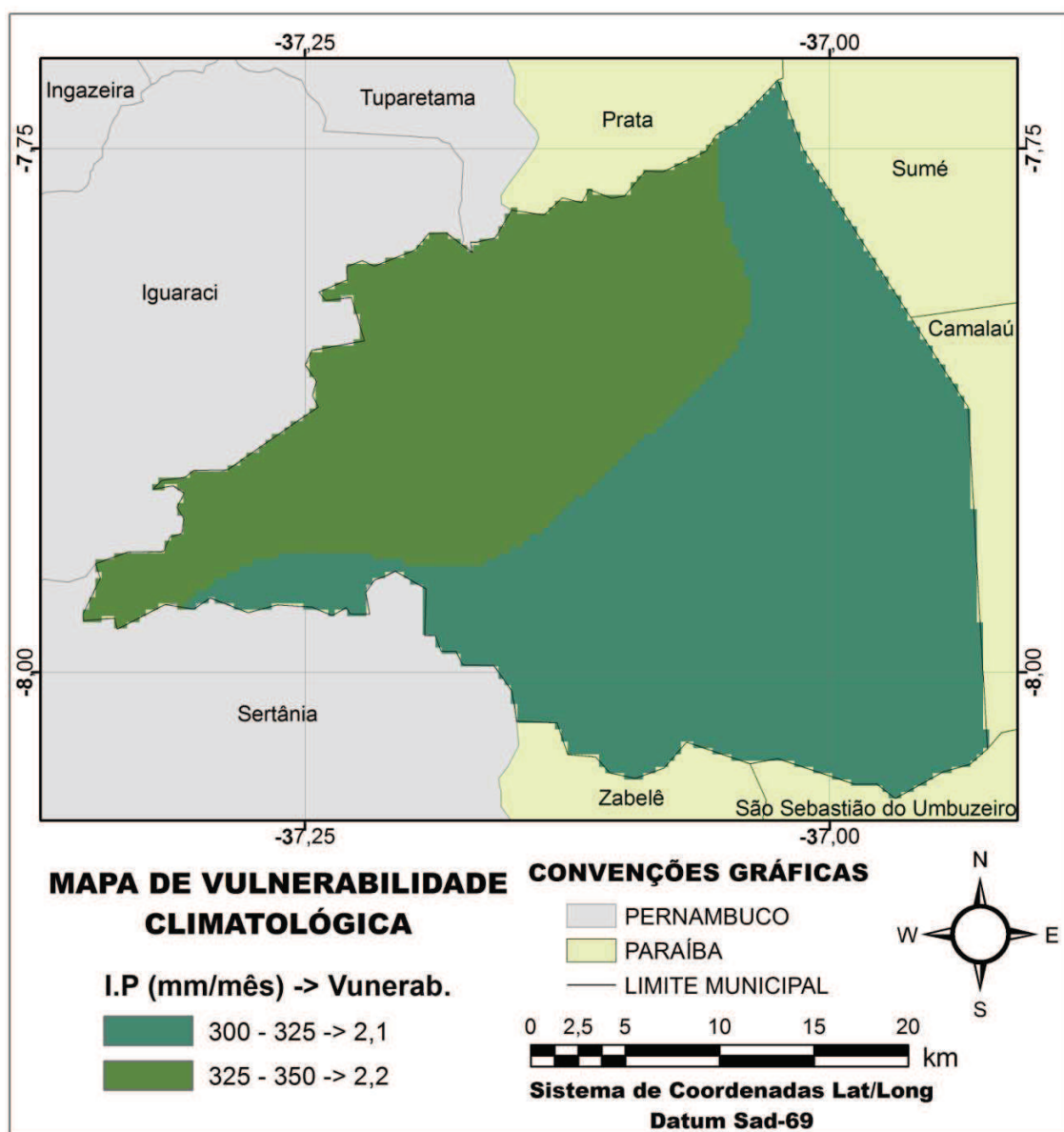
FONTE: Autor (2014)

Figura 19 - Interpolação pelo método do quadrado da distância (IQD) da intensidade pluviométrica obtida mediante dados de precipitação do TRMM para os anos de 1998 e 2013



FONTE: Autor (2014)

Figura 20 - Mapa de vulnerabilidade climatológica do município de Monteiro, Paraíba, referente aos anos de 1998 e 2013



FONTE: Autor (2014)

O mapa de vulnerabilidade climatológica para o Município de Monteiro, Paraíba, apresenta duas classes, com valores de I_p entre 300-325 e 325-350 mm/mês, ambas com propensão ao risco mediana (Tabela 12). Isso comprova o que Crepani *et al.* (2008) afirmam quando mencionam que uma elevada pluviosidade anual, mas com distribuição ao longo de todo o período chuvoso, tem um poder erosivo muito menor do que uma baixa precipitação, mas que ocorre torrencialmente num determinado período do ano, sendo responsável pela intensa denudação do solo das regiões semiáridas, caracterizadas pela abundância de afloramentos rochosos e pequena espessura do solo.

TABELA 12 - Escala de vulnerabilidade relacionada à climatologia do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas

Vulnerabilidade	Área (km ²)	Porcentagem	Propensão ao risco
2,1	594,47	60,24	Medianamente estável/instável
2,2	392,30	39,76	
TOTAL	986,77	100,00	

FONTE: Autor (2014)

4.3.6. Análise da vulnerabilidade à perda do solo

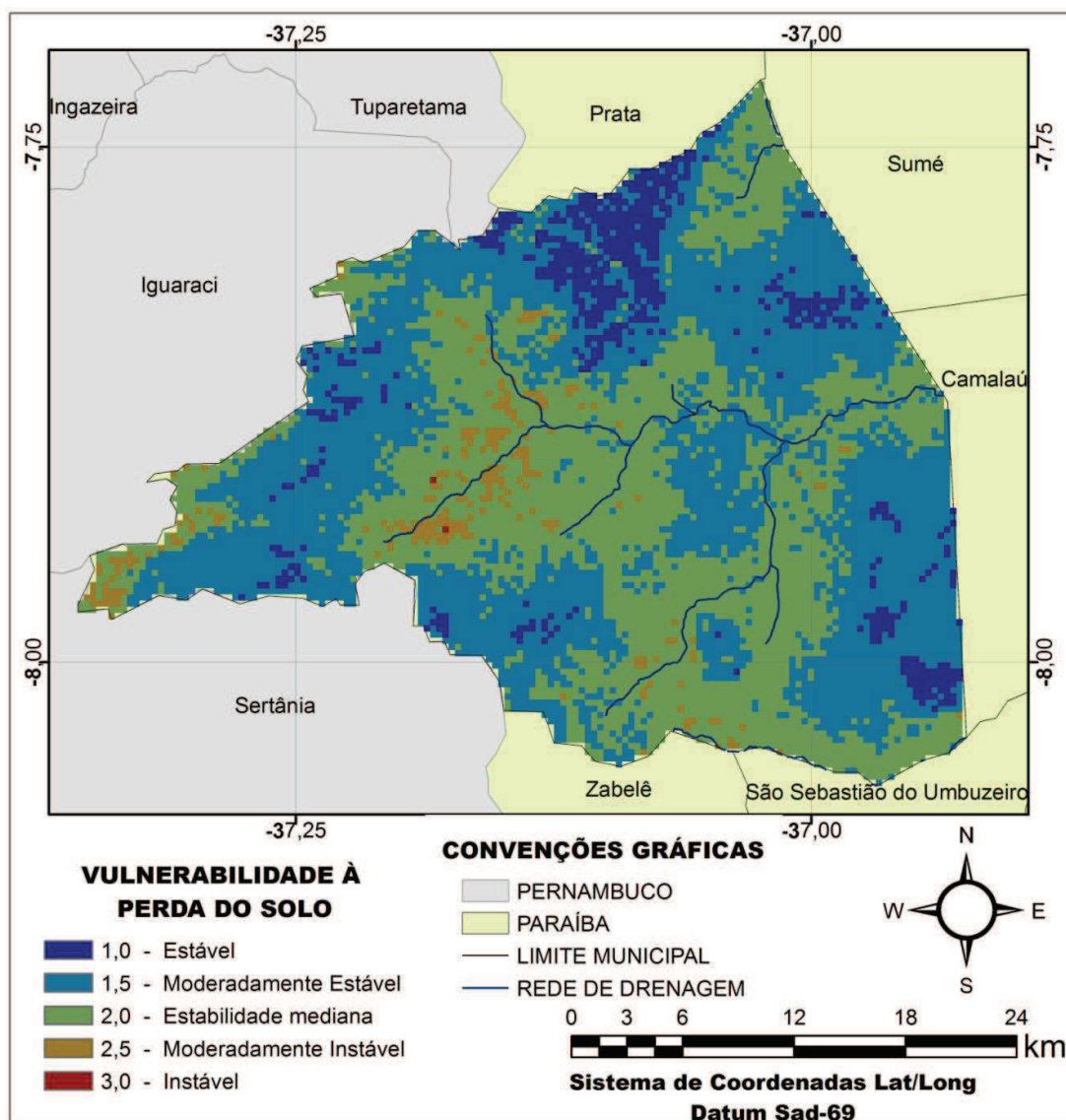
Foi constatado que uma grande porcentagem da área total do município concentra-se em estável ou medianamente estável e pouco menos de 3% da área total do município apresenta-se instável ou moderadamente instável. As áreas de maior vulnerabilidade são nas proximidades da área urbana, das faixas marginais dos cursos d'água e áreas de maior declividade (Figura 21 e Tabela 13).

