



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DOUTORADO EM GEOGRAFIA**

FRANCISCO SÉRGIO DE ALMEIDA PINHEIRO

**VULNERABILIDADE À EROSÃO E MORFODINÂMICA NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.**

FORTALEZA – CEARÁ

2015

FRANCISCO SÉRGIO DE ALMEIDA PINHEIRO

VULNERABILIDADE À EROSÃO E MORFODINÂMICA NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de Concentração: análise geoambiental e ordenação do território nas regiões semiáridas e litorâneas.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

FORTALEZA – CEARÁ

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Pinheiro, Francisco Sérgio de Almeida.

Vulnerabilidade à erosão e morfodinâmica na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, CE. [recurso eletrônico] / Francisco Sérgio de Almeida Pinheiro. - 2015.

1 CD-ROM: il.; 4 ¾ pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 170 folhas, acondicionado em caixa de DVD Slim (19 x 14 cm x 7 mm).

Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2015.

Área de concentração: Análise geoambiental e ordenação do território nas regiões semiáridas e litorâneas.

Orientação: Prof. Ph.D. Fábio Perdigão Vasconcelos.

1. Vulnerabilidade à erosão. 2. Morfodinâmica. 3. Sub-bacia hidrográfica. 4. Semiárido. 5. Sistema de informações geográficas. I. Título.

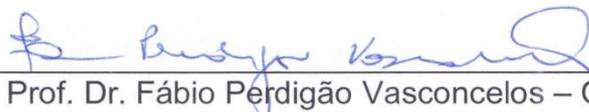
FRANCISCO SÉRGIO DE ALMEIDA PINHEIRO

VULNERABILIDADE À EROSÃO E MORFODINÂMICA NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de Concentração: análise geoambiental e ordenação do território nas regiões semiáridas e litorâneas.

Aprovada em: 1.º de junho de 2015

BANCA EXAMINADORA:



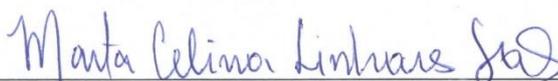
Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos – Orientador
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Prof. Dr. Manuel Rodrigues de Freitas Filho
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Prof. Dr. Flávio Rodrigues do Nascimento
Universidade Federal Fluminense – UFF



Prof. Dra. Marta Celina Linhares Sales
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Dra. Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Aos meus amados: Erdinan (*in
memoriam*) e Clécia (pais); Patrícia
(esposa); Giovana, Ricardo e Júnior
(irmãos).

AGRADECIMENTOS

Agradecer é um ato de humildade e de reconhecimento das limitações que nos são impostas, sejam estas de ordem pessoal ou não.

A Deus, razão maior de todas as coisas.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pelo apoio financeiro.

Ao professor Fábio Perdigão Vasconcelos, do qual recebi atenção e confiança no decorrer das atividades de orientação.

Aos professores e servidores do Programa de Pós-graduação em Geografia da UECE, em especial o professor Manuel Rodrigues pela efetiva colaboração.

Aos amigos de curso, pela enriquecedora convivência, em especial Marcus Vinícius e Paulo Pessoa.

Aos professores do curso de Geografia da Faculdade de Filosofia Dom Aureliano Matos – FAFIDAM/UECE, em especial os professores Erika Brito e Humberto Marinho.

Às estimadas amigas Maria Losângela e Bárbara Maria, que se fizeram presentes com valorosa ajuda nas atividades de campo.

Ao amigo prof. Flávio Nascimento, pelas contribuições intelectuais ao longo da pesquisa.

À prof.^a Marta Celina, pela sua inestimável contribuição no momento da qualificação.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta singela pesquisa.

Os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

Este estudo refere-se à dinâmica da vulnerabilidade à erosão e seus possíveis reflexos sobre o equilíbrio morfopedogenético na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo. Tendo por referência o método proposto por Crepani *et al.* (2001), objetivou-se saber se a utilização de informações espaço-temporais sobre o uso do solo e cobertura vegetal aplicados em modelo de determinação da vulnerabilidade à erosão possibilita a identificação de áreas susceptíveis à instalação de processos morfodinâmicos acelerados. Para tanto, foram trabalhadas informações sobre a geologia, a geomorfologia, os solos, a intensidade pluviométrica bem como as formas de uso e cobertura vegetal relativamente aos anos de 1989, 2000 e 2011. O processamento dos dados foi realizado no sistema de informações geográficas SPRING/INPE através do emprego de álgebra de mapas. Foram identificados níveis de vulnerabilidade potencial e efetiva. Os níveis de vulnerabilidade potencial se mostraram predominantemente classificados como moderadamente estáveis. Para a vulnerabilidade efetiva, houve predominância da classe medianamente estável/vulnerável. Os resultados obtidos se mostraram coerentes com as condições verificadas em levantamento de campo, permitindo concluir que o método aplicado foi eficiente na determinação da vulnerabilidade à erosão, podendo servir de base para estudos de planejamento e ordenamento do território.

Palavras-chave: Vulnerabilidade à erosão. Morfodinâmica. Sub-bacia hidrográfica. Semiárido. Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT

This study refers to the dynamics of vulnerability to erosion and its possible repercussions for the morphopedologic balance in the Figueiredo River sub-basin. Taking as reference the method proposed by Crepani *et al.* (2001), it was aimed at knowing if the utilization of spatiotemporal data on the use of soil and vegetal cover, applied to models which determine the erosion vulnerability, make it possible to identify sensitive areas to the settlement of accelerated morphodynamic processes. Thus, it was taken into consideration a range of information related to geology, geomorphology, soil differences, vegetation cover, the rainfall intensity as well as the management systems, which was gathered in the following years: 1989, 2000 and 2011. The data processing was carried out by the geographical information system SPRING/INPE through employment of algebra maps. It was found out potential vulnerability levels as well as vulnerability levels underway. Potential vulnerability levels were predominantly classified as moderately stable. In regard effective vulnerability, there was a predominance of class moderately stable/vulnerable. The results obtained were consistent with the conditions established in field survey, leading to the conclusion that the method applied was effective in determining vulnerability to erosion and can be used as a reference for land use planning and management of territories.

Keywords: Vulnerability to erosion. Morphodynamics . Sub-basin. Semi-arid. Geographic Information System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, CE.	19
Figura 2 – Sistema de degradação do Meio Ambiente conforme proposição de Tricart (1977).....	33
Figura 3 – Fluxograma geral da metodologia do ZEE com destaque para a elaboração da carta de vulnerabilidade à erosão.....	39
Figura 4 – Vetores do mapeamento dos solos do Estado do Ceará (a) vetorização conforme (CEARÁ, 1988) e (b) vetorização automática gerada a partir de grade refinada (30m x 30m) de SRTM.....	54
Figura 5 – Posicionamento dos postos pluviométricos com referência à hipsometria.....	57
Figura 6 – Modelo esquemático do cálculo da vulnerabilidade potencial e efetiva à erosão das unidades morfopedológicas.....	65
Figura 7 – Fluxograma de procedimentos metodológicos para o estudo da vulnerabilidade à erosão e morfodinâmica na sub-bacia do rio Figueiredo, CE.....	68
Figura 8 – Desagregação mecânica (a) com formação de rampas de colúvio (b) – Município de Iracema (9363907 N / 0573311 E).....	75
Figura 9 – Aspecto da planície fluvial do rio Figueiredo apresentando recobrimento de mata ciliar – Município de Alto Santo (9400960 N / 0579074 E) .	76
Figura 10 – Alinhamentos de cristas assimétricas tipo <i>hog-back</i> (ao fundo) na porção oeste da sub-bacia do rio Figueiredo – Município de Iracema (9388646 N / 0580587 E).....	77
Figura 11 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Alto Santo. Período 1989/2011.	92
Figura 12 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Potiretama. Período 1989/2011.....	92
Figura 13 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Iracema. Período 1989/2011.....	93
Figura 14 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Pereiro. Período 1989/2011.....	93
Figura 15 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Ererê. Período 1989/2011.....	94

Figura 16 – Vazão média mensal do rio Figueiredo com base em série histórica...	96
Figura 17 – Área de pastagem natural degradada com susceptibilidade à erosão laminar – Município de Alto Santo (9400691 N / 0585988 E).....	114
Figura 18 – Aspecto da planície fluvial do rio Figueiredo apresentando recobrimento de mata ciliar (a) e cultivo de capim destinado à alimentação de rebanho (b). Município de Alto Santo.	115
Figura 19 – Superfície de exumação da formação Açú apresentando cultivo de carnaúbas – Município de Potiretama.(9369967 N / 0590083 E).....	116
Figura 20 – Superfície dissecada do Maciço do Pereiro apresentando relevo forte ondulado com associação de Argissolo + Neossolos Litólicos – Município de Pereiro (9331146 N / 0560314 E).....	117
Figura 21 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da geologia na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	121
Figura 22 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da amplitude altimétrica na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo	124
Figura 23 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da amplitude interfluvial na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo	125
Figura 24 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da declividade na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo	126
Figura 25 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da geomorfologia na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.....	128
Figura 26 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do clima na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	130
Figura 27 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão das associações de solos na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	133
Figura 28 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do uso e cobertura vegetal para o ano de 1989 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo	137
Figura 29 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do uso e cobertura vegetal para o ano de 2000 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo	138
Figura 30 – Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do uso e cobertura vegetal para o ano de 2011 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo	139
Figura 31 – Distribuição percentual das subclasses de vulnerabilidade potencial na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	143