TABELA 13 - Escala de vulnerabilidade à perda do solo do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas e porcentagens

Vulnerabilidade	Área (km ²)	%	Propensão ao risco
1,0	479,19	48,56%	Estável
1,5	69,42	7,04%	Moderadamente estável
2,0	410,66	41,62%	Medianamente estável/instável
2,5	27,28	2,76%	Moderadamente instável
3,0	0,22	0,02%	Instável
TOTAL	986,77	100,00%	

FONTE: Autor (2014)

Figura 21 – Mapa de vulnerabilidade à perda do solo do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

4.4. Estimativa da perda do solo

4.4.1. Fator de Erosividade (R)

Analisando os dados obtidos nas Tabelas 14 e 15, constatou-se que a média do fator de erosividade adquiridos por dados do TRMM, em relação ao calculado a partir dos dados dos postos pluviométricos foi de aproximadamente 15% superior. Isso se deve aos valores mais elevados de intensidade pluviométrica obtidos pelo TRMM. A partir dos dados do Fator R, gerou-se os mapas de erosividade referentes aos dados dos postos pluviométricos e dos dados do TRMM (Figuras 22 e 23).

TABELA 14 – Dados pluviométricos de doze postos mais próximos da área de estudo

Pontos	Long	Lat	Media anual	Fator R	Fonte
Afogados do Ingazeira	-37,62	-7,74	696,75	4517,79	APAC
Iguaraci	-37,51	-7,81	579,65	3890,36	APAC
São José do Egito	-37,28	-7,44	651,55	4250,25	APAC
Sertânia	-37,28	-8,06	545,77	3608,95	APAC
Camalaú	-36,82	-7,89	409,81	2933,02	AESA
Monteiro/Açude Poções	-36,99	-7,88	525,45	3488,01	AESA
Monteiro/EMBRAPA	-37,12	-7,88	628,99	3935,24	AESA
Monteiro/INMET	- 37,10	-7,80	675,20	4060,79	INMET
Prata	-37,08	-7,695	595,36	3938,64	AESA
São João do Tigre	-36,84	-8,08	437,40	3079,27	AESA
São Sebastião do Umbuzeiro	-37,00	-8,15	535,54	3563,53	AESA
Sumé	-36,89	-7,67	564,47	3759,87	AESA
572,06				3752,14	

FONTE: Autor (2014)

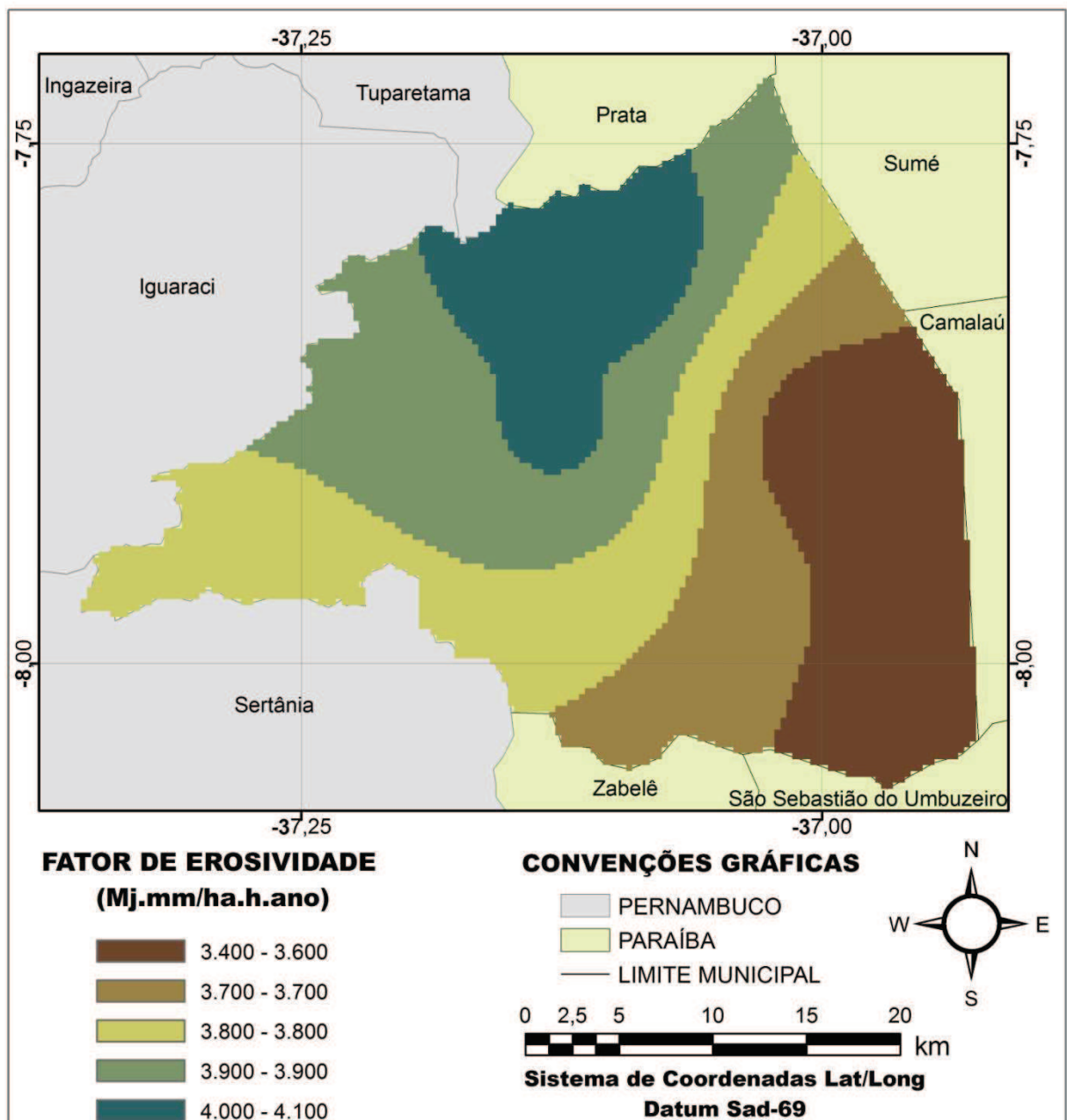
TABELA 15 – Dados pluviométricos obtidos a partir de estimativas do TRMM nas proximidades da área de estudo

Pontos	Long.	Lat.	Media anual	Fator R (Mj.mm/há.h.ano)
1	-37,50	-7,50	865,50	5439,06
2	-37,25	-7,50	783,89	4977,77
3	-37,00	-7,50	649,43	4245,80
4	-36,75	-7,50	589,64	3885,93
5	-37,50	-7,75	820,44	5078,42
6	-37,25	-7,75	753,21	4730,74
7	-37,00	-7,75	643,63	4130,50
8	-36,75	-7,75	572,71	3771,77
9	-37,50	-8,00	762,50	4722,81
10	-37,25	-8,00	717,88	4480,13
11	-37,00	-8,00	600,50	3896,79
12	-36,75	-8,00	550,37	3625,51
13	-37,50	-8,25	696,18	4310,88
14	-37,25	-8,25	630,42	4040,72
15	-37,00	-8,25	643,81	3984,70
16	-36,75	-8,25	614,80	3823,17
646,62				4321,54

FONTE: Autor (2014)

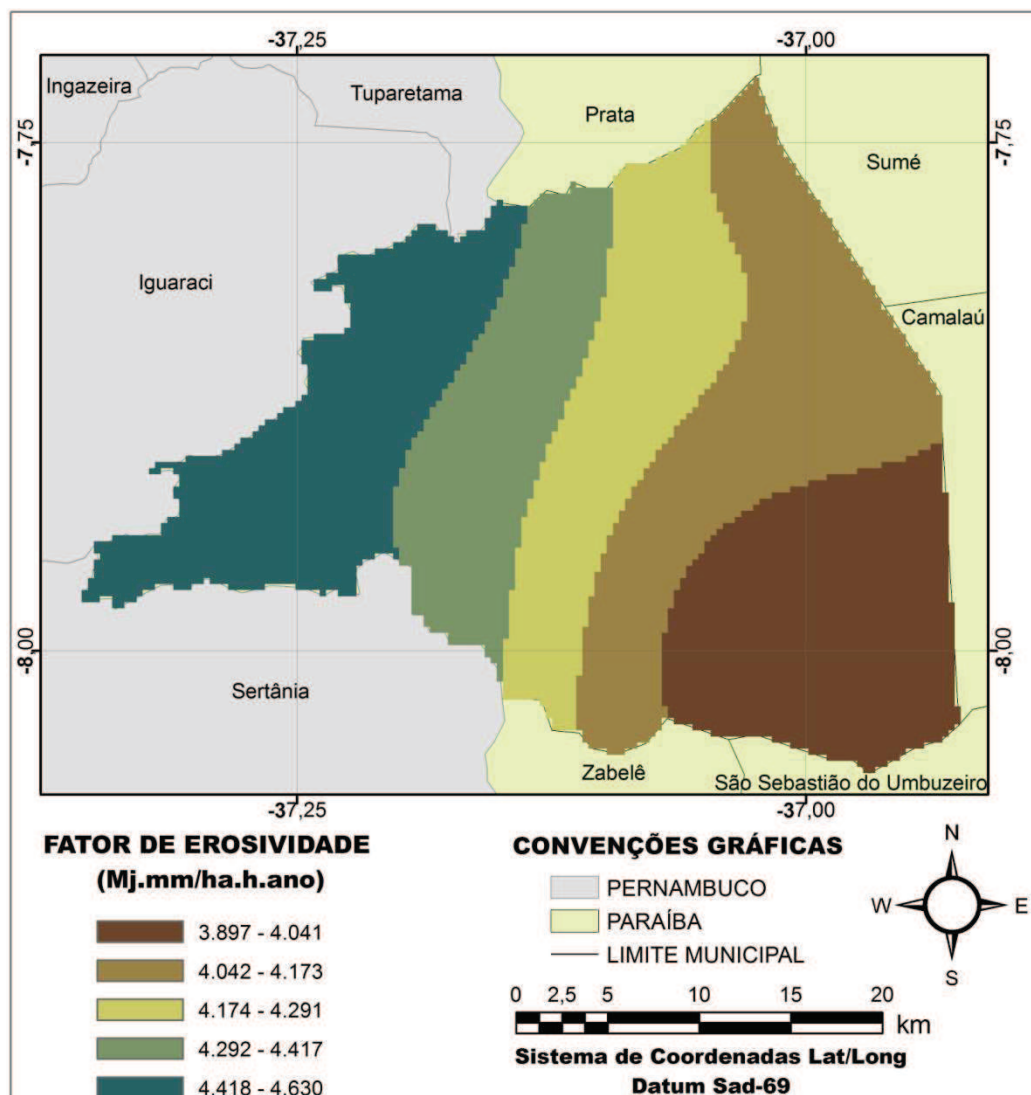
Os valores de erosividade obtidos dos postos pluviométricos foram maiores nos municípios de Afogados do Ingazeira, São José do Egito, Prata, Igaraci, além de Monteiro, que são municípios situados mais ao noroeste. Já os de menor valor foram obtidos em Camalaú e São João do Tigre que estão situados ao sudeste do município de estudo.

Figura 22 – Mapa de erosividade do município de Monteiro, Paraíba, gerados a partir dos dados dos postos pluviométricos



FONTE: Autor (2014)

Figura 23 – Mapa de erosividade do município de Monteiro, Paraíba, gerados a partir dos dados do TRMM



FONTE: Autor (2014)

Com relação às figuras 22 e 23, constatou-se certa semelhança quanto aos menores valores de erosividade em ambos os casos, onde o menor potencial erosivo ficou concentrado na região sudeste do município. No entanto, observou-se certa divergência quanto aos maiores valores de erosividade, onde, para os dados obtidos de postos pluviométricos, concentram-se na região norte do município, enquanto que para os dados do TRMM encontram-se na região mais ao oeste e noroeste, sendo essas regiões também as de maior altitude.

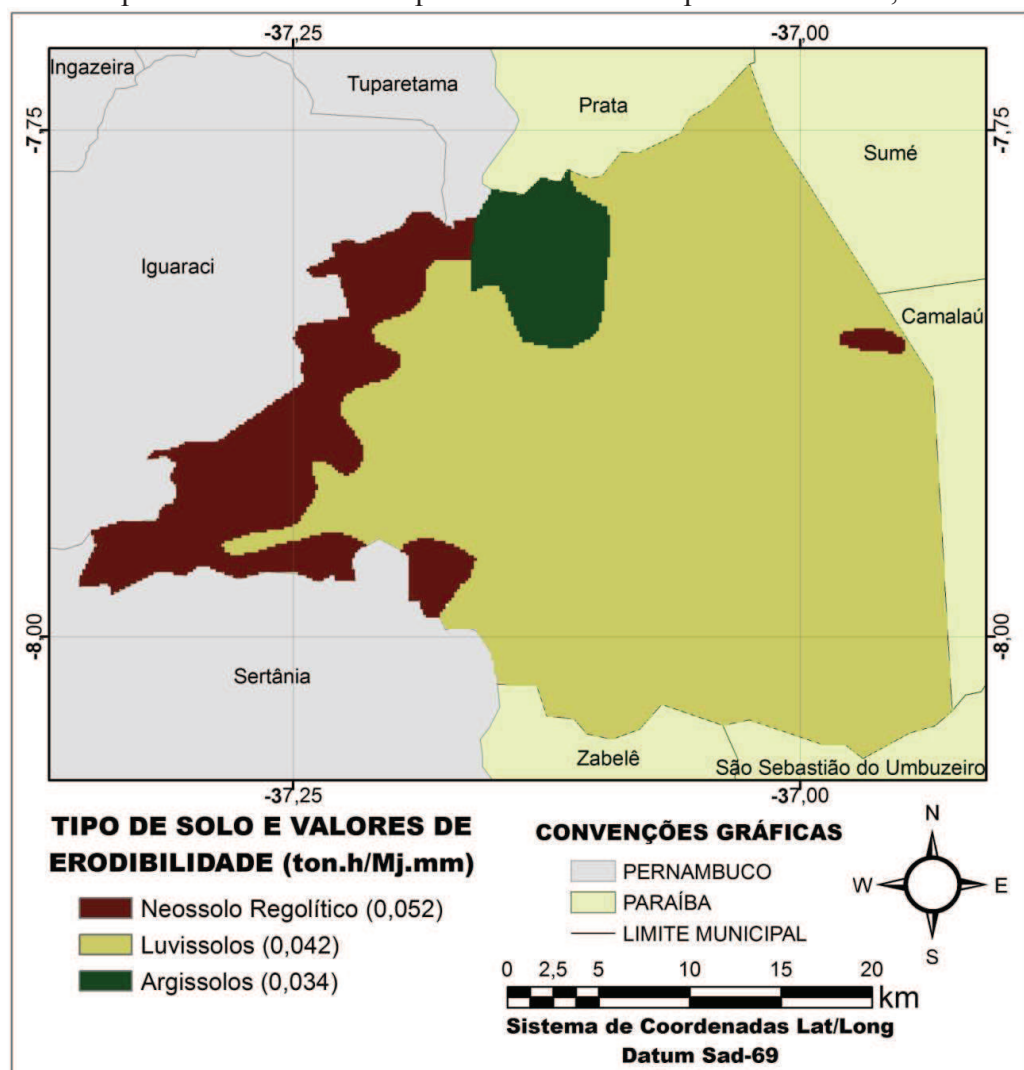
Como o mapa de vulnerabilidade à perda de solo foi calculado a partir de dados de TRMM (e não, a partir de dados de postos pluviométricos), optou-se por utilizar o Fator de Erosividade (R) também a partir do TRMM para o cálculo da estimativa de perda do solo, mantendo assim a semelhança entre os dados obtidos.