Figura 32 – Distribuição percentual das subclasses de vulnerabilidade efetiva no período de 1989 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	145
Figura 33 – Distribuição percentual das subclasses de vulnerabilidade efetiva para o período de 2000 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	148
Figura 34 – Distribuição espacial das subclasses de vulnerabilidade efetiva para o período de 2011 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	151
Figura 35 – Distribuição percentual das classes de vulnerabilidade efetiva média na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	153
Figura 36 – Dinâmica espaço-temporal da vulnerabilidade efetiva na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.....	156
Figura 37 – Área susceptível à erosão laminar em Associação de Argissolo e Neossolo Litólico. Relevo forte ondulado – Município de Pereiro (9324756 N / 0555811 E).....	158
Figura 38 – Erosão em sulco (a) e laminar (b) em vertente com caatinga degradada – Município de Alto Santo (9400495 N / 0586234 E).	159

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação entre tipo de uso do solo e perdas por erosão. Médias ponderadas para três tipos de solos do Estado de São Paulo.....	29
Quadro 2 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.....	60
Quadro 3 – Classes de declividade com os respectivos valores de vulnerabilidade.....	60
Quadro 4 – Matriz dos índices de dissecação do relevo e respectivos valores de vulnerabilidade.....	61
Quadro 5 – Classes de solos com respectivos valores de vulnerabilidade.....	62
Quadro 6 – Intensidade pluviométrica e respectivos valores de vulnerabilidade à perda de solo.....	63
Quadro 7 – Cobertura vegetal da sub-bacia do Figueiredo segundo BRASIL (1981) e os respectivos valores de vulnerabilidade.....	64
Quadro 8 – Escala de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas.....	67
Quadro 9 – Associações de solos da sub-bacia do rio Figueiredo.....	88
Quadro 10 – Classificação da aridez conforme critérios da ONU.....	95
Quadro 11 – Índice de semiaridez dos municípios com área inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, CE.....	95
Quadro 12 – Capacidade dos principais reservatórios hídricos nos municípios da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.....	97
Quadro 13 – Área dos municípios drenada pela sub-bacia do rio Figueiredo.....	101
Quadro 14 – População total e por situação de domicílio para os municípios da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.....	103
Quadro 15 – Evolução dos rebanhos bovino, caprino e ovino nos municípios da sub-bacia do rio Figueiredo.....	104
Quadro 16 – Principais tipos de culturas temporárias e permanente nos municípios da sub-bacia do Figueiredo.....	105
Quadro 17 – Sistemas de uso do solo por área ocupada nos municípios da sub-bacia do Figueiredo.....	106
Quadro 18 – Sistema de preparo do solo por unidades rurais dos municípios da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.....	107
Quadro 19 - Caracterização das unidades morfopedológicas da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.....	112

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Geologia.....	73
Mapa 2 – Geomorfologia: Unidades geomorfológicas.....	79
Mapa 3 – Geomorfologia: Dissecação.	80
Mapa 4 – Geomorfologia: Declividade.	81
Mapa 5 – Associações de solos.	89
Mapa 6 – Clima: Intensidade pluviométrica.....	98
Mapa 7 – Uso e cobertura vegetal em 1989.	109
Mapa 8 – Uso e cobertura vegetal em 2000.	110
Mapa 9 – Uso e cobertura vegetal em 2011.	111
Mapa 10 – Unidades morfopedológicas.	118
Mapa 11 – Vulnerabilidade potencial.	141
Mapa 12 – Vulnerabilidade efetiva em 1989.	147
Mapa 13 – Vulnerabilidade efetiva em 2000.	150
Mapa 14 – Vulnerabilidade efetiva em 2011.	152
Mapa 15 – Vulnerabilidade efetiva média.	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área das classes de uso e cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo para os anos de 1989, 2000 e 2011	108
Tabela 2 – Valores de vulnerabilidade à erosão da geologia na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.....	120
Tabela 3 – Vulnerabilidade à erosão para as variáveis geomorfológicas: amplitude altimétrica e amplitude interfluvial.....	121
Tabela 4 – Vulnerabilidade à erosão para variável geomorfológica: declividade. ...	122
Tabela 5 – Vulnerabilidade à erosão para o tema clima na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	129
Tabela 6 – Vulnerabilidade à erosão para o tema solo na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	130
Tabela 7 – Classes de cobertura vegetal e uso do solo e seus valores de vulnerabilidade à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.	134

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
DSG	Divisão de Serviço Geográfico do Exército
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IVDN	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
NEB	Nordeste Brasileiro
ONU	Organização das Nações Unidas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TSM	Temperatura na Superfície do Mar
UTB	Unidade Territorial Básica
VCAS	Vórtices Ciclônicos de Ar Superior
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.	17
2	VULNERABILIDADE À EROSÃO E MORFODINÂMICA.	23
2.1	ESTABILIDADE E VULNERABILIDADE: uma dinâmica de forças.	23
2.2	A MORFODINÂMICA E A FISILOGIA DA PAISAGEM.....	24
2.3	EROSÃO E DEGRADAÇÃO DOS SOLOS.	27
2.4	VULNERABILIDADE À EROSÃO E PROCESSOS MORFODINÂMICOS NO SEMIÁRIDO.	29
2.5	A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE ESPACIAL DE ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO E DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS.....	34
3	O ESTUDO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO NO ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO: considerações acerca do método e aplicações.	37
3.1	O ESTUDO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO E O ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: relações de pertinência.	37
3.2	MÉTODOS DE ABORDAGEM DOS ESTUDOS DE VULNERABILIDADE À EROSÃO E FRAGILIDADE AMBIENTAL.	40
4	MÉTODO E PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS.	50
4.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS GEOCARTOGRÁFICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO.	52
4.2	ELABORAÇÃO DO MAPEAMENTO TEMÁTICO.....	53
4.3	LEVANTAMENTO DA VERDADE TERRESTRE.	58
4.4	DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS COMPONENTES AMBIENTAIS.....	58
4.5	DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL POTENCIAL E EFETIVA À EROSÃO E SUAS VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS.....	64
5	CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO.	69
5.1	COMPONENTES DOS SISTEMAS AMBIENTAIS DA SUB-BACIA DO RIO FIGUEIREDO.....	69
5.1.1	Derivações Naturais.	69
5.1.1.1	Cronolitoestratigrafia.	69
5.1.1.2	Aspectos da geomorfologia local.....	74

5.1.1.3	Associações de Solos.	82
5.1.1.4	Condições hidroclimatológicas.	90
5.1.1.5	Aspectos fitogeográficos.....	99
5.1.2	Derivações antropogênicas.....	100
5.1.2.1	Aspectos populacionais.....	101
5.1.2.2	Sistemas de uso do solo.	103
5.2	UNIDADES MORFOPEDOLÓGICAS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO.	112
6	VULNERABILIDADE À EROSÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO.	119
6.1	DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COM BASE NOS FATORES CONTROLADORES.	119
6.1.1	Vulnerabilidade do fator geologia.....	119
6.1.2	Vulnerabilidade do fator geomorfologia.....	122
6.1.3	Vulnerabilidade do fator clima.	129
6.1.4	Vulnerabilidade do fator solo.	131
6.1.5	Vulnerabilidade do fator uso e cobertura vegetal.	134
6.2	VULNERABILIDADE POTENCIAL E EFETIVA À EROSÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO.	140
6.2.1	Vulnerabilidade potencial à erosão (Vp).....	140
6.2.2	Vulnerabilidade efetiva à erosão (Ve).....	143
6.2.3	Vulnerabilidade média à erosão.....	153
6.2.4	Dinâmica espaço-temporal da vulnerabilidade efetiva à erosão e a relação morfogênese/pedogênese na sub-bacia do rio Figueiredo...156	
7	CONCLUSÕES.	161
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	163

1 INTRODUÇÃO

A morfodinâmica acelerada e a conseqüente degradação dos solos em regiões semiáridas se constituem como um dos principais fatores desencadeadores de processos de desertificação. Este fato está atrelado tanto às características inerentes ao meio físico em questão, condicionando níveis de vulnerabilidade à erosão, como também ao uso destes solos pela sociedade.

O fator social, entendido aqui como as atividades humanas promotoras da exploração dos recursos edáficos a partir das várias formas de uso do solo, tem papel importante no processo de degradação ambiental. Conforme Cunha e Guerra (1998), a intervenção humana nos processos naturais (formação dos solos, lixiviação, erosão dentre outros), decorrente do desmatamento, plantio, construções em geral, altera a velocidade e intensidade desses processos ditos naturais, produzindo conseqüências negativas para o equilíbrio ambiental e para a sociedade.

Dentre os vários Domínios Morfoclimáticos, aqueles que apresentam susceptibilidade à instalação de processos de desertificação, conforme definição da ONU (BRASIL, 1995), são constituídos por terras áridas, semiáridas e subúmidas secas, onde a degradação dos solos se dá, dentre outros fatores, por variações climáticas e atividades humanas. Assim, estas áreas susceptíveis à desertificação apresentam os seus componentes naturais organizados e integrados de forma a torná-los mais ou menos vulneráveis à degradação. A atividade humana nesses ambientes pode desencadear a degradação dos solos quando desenvolvida com determinado grau de intensidade, de forma a romper o frágil equilíbrio apresentado por esses sistemas.

Nesse sentido, o semiárido brasileiro se revela como exemplo de Domínio Morfoclimático onde as condições de arranjos naturais, conjugadas com atividades humanas potencialmente indutoras de degradação dos solos, favorecem a ocorrência de processos de desertificação. Nesse ambiente, a atividade produtiva ligada à agropecuária e ao extrativismo tem produzido graves danos ao equilíbrio dos sistemas ambientais. O projeto ARIDAS (BRASIL, 1994) corrobora esse entendimento quando considera resultante da atividade humana a ocorrência simultânea de desmatamento, compactação do solo, erosão e assoreamento dos rios.

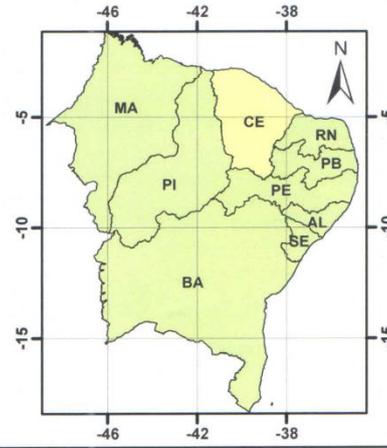
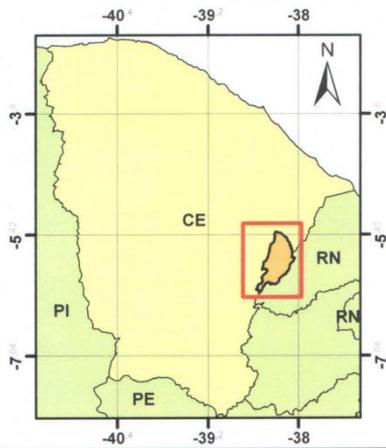
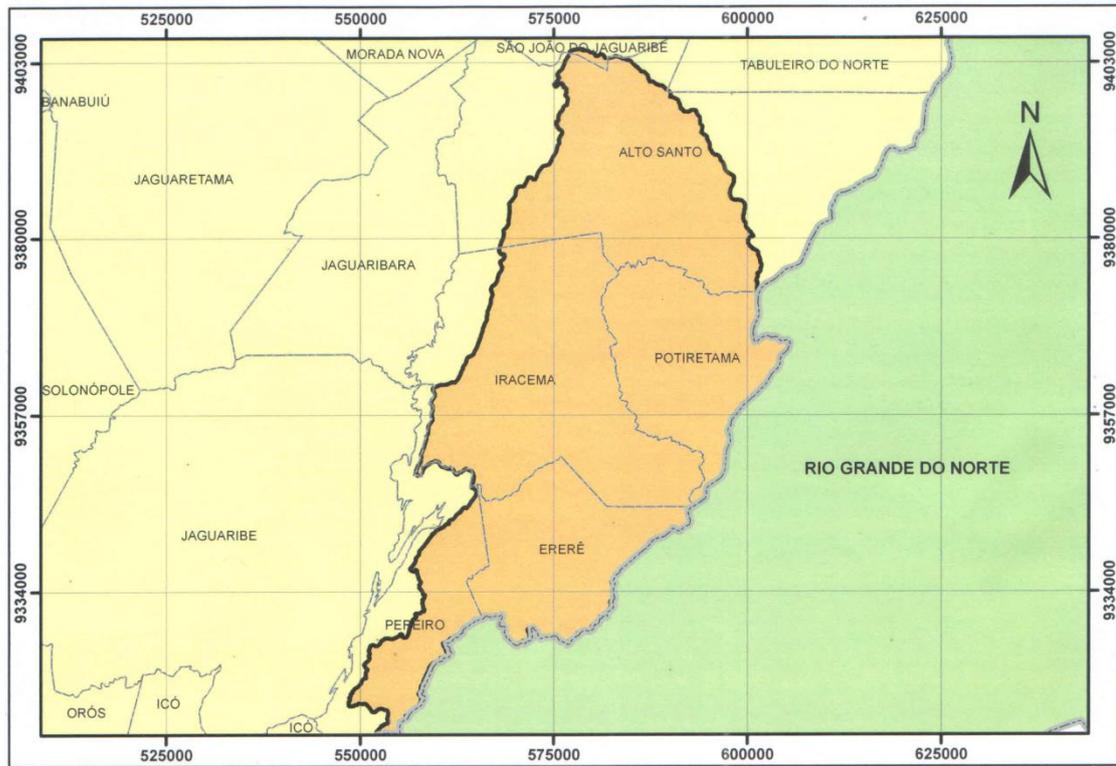
O Estado do Ceará, localizado no Nordeste Setentrional do Brasil, apresenta 92,1% da sua área inserida em ambiente semiárido, conforme afirma Nascimento (2007, p. 282), perfazendo cerca de 136.000 km². Neste contexto, o baixo teor de matéria orgânica, associado à baixa proteção dos solos fornecida pela cobertura vegetal de caatinga, notadamente a arbustiva, conduzem ao aumento da instabilidade morfodinâmica dos ambientes. Associados a esta realidade, o superpastoreio e a quase ausência das práticas conservacionistas do solo fazem desses ambientes núcleos susceptíveis à degradação dos recursos edáficos. Isto ocorre pela incidência de processos erosivos, destacando-se os de origem laminar. Em um cenário mais extremo, pode ocorrer a formação de núcleos susceptíveis à desertificação, a exemplo do que constatou FUNCEME (2009).

Situada na porção ESE do Estado do Ceará, a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe comporta um dos mais representativos núcleos susceptíveis à desertificação no Estado (FUNCEME, *op. cit.*). Inserida neste meio encontra-se a sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo (Figura 1), tributário da margem direita do rio Jaguaribe. Possuindo uma área de 2.085,32 km² (CEARÁ, 2012), esta sub-bacia hidrográfica apresenta diversidade de solos e de relevo associada a níveis de aridez e formas de uso que potencializam diferentes graus de vulnerabilidade à erosão.

Submetidas a um clima semiárido, marcado pela irregularidade espaço-temporal das chuvas e elevadas médias térmicas, encontram-se litologias representadas na sua maioria por rochas do embasamento cristalino (BRASIL, 1981), que sofrem ações intempéricas comandadas primordialmente por processos mecânicos de desagregação.

Associada a esta configuração, tem-se a presença de relevo formado por superfícies íngremes na porção SSW da sub-bacia, justificadas pela Suíte Granítica da Serra do Pereiro. Esta formação constitui-se como divisor de águas entre a sub-bacia do Figueiredo e a bacia do Jaguaribe, e contribui efetivamente para a variação espacial dos índices pluviométricos na área. No restante da sub-bacia, o relevo apresenta-se pouco movimentado, predominando setores com superfícies moderadamente dissecadas por vales rasos e superfícies pediplanadas fracamente dissecadas, com caimento de rampas em direção aos fundos de vales.

Figura 1 – Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, CE



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGPq
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGEO

LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO

TÍTULO:
VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE

Autor: Francisco Sérgio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

ESCALA: 1:700.000



Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

- Limites Municipais
- Limites Estadual
- Área de Estudo

FORTE: O AUTOR

Os divisores de água na porção oriental da sub-bacia ocorrem de forma pouco marcante no setor sudeste, sendo aqueles representados por superfícies mais elevadas da Depressão Sertaneja e de depósitos da formação Serra do Martins, consonante a uma porção da linha divisória do Ceará com o Rio Grande do Norte. Em direção ao Nordeste da Sub-bacia, os divisores se dão em função da presença da Bacia Sedimentar Potiguar.