4.4.2. Fator de Erodibilidade (K):

O fator de erodibilidade do solo (K) está associado aos tipos de solos. Os valores apresentados na tabela 16 foram obtidos a partir do trabalho de Silva *et al.* (2009) que, por sua vez, compilou valores de alguns solos do Brasil, disponíveis na literatura para unidades pedológicas similares às da área em estudo, onde os valores foram adquiridos em experimentos de campo. Segundo eles, a metodologia utilizada para a obtenção do fator K, além de seu alto custo, demanda muito tempo até que sejam obtidos valores definitivos sobre unidades específicas dos solos.

A partir do mapa de solos disponibilizados pela EMBRAPA (1999) e dos valores de erodibilidade proposto por Silva *et al.* (2009), obteve-se o mapa de erodibilidade do município de Monteiro, Paraíba (Figura 24):

Figura 24 – Mapa de erodibilidade e tipo de solo do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

TABELA 16 – Valores de erodibilidade (K) para diferentes tipos de solos do município de Monteiro, Paraíba, e suas respectivas áreas

Pedologia	Erodibilidade (Ton.H/Mj.Mm)	Área (Km ²)	%
Neossolos Regolíticos	0,052	149,85	15,26
Argissolos	0,034	52,72	5,45
Luvissolos	0,042	784,80	79,29
TOTAL		986,77	100,00

FONTE: Autor (2014)

Devido à predominância de solos do tipo Luvisolo, aproximadamente 80% da área do município apresenta susceptibilidade do solo em sofrer erosão de 0,042 ton.h/Mj.mm. Observou-se que os maiores valores de erodibilidade foi referente ao solo Neossolo Regolítico com fator de erodibilidade de 0,052 ton.h/MJ.mm, com abrangência de 15,26% da área total do município, sendo o solo mais susceptível à erosão. Os solos do tipo Argissolos, que abrangem 5,41% da área total do município, apresentam o menor valor de erodibilidade, e, conseqüentemente, menor susceptibilidade a processos erosivos (Figura 24 e Tabela 16).

4.4.3. Fator Topográfico (LS):

Ao aplicar a álgebra de mapa, segundo a equação (3.6), utilizando o comprimento de rampa, em metros, e grau de declividade, em %, constatou-se uma variação de 0 a 17, sendo reclassificado em seis classes (Figura 25 e Tabela 17).

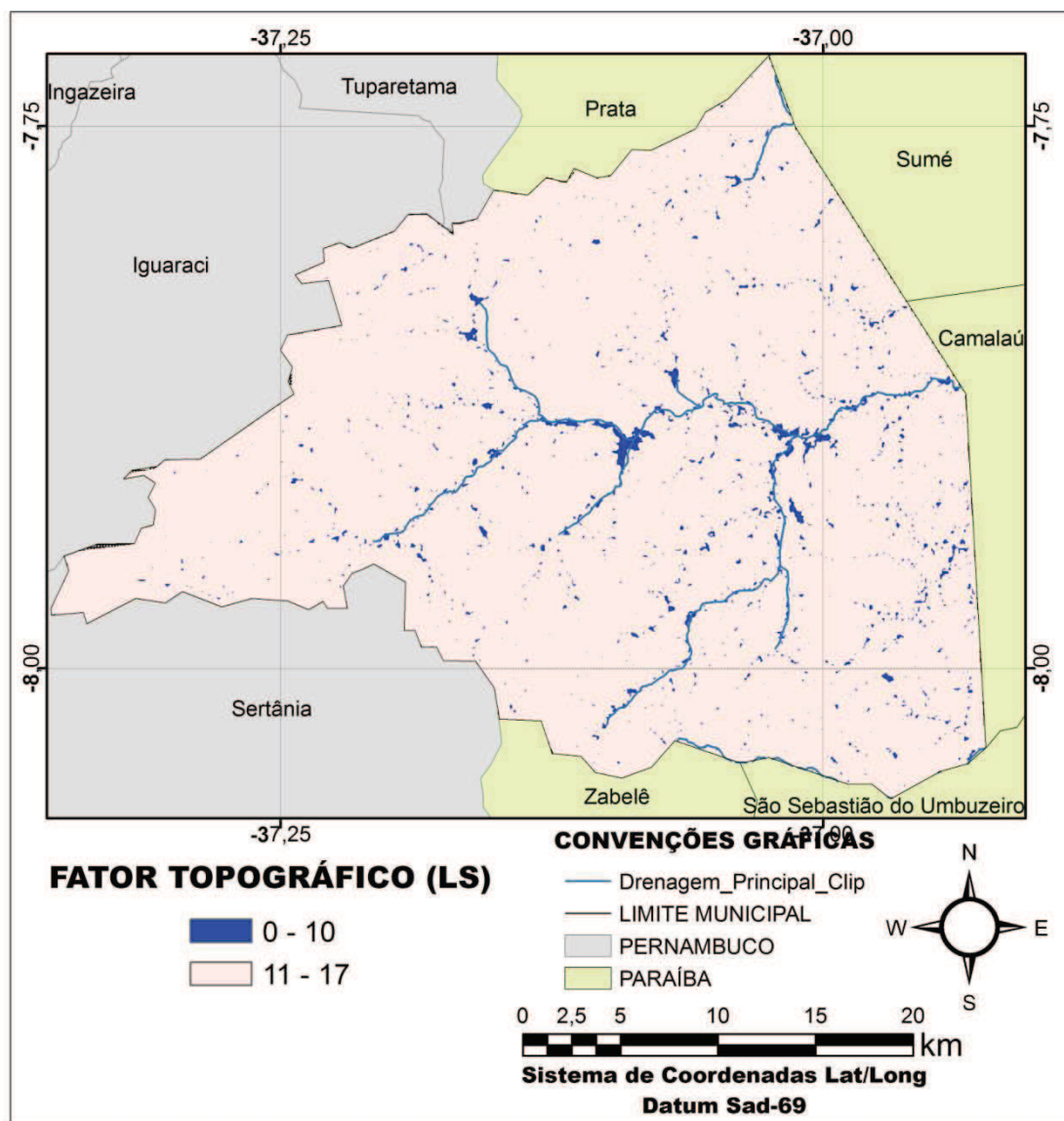
Verificou-se uma grande concentração de índices que variam de 10 a 17. Isto provavelmente se deve ao predomínio de serras e vertentes na região. Já nas áreas próximas às margens dos cursos de água, encontram-se os menores índices, onde o comprimento de rampa ainda é reduzido.

TABELA 17 – Fator LS e suas respectivas áreas, referente ao município de Monteiro, Paraíba

Fator Ls	Área (Km ²)	%
0 – 1	18,48	1,873
1 – 3	0,00	0,000
3 – 5	0,01	0,001
5 – 7	0,01	0,001
7 – 10	0,02	0,002
> 10	968,25	98,123
TOTAL	986,77	100,00

FONTE: Autor (2014)

Figura 25 – Espacialização do fator topográfico LS do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

O estudo feito por Xavier et al. (2013) na bacia do Rio Mumbaba, Estado da Paraíba, foi encontrado valores parecido, porém com predominância diferente, onde foi constatado uma variação de 0 a 13, sendo a maior parte variando de 0 a 3.