Conforme observado em BRASIL (*op. cit.*), as associações de solos presentes na sub-bacia do Figueiredo distribuem-se espacialmente em consonância com os setores de relevo, evidenciando o sistema morfopedológico. Os solos predominantes são os Neossolos Litólicos, Luvisolos e Argissolos. Ocorrem ainda em menor frequência os Planossolos, Vertissolos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Regolíticos.

Associada a esta realidade, a vegetação, formada por diferentes fisionomias de caatingas e mata seca, bem como a presença de áreas recobertas por culturas anuais e pastagem, não oferece grande proteção ao corpo pedológico, permitindo a intensa ação dos agentes erosivos. Corroborando a afirmação, FUNCEME (2009) aponta a ocorrência de degradação ambiental com susceptibilidade à desertificação em três municípios da sub-bacia do rio Figueiredo, a saber, Alto Santo, Potiretama e Iracema, sendo o primeiro o mais afetado.

Considerando que as áreas do Estado do Ceará susceptíveis à desertificação comportam um significativo contingente populacional e que esta população tem como importante fonte de renda atividades relacionadas ao campo (agricultura e pecuária), urge que se desenvolvam estudos capazes de diagnosticar e prognosticar possíveis processos de degradação dos solos, buscando classificar o ambiente em níveis de vulnerabilidade/estabilidade, permitindo assim a formulação de políticas de uso racional dos recursos naturais.

Há que se comentar também o fato de a bacia em foco ter sido contemplada com a construção da barragem do Figueiredo, com capacidade de armazenar 519,6 milhões de metros cúbicos (CEARÁ, 2015). Desta feita, a bacia objeto da pesquisa passará por fortes mudanças quanto a sua dinâmica ambiental a jusante e a montante do barramento. As alterações advindas do barramento estão relacionadas à dinâmica fluvial, formas de uso e ocupação dos solos e evolução das vertentes.

Considerando as informações aqui apresentadas, faz-se a indagação: a identificação da vulnerabilidade à erosão, com base em informações espaço-temporais do uso e cobertura vegetal, pode ser útil na identificação de áreas susceptíveis à ocorrência de processos morfodinâmicos acelerados e de degradação dos solos na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo?

Parte-se da hipótese de que informações espaço-temporais relativas ao uso do solo e cobertura vegetal, associadas às informações de geologia, relevo, clima e solo, modelados em sistema de informações geográficas, permitem a identificação de variações nos níveis de vulnerabilidade à erosão dos sistemas morfopedológicos e a identificação de áreas susceptíveis a processos morfodinâmicos acelerados e de degradação dos solos na sub-bacia do rio Figueiredo. Possibilitam ainda a percepção dinâmico-evolutiva das transformações da cobertura vegetal e sua contribuição na alteração do balanço morfogenético do meio.

Tem-se por referência o método proposto por Crepani *et al.* (2001) para a elaboração de carta de vulnerabilidade à perda de solo, e que apresenta como pressuposto o conceito de ecodinâmica formulado por Tricart (1977), a partir do qual os ambientes são hierarquizados em estáveis, intergrades e fortemente instáveis.

No intuito de viabilizar respostas para o problema apresentado, tem-se como objetivo geral identificar, a partir de abordagem integrada e sistêmica e utilização de SIG, as variações espaço-temporais da vulnerabilidade à erosão, decorrentes de modificações do uso e cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, e suas possíveis implicações na indução de processos morfodinâmicos acelerados.

Constituem objetivos específicos e alicerces para as respostas à pergunta de partida:

1. Propor e aplicar uma adaptação do método desenvolvido por Crepani *et al.* (2001) para levantamento da vulnerabilidade à erosão;
2. Identificar e mapear a vulnerabilidade potencial à erosão em cada unidade morfopedológica da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo;
3. Identificar e mapear a vulnerabilidade efetiva à erosão em cada unidade morfopedológica da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, para os anos de 1989, 2000 e 2011.

4. Determinar e mapear valores médios históricos da vulnerabilidade efetiva à erosão dos solos na sub-bacia do rio Figueiredo, considerando o uso e cobertura vegetal para os anos de 1989, 2000 e 2011.
5. Inferir sobre a ocorrência de processos morfodinâmicos e de degradação dos solos na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo a partir das informações espaço-temporais de vulnerabilidade à erosão e de observações de campo.

Os resultados obtidos na pesquisa podem ser úteis na definição de um zoneamento ecológico econômico para a bacia em questão, visando equacionar as necessidades socioeconômicas e as potencialidades e limitações ambientais.

2 VULNERABILIDADE À EROSÃO E MORFODINÂMICA

2.1 ESTABILIDADE E VULNERABILIDADE: uma dinâmica de forças

Os processos naturais e a dinâmica a eles inerente têm conduzido o ambiente natural¹, salvo em condições extremas e paroxismos, a um estado de equilíbrio dinâmico. A ação cada vez mais intensa e progressiva das sociedades humanas sobre estes ambientes, através da exploração dos recursos naturais, tem promovido uma mudança ou rompimento no seu estado de equilíbrio dinâmico (ROSS, 1994, p. 63).

As evidências desse processo se mostram na degradação dos recursos naturais em geral, redução da biodiversidade, contaminação e poluição dos mananciais hídricos, instalação de processos erosivos severos, dentre outros.

A ciência, especialmente os ramos voltados ao estudo ambiental, tem-se debruçado na busca de soluções eficientes para contornar esse cenário, objetivando compatibilizar equilíbrio ambiental com produção de bens. O desenvolvimento de métodos voltados ao ordenamento das atividades socioeconômicas humanas é um exemplo dessa busca.

Nesse sentido, deve-se ter em mente que não é a ciência de modo isolado que encontrará e promoverá a solução desse jogo de forças. A sociedade, em suas mais variadas vertentes, é corresponsável por viabilizar tais soluções.

Ross (1994, p. 64) afirma que os planejadores, políticos e a sociedade como um todo devem ultrapassar os limites dos interesses meramente voltados para o crescimento econômico e tecnológico, buscando um desenvolvimento que considere, além das potencialidades dos recursos, as fragilidades dos ambientes naturais.

[...], é absolutamente necessário que as intervenções humanas sejam planejadas com objetivos claros de ordenamento territorial, tomando-se como premissas as potencialidades dos recursos naturais e humanos e as fragilidades dos ambientes. (ROSS, 1994, p. 64)

¹ O termo é aqui empregado na mesma concepção adotada em Ross (1994), ou seja, no sentido de ambiente desprovido de exploração dos recursos naturais.

Deste modo, o ordenamento do território tem, nos estudos de fragilidade e nos documentos resultantes destes, ferramentas importantes para balizar as ações referentes ao planejamento ambiental, pois este requer estudos integrados que pressupõem o entendimento da dinâmica de cada ambiente natural, com ou sem as intervenções das sociedades humanas (ROSS, *op. cit.*).

O conhecimento dessa dinâmica permite prognosticar as resultantes oriundas das propriedades emergentes (ODUM, 1983) com maior eficiência, visto que um sistema não resulta da simples adição de suas variáveis.

Como forma de avaliar as fragilidades dos ambientes naturais em estudos voltados ao planejamento territorial ambiental, Ross (1994) defende o emprego do conceito de Unidades Ecodinâmicas proposto por Tricart (1977), segundo o qual a estabilidade ou a instabilidade do ambiente relaciona-se diretamente com o equilíbrio ou desequilíbrio dinâmico que este apresenta.

A atividade humana, representada por diversas atividades econômicas dentre as quais se destaca o desmatamento, é a principal responsável pelo desequilíbrio dinâmico dos ambientes, levando-os a uma maior instabilidade. Os ambientes naturais que se encontram poupados da inserção socioeconômica apresentam maior equilíbrio dinâmico e, por conseguinte, maior estabilidade (ROSS, 1994).

Esse jogo de forças presente na natureza e cada vez mais mediado pela atividade humana é objeto de análise e reflexão do estudo da morfodinâmica.

2.2 A MORFODINÂMICA E A FISILOGIA DA PAISAGEM

Os processos morfodinâmicos atuantes no ambiente denotam o grau de estabilidade/vulnerabilidade em que se encontra o meio. A proposição de Tricart (1977) fundamenta a análise da paisagem utilizando-se do método sistêmico. O sistema, como bem lembra Tricart (*op. cit.*), se constitui em um conjunto de fenômenos que se processam por fluxos de energia e matéria, dando origem às relações de dependência mútua entre aqueles.