4.4.4. Fator de uso e ocupação do solo (C) e práticas conservacionistas (P):

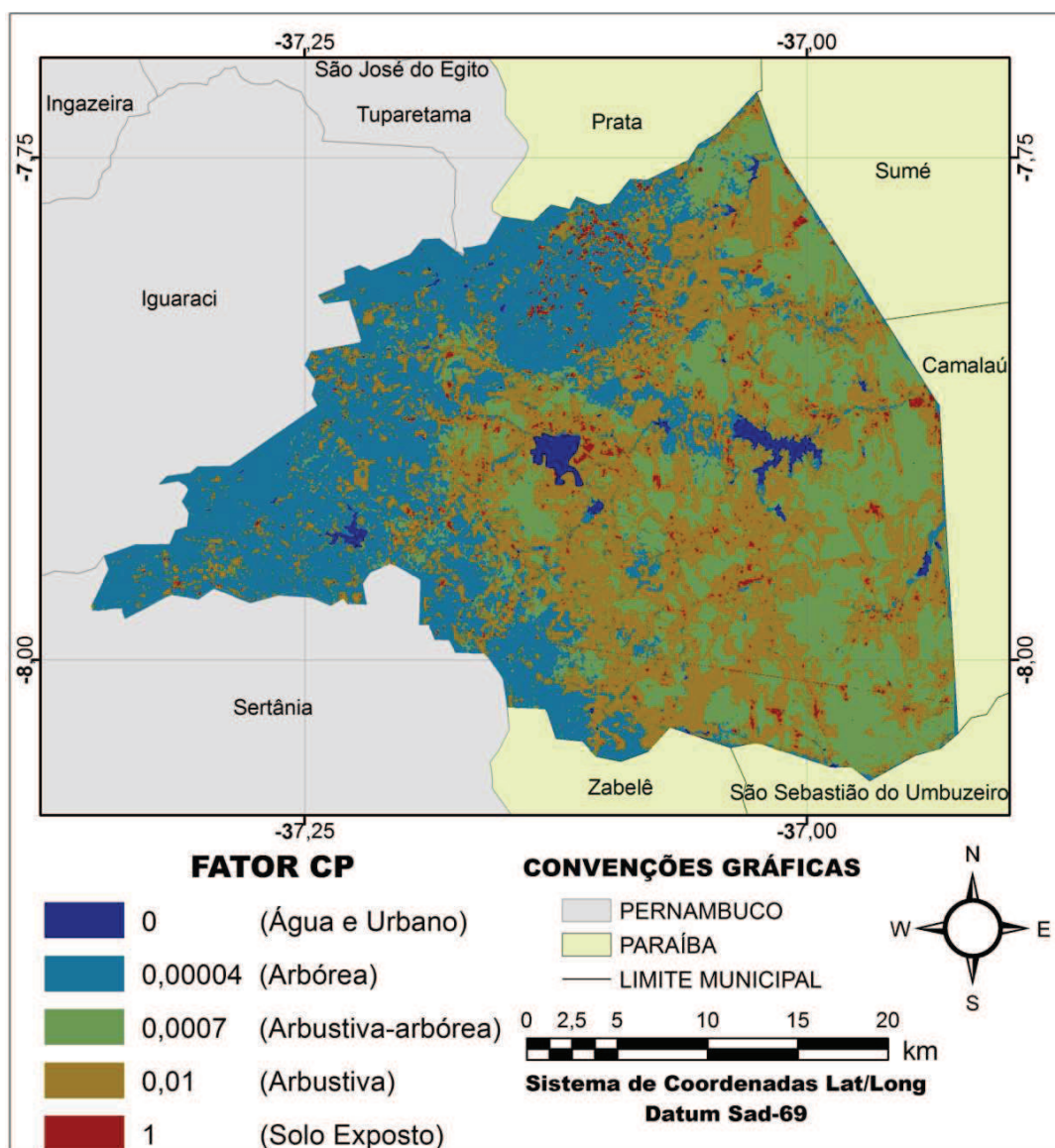
Adotaram-se os valores do fator CP adaptados da proposta de Borges (2009), conforme demonstrado na Tabela 18, para obter a Espacialização dos fatores de uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas (Fator CP) do Município de Monteiro, Paraíba (Figura 26).

TABELA 18 – Valores de CP para os tipos de uso do solo e cobertura vegetal no município de Monteiro, Paraíba, com suas respectivas áreas e porcentagens

CLASSES	Área (km ²)	%	Fator CP
Água	9,24	0,94	0,0
Arbustiva	322,00	32,63	0,01
Arbustiva-Arbórea	373,48	37,85	0,0007
Arbórea	257,70	26,12	0,00004
Solo Exposto	19,70	2,00	1,0
Urbano	4,65	0,47	0,0
TOTAL	986,77	100,00	—

FONTE: Autor (2014)

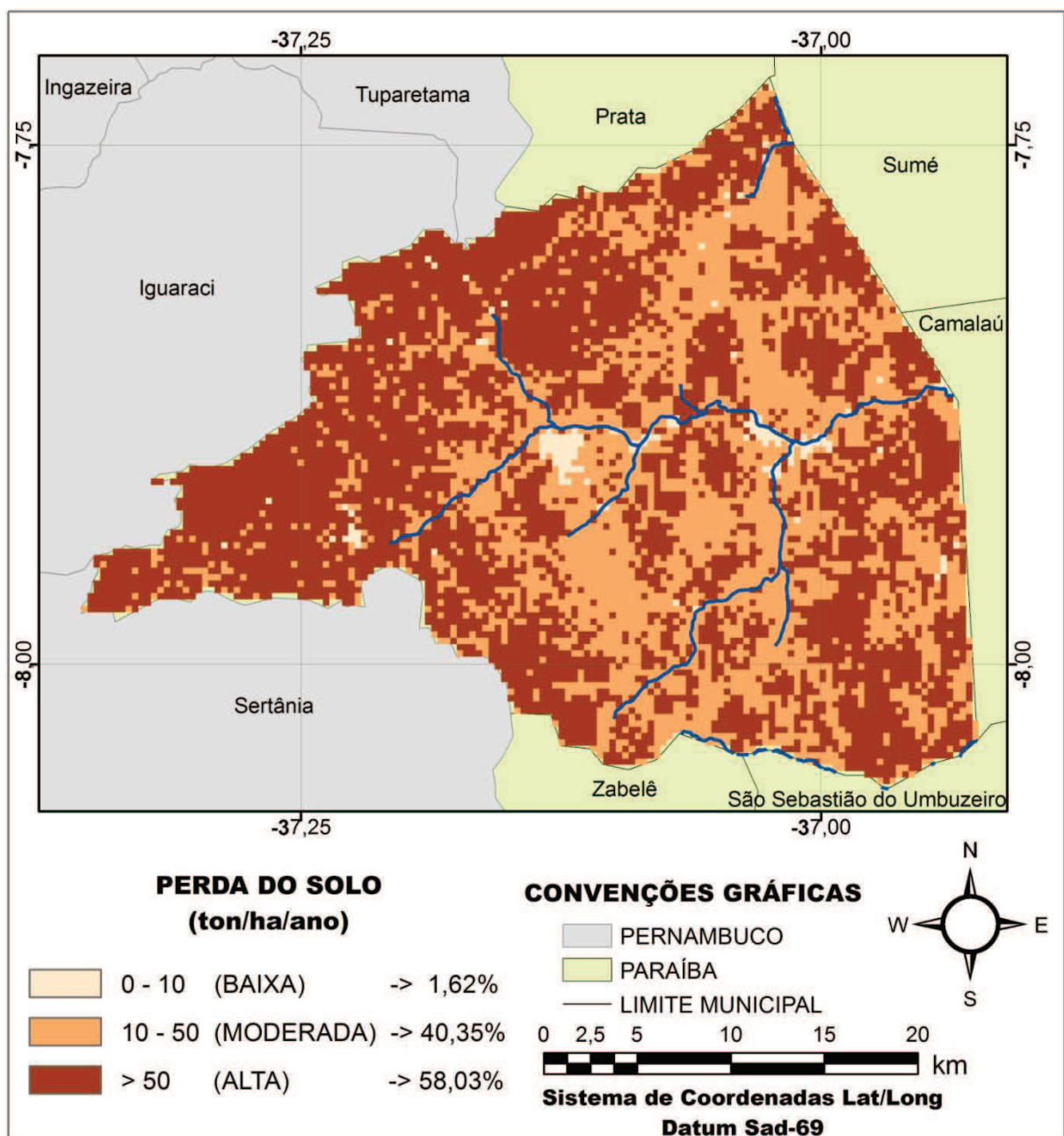
Figura 26 – Espacialização dos fatores de uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas (Fator CP) do município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

Através da técnica de álgebra de mapas, determinou-se a estimativa das perdas de solo utilizando a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) (Figura 27). Observou-se que as perdas de solo acima de 50 t/ha/ano ocorreram na maior parte do município de Monteiro parte do município, no qual segundo FAO (1980) são classificados como alto grau de erosão. Apenas 1,62% da área total do município apresenta-se como de baixo grau de erosão, sendo esses valores decorrentes da presença das classes água e solo urbano, que apresentam valores do Fator C iguais à zero.

Figura 27 – Estimativa da perda de solo do Município de Monteiro, Paraíba



FONTE: Autor (2014)

4.5. Determinação do Zoneamento Ambiental: vulnerabilidade e estimativa da perda do solo

4.5.1. Zoneamento Ambiental com base na vulnerabilidade à perda de solo

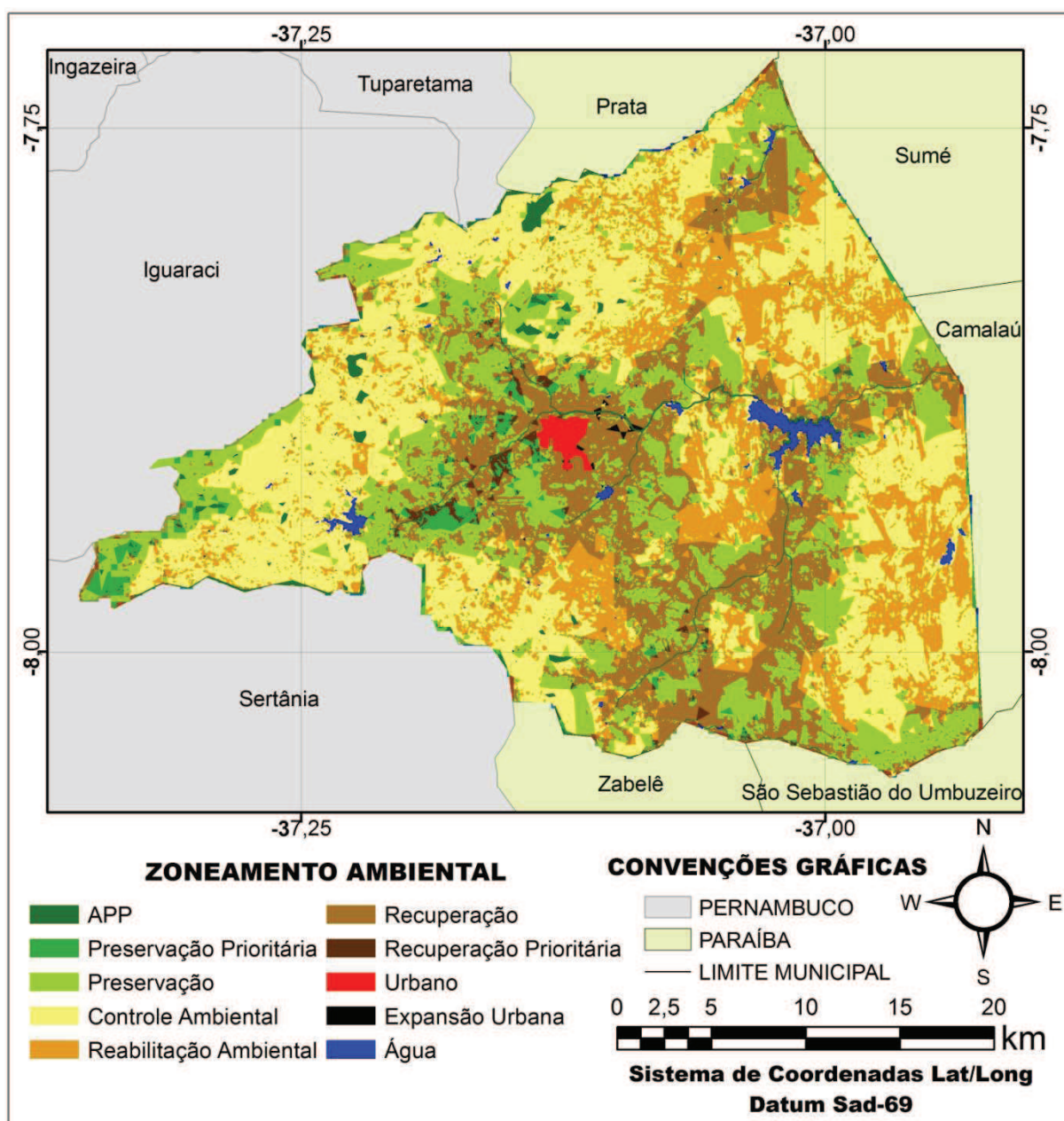
A partir da combinação dos mapas de vulnerabilidade à perda de solo, Áreas de Preservação Permanente e uso e ocupação do solo (Figura 3), desenvolveu-se o mapa de zoneamento ambiental do município de Monteiro, Paraíba, seguindo a combinação das classes apresentada no Quadro 8. A Tabela 19 apresenta as áreas e o percentual de cada classe do ZA gerado a partir do mapa de vulnerabilidade à perda de solo. Esse produto permite analisar as informações sobre a localização das áreas que precisam ser preservadas, as que devem ser recuperadas e as passíveis de ocupação (Figura 28).

TABELA 19 – Classes do ZA2 gerado a partir do mapa de vulnerabilidade à perda de solo e suas respectivas áreas e porcentagem em relação à área total do município de Monteiro, Paraíba

Classes	Área (km ²)	%
Área de Preservação Permanente (APP)	13,28	1,35
Área de Preservação Prioritária	16,36	1,66
Área de Preservação	212,70	21,55
Área de Controle Ambiental	346,46	35,11
Área de Reabilitação Ambiental	186,49	18,90
Área de Recuperação	190,65	19,32
Área de Recuperação Prioritária	6,27	0,64
Área Urbana	4,65	0,47
Área de Expansão Urbana	0,68	0,07
Água	9,24	0,94
TOTAL	986,77	100,00

FONTE: Autor (2014)

Figura 28 - Mapa de Zoneamento Ambiental (ZA1) do Município de Monteiro, Paraíba, gerado a partir do mapa de vulnerabilidade à perda de solo.



FONTE: Autor (2014)

O ZA gerado a partir da vulnerabilidade à perda do solo apresenta dez zonas, sendo a maior parte identificada como área de Controle Ambiental que é uma área que requer manutenção da cobertura vegetal existente e da qualidade dos recursos hídricos, podendo haver ocupação nessa área desde que haja um plano de controle ambiental.

Cerca de 21% da área do município (212,55 km²) tiveram seu uso indicado para preservação, devido vulnerabilidade mediana e por possuir vegetação médio ou alto. Já uma pequena área (16,36 km²) teve seu uso indicado para Área de Preservação Prioritária, cuja

vulnerabilidade é alta. Há ainda as Áreas de Preservação Permanente (APPs) que representam 1,35% do total do município, equivalente a 13,28 km², sendo essas áreas de topos de morro, próximos à nascentes, represas e cursos d'água.

Para recuperação foram identificados 190,65 km², equivalente a 19,32% da área total do município, sendo caracterizada por solo exposto ou vegetação arbustiva e vulnerabilidade mediana. Uma pequena porcentagem do município destina-se à Recuperação Prioritária (0,64%), com vulnerabilidade muito alta e presença de solo exposto e vegetação arbustiva. Há ainda as áreas de Reabilitação Ambiental, representando 18,90%, o que equivale a 186,49 km², caracterizada por solo exposto ou vegetação arbustiva e vulnerabilidade baixa.