Partindo do conceito de Ecodinâmica ou dinâmica dos ecótopos, Tricart (1977) apresenta uma classificação dos ambientes em meios estáveis, intergrades e fortemente instáveis, tendo como base a noção de bioestasia proposta por Erhart

(1955) e para a qual Tricart (*op. cit.*) propõe o termo fitoestasia, por considerar a vegetação o fator biótico relevante no processo de estabilização do meio, assim afirmando:

Somente as plantas, no conjunto, possuem efeito estabilizador pela função de anteparo aos fluxos de radiação e às gotas da chuva, e pelo efeito frenador sobre o vento. Substituiríamos o termo *bioestasia* por *fitoestasia*, mais preciso e mais justo. (TRICART, 1977, p.36)

Nesse sentido, os processos pedogenéticos predominam em ambientes estáveis, havendo o amadurecimento e aprofundamento dos solos, intensificação da componente vertical (infiltração), associando-se a este quadro a fitoestabilização. Os processos morfogenéticos se intensificam em ambientes instáveis, onde os solos mostram-se pouco desenvolvidos, a componente horizontal (escoamento superficial) tem prevalência e os processos resistásicos se instalam. Em situações intermediárias, onde o balanço morfogenético não está completamente definido, havendo uma tênue propensão para um das condições, se estabelece uma situação de transição. Essa dinâmica da superfície terrestre tem no componente morfogênico seu principal elemento, produzindo instabilidade da superfície e gerando limitações ao desenvolvimento dos seres vivos, sendo a morfodinâmica uma limitação do ponto de vista ecológico (TRICART, 1977).

A morfodinâmica se constitui como processos atuais ativos, sejam eles de origem endógena ou exógena, que atuam nas formas de relevo. Os processos que foram definidores das formas de relevo, e que são classificadas de acordo com sua gênese, não são necessariamente os mesmos que ocorrem nos dias atuais (FLORENZANO, 2008, p. 23).

Cassetti (2005) considera que os mecanismos morfogênicos atuantes em momento subatual também integram a morfodinâmica. Conforme Cassetti (*op. cit.*) os processos morfodinâmicos podem estar associados ou não às derivações antropogênicas.

Considerando a proposta de estudo da paisagem formulada por Ab'Saber (1969) e apresentada por Cassetti (2005), os estudos da morfodinâmica de uma área são entendidos na escala da fisiologia da paisagem. Este nível de abordagem corresponde ao terceiro nível proposto por Ab'Saber (*op. cit.*) para os estudos geomorfológicos. A compartimentação topográfica e a estrutura superficial da

paisagem compõem, respectivamente, o primeiro e o segundo nível de abordagem dos estudos geomorfológicos. Há nessa proposição uma hierarquia de complexidade e de detalhamento espacial, onde o nível mais genérico – primeiro nível – é basilar para os níveis subsequentes. Destarte, o estudo da fisiologia da paisagem deve estar respaldado em estudos de compartimentação topográfica e da estrutura superficial da paisagem.

A compartimentação topográfica tem por objetivo a individualização de um conjunto de formas de relevo que apresentem características semelhantes, possuindo, por conseguinte, relações quanto às forças e processos que as originaram (CASSETTI, 2005). Os estudos nesse nível categórico podem ocorrer em escalas mais variadas, requerendo para isso adaptação de técnicas e instrumentos. Os produtos de sensoriamento remoto aéreo e orbital têm desempenhado papel de destaque no fornecimento de dados acerca da compartimentação topográfica.

Quanto à estrutura superficial da paisagem, a objetivação do estudo é a compreensão da evolução das formas de relevo tendo por referência os depósitos correlativos (CASSETTI, *op. cit.*). Nesse sentido, a observação *in loco* dos detritos superficiais, associando-os às formas características de transporte em condições morfogenéticas específicas, constitui uma etapa crucial para o entendimento das paisagens.

Finalmente, como terceiro nível de abordagem dos estudos geomorfológicos, a fisiologia da paisagem busca compreender os processos morfoclimáticos atuais e suas repercussões sobre o balanço morfogênese/pedogênese (CASSETTI, *op. cit.*). Busca dessa forma compreender a dinâmica atual de evolução do relevo. Nota-se nessa afirmação uma tendência ao entendimento da morfodinâmica sob o prisma da dinâmica exógena, comandada esta principalmente pelos processos morfoclimáticos.

Os estudos da fisiologia da paisagem requerem, conforme Ab'Saber (1969), um exaustivo monitoramento dos processos morfodinâmicos, buscando entender estes processos de forma geral, bem como os acontecimentos espasmódicos, sejam estes de origem endógena ou exógena, muitas vezes responsáveis por alterações no equilíbrio dinâmico das paisagens.

A obtenção de dados e informações referentes aos processos exógenos dominantes de uma área pode-se efetivar, conforme Florenzano (*op. cit.*, p. 23), por meio da interpretação de fotografias aéreas e imagens orbitais. Pode também ser oriunda da análise de cartas topográficas, morfométricas e de dados de campo e laboratório. A erosão laminar e em sulcos, ravinamentos, movimentos de massa e acumulação fluvial, que constituem informações indicadoras dos processos exógenos dominantes de uma área, podem ser observados a partir de interpretações de produtos de sensoriamento remoto, a exemplo das fotografias aéreas e imagens de satélite.

Todavia a observação dos fenômenos em campo ainda é indispensável para o bom desenvolvimento da pesquisa, visto que possibilita a apreensão de elementos não observáveis por outros meios, permitindo a correção de erros de interpretação decorrentes do uso dos recursos anteriormente citados.

2.3 EROSÃO E DEGRADAÇÃO DOS SOLOS

A degradação dos solos, suas causas e seus efeitos tem sido tema de reflexão por parte de pesquisadores em todo o Globo. Segundo Guerra (1998, p.187), este processo pode ter várias causas, como a erosão, a acidificação, a acumulação de metais pesados, a redução de nutrientes do solo, redução de matéria orgânica, dentre outras. Observa-se, entretanto, que dentre as causas mais frequentes relativas aos processos de degradação dos solos estão as originadas pela atividade humana.

Não se pode, desta feita, entender a degradação como um processo unidirecional, ou mesmo bidirecional, onde há apenas uma causa e um efeito, com este retroagindo sobre aquela. São várias as possibilidades de causa, efeito e retroalimentação presentes no sistema morfopedológico, dentre as quais pode ser destacada a relação morfogênese/pedogênese. Essas possibilidades refletem-se também sobre outros componentes da paisagem, sendo esta entendida como:

[...] o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 1972, p. 2)

O sistema morfopedológico é nesse sentido um conceito que comporta, por premissa, a existência de uma interdependência entre geologia, relevo e solos. Essa integração de elementos naturais induz a variações de resultantes que se concretizam em unidades relativamente homogêneas, e que podem ser distinguíveis espacialmente.

Nessa perspectiva integrativa, as unidades morfopedológicas, quando associadas ao uso da terra, permitem a delimitação de unidades de paisagens onde os estudos de vulnerabilidade ambiental e de erosão do solo são viabilizados (RIOS, 2011).

No que se refere aos aspectos naturais responsáveis pela degradação dos solos em ambientes semiáridos, destacam-se a rarefeita cobertura vegetal e os baixos teores de matéria orgânica, características típicas desses ambientes. Segundo Guerra (1998, p.162), as áreas parcialmente cobertas de vegetação podem ter o processo de escoamento superficial e perdas de solos aumentados rapidamente. Esse aumento da componente horizontal relaciona-se a solos com menos de 70% de cobertura vegetal, e ocorrem geralmente em áreas semiáridas, agrícolas e de superpastoreio.

O baixo teor de matéria orgânica também constitui um elemento de peso na susceptibilidade dos solos à degradação, notadamente no que se refere à erosão. Pesquisas realizadas por De Ploey e Poesen (1985, *apud* Guerra, op. cit.) apontaram que solos com menos de 2% de matéria orgânica possuem baixa estabilidade de agregados. Greenland *et al.* (1975, *apud* Guerra, 1998, p.156) afirmam que concentrações inferiores a 3,5% de matéria orgânica tornam os agregados do solo instáveis. Esta instabilidade permite uma maior ação do salpicamento no processo de rompimento desses agregados, contribuindo para formação de crosta superficial, aumento do escoamento superficial e consequente aumento da erosão.

Considerando que os solos apresentam na sua composição média cerca de 4% de matéria orgânica (LEPSCH, 2010), o valor limite de 3,5% apontado por Greenland *et al.* (1975, *apud* Guerra, 1998, p.156) para tornar o agregado instável mostra-se ainda mais preocupante, pois representa cerca de 87,5% do valor médio global.

É evidente que a quantidade de Matéria Orgânica no solo está diretamente associada ao aporte oferecido pela cobertura vegetal. Sendo assim, há uma direta relação entre a densidade da vegetação e o teor de matéria orgânica presente no solo, o que reforça a importância da vegetação no processo de estabilização do meio. A respeito do papel da vegetação na estabilização dos solos, Morgan e Rickson (1988, *apud* Guerra e Mendonça, 2007) afirmam:

Embora o clima, o solo, as formas de relevo e a cobertura vegetal interajam para determinar as taxas de erosão, é a cobertura vegetal que, em última análise, proporciona diferentes níveis de proteção ao solo. Dessa forma, políticas ambientais e agrícolas que provoquem grandes transformações no uso da terra e na vegetação podem ser responsáveis pelo aumento das taxas de erosão.