Apenas 0,68 km² do município teve o uso indicado para Expansão Urbana, apresentando vulnerabilidade baixa e presença de solo exposto e vegetação arbustiva, além de está nas proximidades da área urbana.

4.5.2. Zoneamento Ambiental com base na estimativa de perda de solo

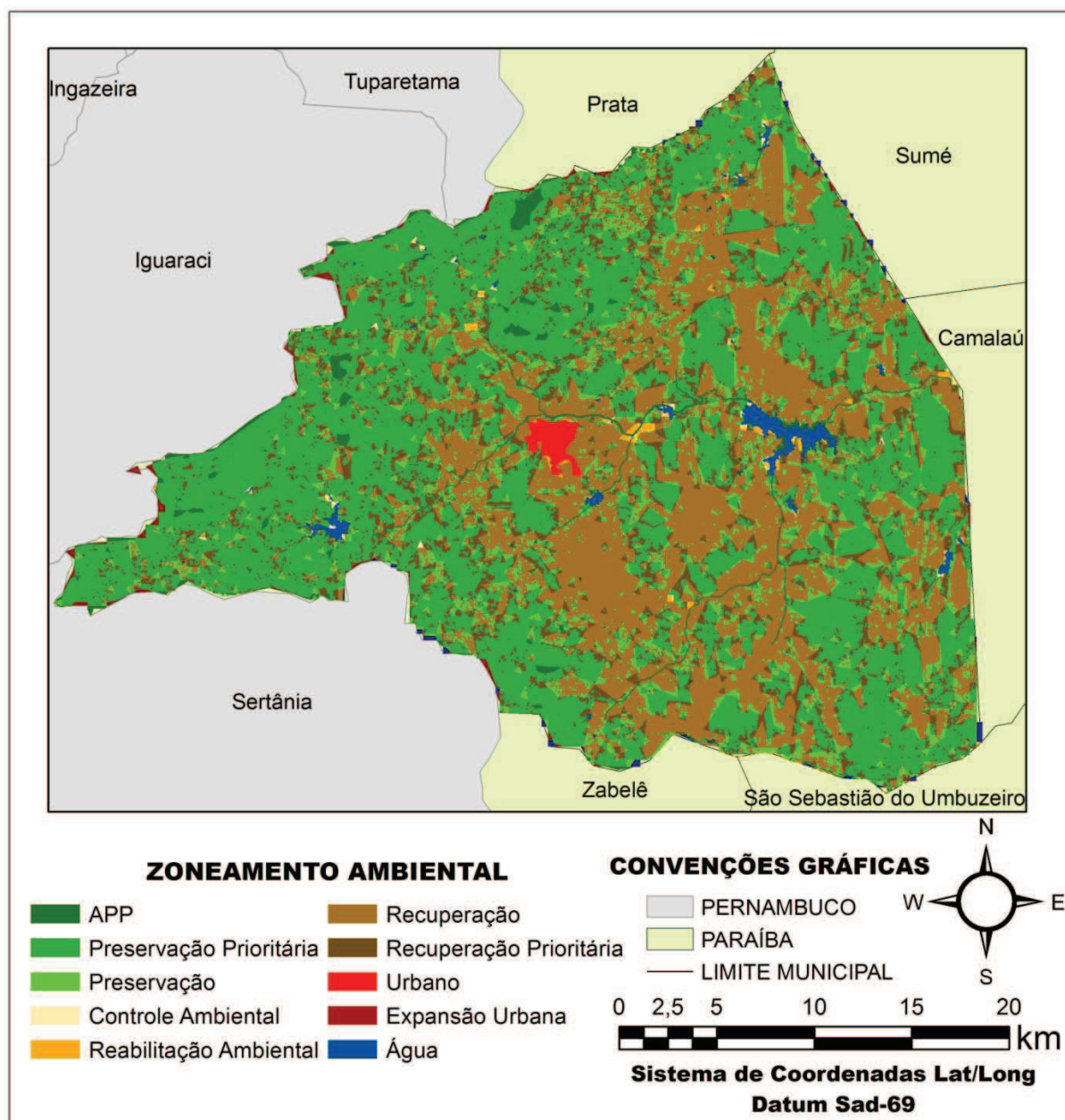
Fazendo uma analogia a metodologia adaptada de Crepani et al. (2008), elaborou-se também o mapa de zoneamento ambiental do município de Monteiro-PB, porém, utilizando, ao invés do mapa vulnerabilidade à perda de solo, o mapa de perda de solo obtido através da EUPS (Figura 29). A Tabela 20 apresenta as áreas e porcentagens para cada classe do ZA.

TABELA 20 – Classes do ZA2 gerado a partir do mapa de perda de solo obtido pela EUPS e suas respectivas áreas e porcentagem em relação à área total do município de Monteiro, Paraíba

Classes	Área (km ²)	%
Área de Preservação Permanente (APP)	13,28	1,35
Área de Preservação Prioritária	462,87	46,91
Área de Preservação	106,00	10,74
Área de Controle Ambiental	1,99	0,20
Área de Reabilitação Ambiental	6,60	0,67
Área de Recuperação	287,35	29,12
Área de Recuperação Prioritária	94,73	9,60
Área Urbana	4,65	0,47
Área de Expansão Urbana	0,06	0,01
Água	9,24	0,94
TOTAL	986,77	100,00

FONTE: Autor (2014)

Figura 29 - Mapa de Zoneamento Ambiental (ZA2) do Município de Monteiro, Paraíba, gerado a partir da Equação Universal de perda de solo (EUPS)



FONTE: Autor (2014)

Diferente do zoneamento ambiental gerado através do mapa de vulnerabilidade à perda de solo, este zoneamento apresenta um grande percentual de Área de Preservação Prioritária, que apresenta alto grau de erosão e áreas cobertas por vegetação de mata densa e preservada, recursos hídricos não degradados, inexistência de aglomerações urbanas e atividades humanas rarefeitas. Já a Área de Controle Ambiental, identificada em maior quantidade no ZA anterior, apresentou apenas 0,20% nesse ZA gerado a partir do mapa de perda de solo obtido pela EUPS.

Além da Área de Preservação Prioritária que representou quase 47% da área total do município (462,87 km²), apresentou ainda aproximadamente 11% de sua área (106km²) destinado à Preservação, cujo grau de erosão é médio (Tabela 21).

Para recuperação foram identificados 287,35 km², equivalente a 29,12% da área total do município, cujo grau de erosão também é médio, porém é caracterizada por existência de solo exposto ou vegetação arbustiva. A Área de Recuperação Prioritária, cujo grau de erosão é alto, foi representado por 9,6% da área total do município (94,73 km²) (Tabela 21).

As áreas de Reabilitação Ambiental (caracterizada por solo exposto ou vegetação arbustiva e baixo grau de erosão) e Expansão Urbana (localizado nas proximidades da área urbana, com presença de solo exposto e vegetação arbustiva e caracterizado por baixo grau de erosão) representam menos de 1% da área municipal, sendo 0,67 e 0,01%, respectivamente.

A diferença entre as áreas para cada zoneamento pode ser observado na Tabela 21.

TABELA 21 – Diferença entre áreas para cada Zoneamento Ambiental

Classes	Área (km ²)		Diferença entre as classes
	Através da metodologia de Crepani et al. (2008)	Através da EUPS	
Área de Preservação Permanente (APP)	13,28	13,28	–
Área de Preservação Prioritária	16,36	462,87	-446,51
Área de Preservação	212,70	106,00	106,70
Área de Controle Ambiental	346,46	1,99	344,47
Área de Reabilitação Ambiental	186,49	6,60	179,89
Área de Recuperação	190,65	287,35	-96,70
Área de Recuperação Prioritária	6,27	94,73	-88,46
Área Urbana	4,65	4,65	–
Área de Expansão Urbana	0,68	0,06	0,62
Água	9,24	9,24	–
TOTAL	986,77	986,77	

FONTE: Autor (2014)

A tabela demonstra as grandes diferenças entre as Áreas de Preservação Prioritária e Controle Ambiental. Isso se deve à diferença no mapa de vulnerabilidade à perda de solo e o mapa de perda de solo obtido pela EUPS, onde o primeiro apresenta maior área com baixo grau de erosão e o segundo com alto grau de erosão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de um Zoneamento Ambiental requer um estudo aprofundado a respeito da localidade que envolve a geologia, geomorfologia, solos, uso da terra e cobertura vegetal, hidrografia, climatologia, obtendo como resultados a análise da perda do solo, mapeamento de Áreas de Preservação Permanente e do uso indicado e gestão territorial. Permite ainda, uma análise multitemporal da evolução do processo de degradação e do uso do solo.