Estudos realizados no Estado de São Paulo abordando os efeitos do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão apontam uma grande variação nas taxas de erosão quando consideradas diferentes formas de uso (Quadro 1)².

Quadro 1: Relação entre tipo de uso do solo e perdas por erosão. Médias ponderadas para três tipos de solos do Estado de São Paulo

Tipo de uso	Perdas	
	Solo (t/ha)	Água (% da chuva)
Mata	0,004	0,7
Pastagem	0,4	0,7
Cafezal	0,9	1,1
Algodão	26,6	7,2

Fonte: adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2008).

Percebe-se um aumento na remoção de solo em função da menor densidade da cobertura vegetal representada pelas diferentes tipologias de uso. A modificação da cobertura vegetal, seja pela supressão da vegetação natural para plantio de culturas, seja pelo raleamento dessa vegetação para formação de pasto, representa uma modificação da função desta cobertura no processo de erosão. A alteração é, via de regra, indutora de aumento das taxas erosivas.

² Os valores apresentados dizem respeito a estudos realizados em solos do Estado de São Paulo, podendo ocorrer variações em função dos tipos de solos e das condições de precipitação de cada lugar.

2.4 VULNERABILIDADE À EROSÃO E PROCESSOS MORFODINÂMICOS NO SEMIÁRIDO

A morfodinâmica característica de regiões semiáridas diz respeito aos processos exógenos, visto que os processos de origem endógena não têm vinculação direta com a condição climática. Desta feita, ao propor uma discussão acerca dos processos morfodinâmicos do semiárido, entende-se como tais aqueles decorrentes da dinâmica climática e os decorrentes da ação antrópica, visto que estes últimos são cada vez mais atuantes e presentes na dinâmica atual.

Tendo por objetivo o entendimento da ação exógena como indutora da morfodinâmica do semiárido, faz-se necessário compreender os fatores que atuam nestes processos, condicionando o seu tipo e intensidade. Nesse sentido, tem-se como elemento de análise a vertente. O conceito de vertente consagrado por Dylik (1968, *apud* Cassetti, 2008) diz respeito a “toda superfície terrestre inclinada, muito extensa ou distintamente limitada, subordinada às leis gerais da gravidade”. Guerra (Antônio T., 1989, p. 434) conceitua vertente como “planos de declives variados que divergem das cristas ou dos interflúvios, enquadrando o vale”. Percebe-se nesse último caso a clara relação espacial entre vertente e vale, formando um sistema morfológico. Assim, considera-se para a pesquisa em curso o conceito de vertente formulado por Guerra (*op. cit.*) visto ser aquele mais objetivo. Na perspectiva da morfodinâmica, as principais variáveis a serem consideradas no estudo das vertentes são: forma, declividade, orientação e extensão.

Outros fatores interferem na dinâmica da vertente, modificando ou intensificando as relações ocorrentes entre as variáveis apresentadas anteriormente. A cobertura vegetal, as condições geológicas e pedológicas, as características climáticas, notadamente as relacionadas à intensidade pluviométrica, e as formas de manejo do solo são fatores importantes na dinâmica de evolução das vertentes. Os processos decorrentes deste jogo de variáveis vão conferir ao ambiente uma condição de estabilidade ou instabilidade, conforme proposição de Tricart (1977). Obviamente os processos internos (endógenos) também devem ser considerados nesta análise, mas, como dito anteriormente, estes processos atuam independentes das condições climáticas.

Trabalhos como o de Walling & Webb (1996, *apud* Menezes *et al.*, 2007) correlacionam a alta susceptibilidade à erosão pluvial ao tipo de cobertura vegetal e às peculiaridades dos climas semiáridos quentes. Estes podem apresentar valores máximos de erosão nas bacias para intervalo de precipitação anual média entre 300 e 500 mm.

Paton (1978) e Erhart (1956, *apud* Menezes *et al.*, *op. cit.*) reiteram a importância da cobertura vegetal como proteção à ação dos processos morfogenéticos, atuando em diversas escalas espaciais e temporais.

Contudo, a morfodinâmica no semiárido está fortemente condicionada às irregularidades pluviométricas características deste ambiente, com reflexos sobre a cobertura vegetal. Os meses de estiagem e consequente balanço hídrico negativo levam a um estresse vegetativo, onde a caducidade foliar surge como uma adaptação fisiológica capaz de fornecer sobrevida à vegetação. Entretanto, esta mesma adaptação torna a caatinga ineficiente quanto à proteção do solo. Desta feita, ao cair das primeiras chuvas, o contato das gotas d'água diretamente com o solo descoberto proporciona a ocorrência da chamada erosão por *splash* ou erosão por salpicamento (GUERRA, 1998, p. 175).

A energia cinética presente na chuva é a responsável pela pulverização das partículas de solo, partículas estas que se acham unidas em função da presença de agentes como matéria orgânica, bem como em função dos teores de argila presentes no solo. Este solo pulverizado é então mobilizado pela água da chuva que escoar superficialmente. Nesse sentido, Ceará (S.N.T., p. 43) afirma:

Nos sertões o escoamento superficial, de modo muito especial, possui maior competência após as primeiras chuvas quando as plantas não têm ainda folhas em função do processo de adaptação fisiológica ao longo do período de estiagem. Dá-se então uma maior eficácia ao escoamento superficial que tende a remover os detritos finos e materiais que formam os horizontes superficiais dos solos.

A intensidade das chuvas ocorrentes no semiárido merece atenção, uma vez que, apesar da sua irregularidade espaço-temporal, ocorrem eventos com alto poder erosivo, decorrentes da concentração da precipitação em curto período de tempo. Estas chuvas intensas, aguaceiros, são comuns em áreas comandadas por sistemas convectivos, a exemplo do que ocorre no Nordeste brasileiro.

Os aguaceiros, associados à baixa proteção fornecida pelas caatingas ao solo e a baixa concentração de matéria orgânica apresentada por este (o solo), já em decorrência do reduzido aporte de biomassa fornecido pela cobertura vegetal, produzem um cenário potencialmente favorável aos processos erosivos. Soma-se a este quadro a prática já cultural de promover queimadas para limpeza das terras com fins de ocupação agrícola e pecuária. Esta prática, fortemente presente no território brasileiro e particularmente no semiárido nordestino, colabora com a exposição do solo aos agentes erosivos, sejam de origem hídrica ou eólica.

Souza (2006, p.35) diz que a ocupação da área do domínio das caatingas tem intensificado a ação dos processos morfodinâmicos naturais em decorrência das profundas transformações desse domínio geobotânico resultantes de processos históricos de ocupação. A substituição da vegetação natural por pastagens e o sobrepastoreio têm, conforme Souza (*op. cit.*), acentuado a degradação do ambiente físico que não mais apresenta em si mesmo marcas evidentes da auto-organização da biosfera.

A interferência da atividade humana sobre a degradação do meio ambiente, por meio da exploração dos recursos naturais, é esquematizada na Figura 2. A supressão da cobertura vegetal altera o equilíbrio dinâmico do meio promovendo a intensificação da morfogênese e redução da pedogênese, o que, por sua vez, em retroalimentação positiva, contribui para a degradação da cobertura vegetal. Conforme Penteado (1974, p. 78), constitui-se o desflorestamento como uma das causas do desequilíbrio morfogenético que acelera a evolução das vertentes.

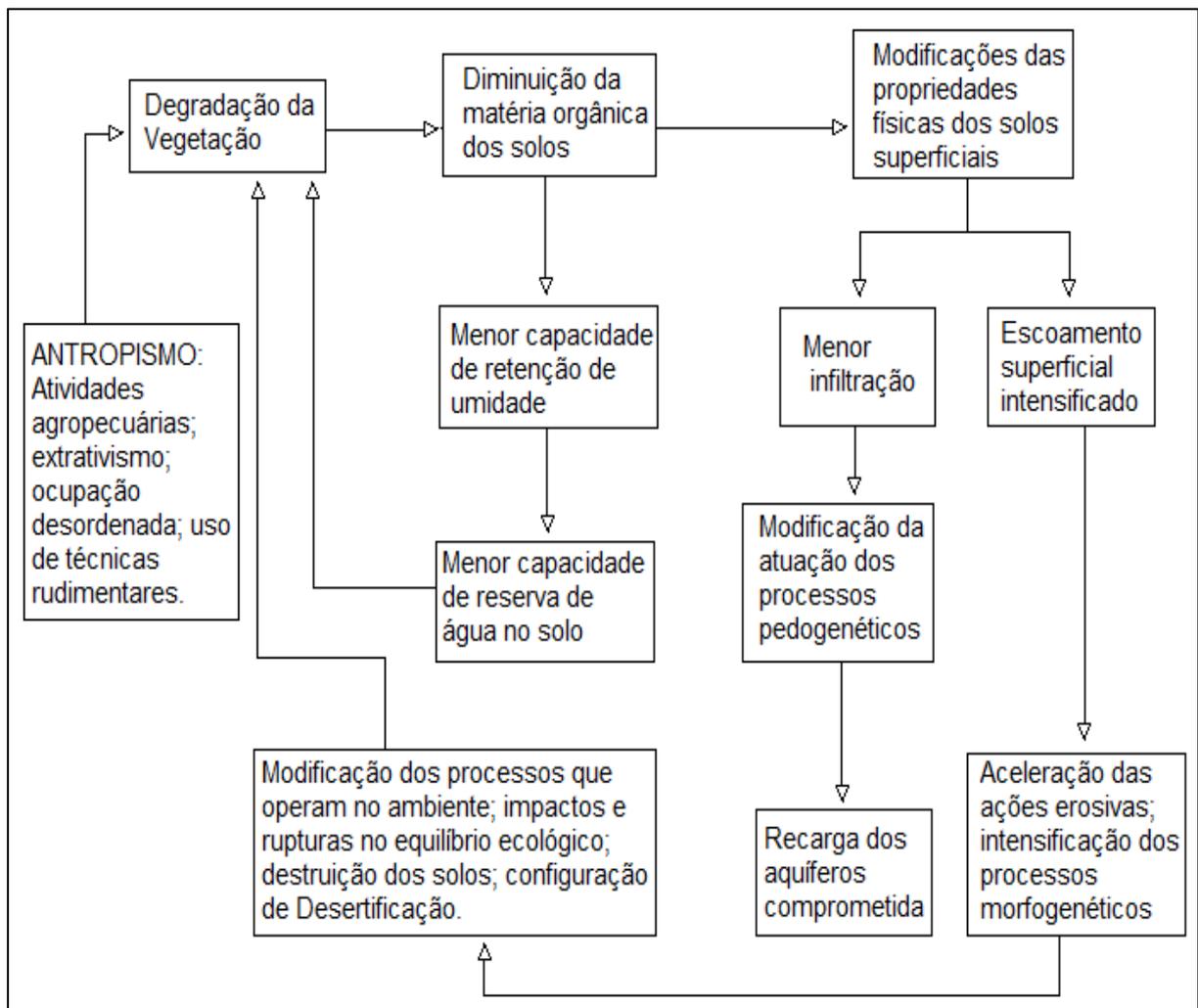
A importância dos cursos fluviais na morfodinâmica do semiárido é relativizada em função da baixa capacidade de entalhe apresentada pelos rios. O regime hídrico irregular e o reduzido gradiente longitudinal que os rios apresentam, notadamente no médio e baixo curso, constitui-se como fator limitante da importância que estes cursos d'água apresentam na morfodinâmica regional, quanto ao processo de dissecação do relevo. Suas contribuições na elaboração da paisagem reportam-se mais a momentos pretéritos, quando as condições hidroclimáticas contribuíram para um maior poder erosivo fluvial.

Nos altos cursos dos rios, a inclinação do relevo favorece um maior poder erosivo das águas fluviais. Desta feita, os processos de entalhamento e mobilização do material são mais atuantes.

No médio curso, a redução do gradiente longitudinal já permite um predomínio do transporte de sedimentos, com presença de deposição de material de calibre maior.

No baixo curso do rio, é notória a perda de competência de transporte de sedimentos em função da forte redução do gradiente longitudinal. Assim, os processos deposicionais são reinantes, favorecendo a formação de planícies fluviais mais largas.

Figura 2 – Sistema de degradação do Meio Ambiente conforme proposição de Tricart (1977)



Fonte: adaptado de Souza (2000).

Souza *et al.* (2006, p.35) faz referência ao aporte de sedimentos nos rios do semiárido, em função da pequena capacidade protetora da vegetação de caatingas associada ao escoamento difuso e em lençol que lavam as rampas pedimentadas que se orientam para os cursos d'água. Decorre deste processo o entulhamento dos fundos de vales, agravando os efeitos das enchentes.

O entendimento dos processos morfodinâmicos em todas as suas etapas é condição indispensável para um eficiente planejamento e gestão dos ambientes em geral, notadamente daqueles que já apresentam baixa capacidade de suporte, como no caso do semiárido brasileiro. Desta feita, faz-se necessário o desenvolvimento de eficientes metodologias de estudo da vulnerabilidade à erosão, tanto no aspecto técnico-operacional como financeiro, visto que as pesquisas voltadas à dinâmica ambiental são frequentemente onerosas. Mais grave se torna a questão quando se consideram estudos que exigem grande nível de detalhe e conseqüentemente grande escala, como é o caso das pesquisas no campo da morfodinâmica.

2.5 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE ESPACIAL DE ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO E DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS

A escolha da bacia hidrográfica como categoria espacial de análise está embasada no fato de ela possuir integridade de processos relativos ao comportamento das condições naturais e das atividades humanas desenvolvidas em seus domínios. Desta feita, mudanças significativas em um desses elementos, sejam de ordem natural ou humana, podem gerar alterações a jusante (CUNHA E GUERRA, 1998, p.353), bem como a montante.

A bacia hidrográfica “entendida como célula básica de análise ambiental, [...] permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem” (BOTELHO E SILVA, 2007, p. 153). Entende-se deste modo que nesta unidade espacial esteja implícita a visão sistêmica e integrada do ambiente.

Desta feita, pode-se considerar a bacia hidrográfica uma unidade de gestão adequada aos estudos ambientais. O seu caráter integrador permite,

conforme afirmam Cunha e Guerra (1998, p. 376), um acompanhamento das mudanças introduzidas pelo homem, bem como as respostas da natureza a essas mudanças através da erosão dos solos, dos movimentos de massa e da ocorrência de enchentes.

Reforçando a visão sistêmica na escolha da unidade de bacia hidrográfica para estudos ambientais, Guerra e Mendonça (2007, p. 231) afirmam serem as bacias hidrográficas, sistemas abertos, permitindo *inputs* de energia oriundos da precipitação, e *outputs* de matéria e energia relacionados à água e aos sedimentos resultantes dos processos erosivos nas encostas e nos vales fluviais existentes nas bacias.

Necessário se faz ressaltar que a entrada ou *input* de energia, por ocasião da precipitação, também se caracteriza como entrada de matéria na forma de água, decorrente da dinâmica do ciclo hidrológico. Assim sendo, a bacia hidrográfica se constitui como sistema aberto pela entrada e saída de matéria e energia.

Nascimento (2010, p. 2), discorrendo sobre a importância da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial para estudos de degradação e desertificação, destaca a ocorrência de mútuas relações dinâmico-instáveis entre seus elementos. Dessa perspectiva resultam inter-relações e interdependências intrínsecas entre os elementos que compõem a bacia hidrográfica, onde cada parte, executando funções específicas no aspecto da morfologia, estrutura, dinâmica e exploração biológica, condiciona a existência de diferentes subsistemas.

Considerando a necessidade de se estabelecer as interdependências de áreas submetidas a elementos dinâmicos comuns, com vistas à ordenação do território, Tricart (1977) aponta as bacias fluviais como unidades espaciais detentoras de características sistêmicas capazes de viabilizar a análise integrada de tais elementos dinâmicos.

A dinâmica dessas bacias cria dependências mútuas entre suas diversas partes, principalmente por intermédio do fluxo da água e dos materiais carreados de diferentes maneiras, que definem a própria bacia (TRICART, 1977, p. 75).

As águas que fluem pela bacia hidrográfica, apresentando regimes próprios característicos, e os sedimentos produzidos e mobilizados são resultantes

das condições naturais e ações humanas. As variáveis representadas pela topografia, geologia, clima e solo, compondo as condições naturais, colaboram para a erosão potencial, enquanto que as atividades humanas se dão pelo uso e ocupação da terra (NASCIMENTO, 2010). A interferência socioeconômica, representada pelas diversas formas de uso e ocupação da terra, atua, por conseguinte, como fator antrópico modificador da estabilidade do ambiente condicionando variações na vulnerabilidade à erosão.

Percebe-se, de modo geral, uma comunhão de ideias e opiniões no sentido de se ter na bacia hidrográfica uma unidade espacial capaz de possibilitar abordagens sistêmicas e holísticas para estudos de degradação, desertificação, bem como para proposições relativas ao planejamento e gestão ambiental.

Desse modo, encontra-se considerável literatura na qual a bacia hidrográfica constitui base espacial de análise dos fenômenos referentes à vulnerabilidade à erosão e degradação dos solos. MOTA & VALADARES (2011); SANTOS & SOBREIRA (2008); MESQUITA *et al.* (2010); MENEZES *et al.* (2007); SPÖRL (2001) são contribuições que retratam esta realidade.