A análise multitemporal do uso e ocupação do solo possibilitou detectar as transformações ocorridas ao longo de vinte e três anos, representadas por acréscimo de vegetação arbustiva e perda de vegetação Arbórea e Arbustiva-arbórea, decorrentes de ações antrópicas, uma vez que foi observado o ganho de vegetação em áreas de maiores dificuldades de acesso, ao contrário das áreas mais baixas e planas. Um crescimento urbano significativo também foi observado ao longo desses vinte e três anos.

A análise climatológica da área de estudo possibilitou comparar dados obtidos de postos pluviométricos com os dados obtidos por estimativa gerada por satélite, onde se observou grande semelhança nos dados obtidos para cada ano. Porém, os dados estimados de satélite apresentam uma média de 15% acima dos dados obtidos de postos pluviométricos.

Os mapas de Zoneamento Ambiental apresentaram grandes diferenças entre algumas classes. Isso ocorreu devido as diferenças entre os mapas de vulnerabilidade à perda do solo e de estimativa de perda do solo. Enquanto que o mapa de vulnerabilidade à perda do solo apresentou em grande maioria como estável ou medianamente estável e pouco menos de 3% da área total do município apresenta-se instável ou moderadamente instável, o mapa de estimativa de perda do solo apresentou na maioria com alto grau de erosão e apenas 0,62% da área total do município apresentam-se como baixo grau de erosão.

As técnicas de sensoriamento remoto e SIG se mostraram bastante eficazes pela agilidade na análise dos resultados, precisão dos dados registrados e a facilidade de manipular os dados, possibilitando o processamento de cálculos, medidas, cruzamentos entre outros.

A metodologia utilizada nessa pesquisa serve de base para elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do município de Monteiro, Paraíba, possibilitando a preservação, reabilitação e recuperação da qualidade ambiental, além de fornecer subsídio para gestão pública e ambiental, auxiliando gestores na tomada de decisão, contribuindo com o desenvolvimento econômico e social local.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, N. V. **Proposta de Zoneamento Ecológico Econômico para a Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual de Tambaba – Paraíba**. 2006. 189 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

ALVES, T. L. B., et al. Classificação climática e caracterização da precipitação pluvial no município de Monteiro-PB. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Poços de Caldas, V.5, N. 1, 2013.

BAKR, N., et al. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. **Applied Geography**, v. 30, p. 592–605, 2010.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4ª ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BIANCHI, C. **A análise ambiental como subsídio para o desenvolvimento sustentável do município de Capistrano – CE**. 2005. 142. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) PRODEMA. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BORGES, K. M. R. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS - Equação Universal de Perda de Solos**. 2009. 80. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 10, de 14 de dezembro de 1988**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1989.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal/ Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. **Estatuto da Cidade**: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. 2 ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2002

BRASIL. **Decreto 4297/2002**. Presidência da República. Brasília, p. 6. 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm. Acesso em: 07 jul 2014.

BRASIL. **Lei n. 6983, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá providências. Brasília, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 de Julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 07 de jul. 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Novo Código Florestal. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acessado em: 12 mai 2014.

CÂMARA, G., et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345. Disponível em: <<http://mtem12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 05 nov 2012.

CÂMARA, G., et al. **Análise Espacial e Geoprocessamento**. In: DRUCK, S., et al. Análise espacial de dados geográficos. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CAMPOS, F. L. S.; et al. **A economia paraibana**: estratégias competitivas e políticas públicas. João Pessoa: Editora universitária, 2006.

CARMO, J. P. de A. do, et al. **Análise da fragilidade ambiental em áreas urbanas**: o caso do município de Londrina – PR. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 15, 2011. Curitiba, PR, INPE. p.0855, 2011. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba: INPE, 2011.

CONSELHO DA EUROPA. **Carta europeia do ordenamento do território**. Lisboa: Ministério do Planeamento e da Administração do Território, 1988.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Cadastro de Fontes de abastecimento por água subterrânea**: diagnóstico de fontes do município de Monteiro/ PB. Recife: CPRM/ PRODEEM, 2005, 19 p.

CREPANI, E. M.; et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

CREPANI, E.; et al. **Zoneamento ecológico-econômico**. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 285 - 318

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Banco de dados pluviométrico e pedológico do Nordeste da Embrapa**. Disponível em: <<http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/pluvsolo/>>. Acesso em: 25 out. 2012.

FAO. **Metodologia provisional para evaluación de la degradación de los suelos**. Roma: FAO/PNUMA/UNEP/UNESCO. 1980. 86 p.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para Geologia. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 31-71.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

GARDIMAN JUNIOR, B. Set al. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 61-71, 2012.

GASPARINI, K. A. C. **Delimitação das Áreas de Preservação Permanente do município de Seropédica, RJ**. 2011. 41f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

GOIS, D. V. **Planejamento ambiental e o uso do geoprocessamento no ordenamento da Bacia do Rio da Dona, Bahia - Brasil**. 2010. 305f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, 2010.

GURGEL, R. S., et al. Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos no município de Riachão das Neves – BA. **Geografia Ensino e Pesquisa**, v. 15, n. 3, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010, Paraíba**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 25 out. 2012.

LOPES, J. L. de S. **Zoneamento ambiental do município de Aquiraz – Ceará**. 2006. 78 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. 12. ed. São Paulo: Malheiros, 2004.

MANFRÉ, L. A.; et al. **Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region)**. *Environmental Earth Sciences*. v. 68, p. 1, 2012.

MANZATTO, C. V.; et al. **Uso agrícola de solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Outros tipos de zoneamentos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/8188-outros-tipos-de-zoneamento>. Acesso em: 02 jul 2014.

MONTAÑO, M.; et al. O zoneamento ambiental e a sua importância para a localização de atividades. **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, v. 6, p. 49–64, 2007.

MONTEIRO. **Lei Complementar nº 007, de 09 de Outubro de 2006**. Institui o Plano Diretor e estabelece diretrizes e Proposições de Desenvolvimento para o Município de Monteiro, 2006.

OLIVEIRA, G. C.; FERNANDES FILHO, E. I. **Metodologia para delimitação de APPs em topos de morros segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informação geográfica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4443-4450.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D. Composição florística e fitossociológica de um fragmento de caatinga em Monteiro, PB. **Holos**, v. 6, n. 28, p. 73-87, 2012.

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

SANTOS, M. R. R. **Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SANTOS, R. M. dos; et al. Análise da fragilidade ambiental no município de Tamboara – PR: aplicação e estudo comparativo de duas metodologias. **Revista Geoambiente on-line**. Jataí, n. 14, p. 93-120, 2010.

SILVA, R. M.; PAIVA, F. M. L.; SANTOS, C. A. G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do Rio Capiá baseado em SIG e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 1, p. 26-40, 2009.

SILVA, J. S. V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental, estudo de caso:** bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT. 2003. 307f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)–Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.

SILVA, S. M. S.; et al. **Características físicas e químicas de um Neossolo Regolítico Eutrófico do Agreste pernambucano.** In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis - SC. Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013.

THOMAS, B. L. Proposta de zoneamento ambiental para o município de Arroio do Meio-RS. **O Espaço Geográfico em Análise**, n. 24, p. 199-226, 2012.

XAVIER, A. P. C., et al. **Avaliação da influência do uso e ocupação do solo nas perdas de solo na Bacia do Rio Mamuaba, Estado da Paraíba.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1-9.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses:** A guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p.