É fato que problemas ambientais ocorrentes em um determinado município podem acometer gravemente o equilíbrio ambiental de seus vizinhos, porquanto tais limites administrativos não impedem a ação de processos naturais. Não se quer aqui desqualificar os estudos de ordenamento do território que partiram ou partem de uma base administrativa (limite municipal, divisa estadual ou fronteiras internacionais), apenas ressalta-se que esses estudos devem ter seus resultados e aplicações ponderados pelo entendimento de suas limitações de controle processual natural.

3. O ESTUDO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO NO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: considerações acerca do método e aplicações

3.1 O ESTUDO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO E O ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: relações de pertinência

A gestão do território tem sido preconizada como uma ferramenta de viabilização do desenvolvimento sustentável, este entendido como um modelo onde os conflitos da relação sociedade-natureza são conciliados, tendo por base a regulação do uso desse território (BECKER & EGLER, 1996).

Como funções precípuas da gestão do território, podem ser destacados: o zoneamento, o monitoramento dos efeitos do desenvolvimento e os problemas de degradação ambiental, além do fortalecimento das normas embutidas na legislação.

Nesse cenário, o zoneamento se constitui no instrumento mais importante para a exequibilidade da gestão do território, tendo aquele sido viabilizado a partir dos avanços tecnológicos ocorridos na década de 1980 (BECKER & EGLER, *op. cit.*), com o desenvolvimento dos SIG e das ferramentas de geoprocessamento.

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é a materialização da ideia de zoneamento, sendo aqui entendido conforme estabelecido pelo programa de ZEE da Amazônia Legal (BRASIL, 1991, p. 3, *apud* BECKER & EGLER, *op. cit.*) como “um dos instrumentos para a racionalização da ocupação dos espaços e de redirecionamento de atividades”, servindo de subsídio à elaboração e execução de práticas que visem ao desenvolvimento sustentável.

O ZEE tem ainda a finalidade de viabilizar o ordenamento dos territórios, entendido como “expressão espacial das políticas econômica, social, cultural e ecológica” (BRASIL, *op. cit.*, p. 3), por parte dos governos, oferecendo-lhes as bases técnicas necessárias à sua aplicação.

As vantagens do ZEE como instrumento político e técnico do planejamento são apresentadas por BECKER & EGLER (*op. cit.*), conforme seguem:

- a) é um instrumento técnico de informação sobre o território, necessária para planejar a sua ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais:

- provê uma informação integrada em uma base geográfica;
- classifica o território segundo suas potencialidade e vulnerabilidade;
- b) é um instrumento político de regulação do uso do território:
 - permite integrar as políticas públicas em uma base geográfica, descartando o convencional tratamento setorizado de modo a aumentar a eficácia das decisões políticas;
 - permite acelerar o tempo de execução e ampliar a escala de abrangência das ações, isto é, aumenta a eficácia da intervenção pública na gestão do território;
 - é um instrumento de negociação entre as várias esferas de governo e entre estas, o setor privado e a sociedade civil, isto é, um instrumento para a construção de parcerias;
- c) é um instrumento do planejamento e da gestão territorial para o desenvolvimento regional sustentável. Significa que não deve ser entendido como um instrumento apenas corretivo, mas também ativo, estimulador do desenvolvimento.

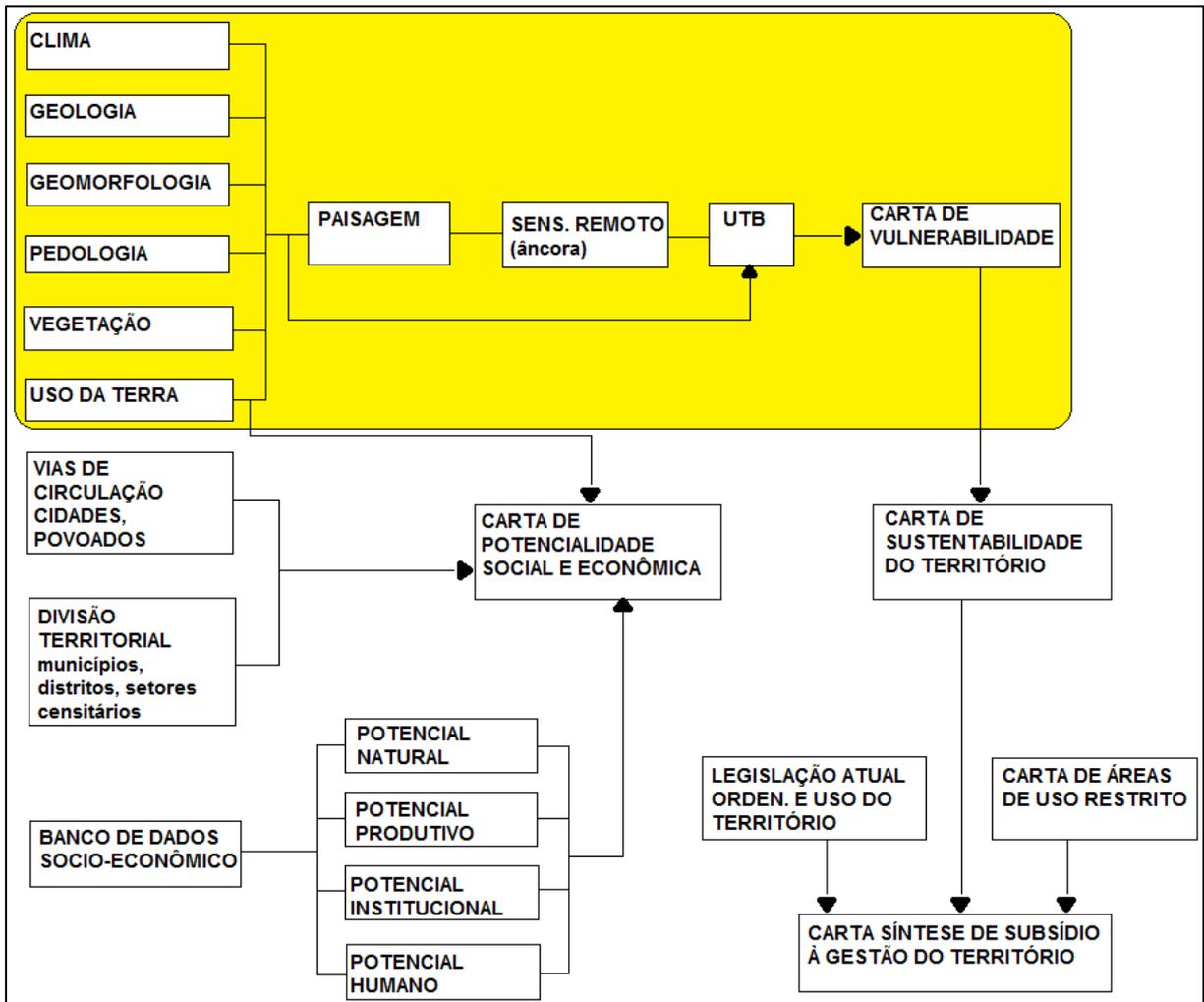
Como pode ser observado acima, o zoneamento ecológico-econômico tem dentro de sua relevância técnica a produção de informações integradas em base geográfica, e a classificação do território conforme suas potencialidades e vulnerabilidades. É nesse contexto técnico que se insere a importância do mapeamento da vulnerabilidade à erosão.

Conforme propugnam Becker e Egler (1996), a elaboração de um ZEE requer o levantamento de informações relativas aos aspectos naturais – carta de vulnerabilidade à erosão – e sociais – carta de potencial social (Figura 3). Do cruzamento destes produtos cartográficos temáticos resultará um terceiro, representado pela carta-síntese de subsídio à gestão do território, que tem como base os níveis de sustentabilidade e a legislação existente.

Tendo por referência a proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil (IBGE, 1986), Medeiros (1999) considera que ele tem como objetivo principal, num primeiro momento, dividir e classificar o espaço com base em fatores de ordem ecológica e econômico-social. A partir do cruzamento desses fatores, far-se-á a identificação de diferentes espaços conforme suas problemáticas específicas, os quais serão objeto de propostas e diretrizes. Posteriormente, tem-se como objetivo o zoneamento em escala de maior detalhamento, com vistas à organização do espaço, indicando áreas a serem preservadas, liberadas à ocupação, de acordo com os princípios de uma política ambiental.

É nesse primeiro momento, objetivando a diferenciação dos espaços com base na síntese da interação entre os fatores ecológicos e sócio-econômicos, que se enquadra a elaboração de uma carta de vulnerabilidade à erosão.

Figura 3 – Fluxograma geral da metodologia do ZEE com destaque para a elaboração da carta de vulnerabilidade à erosão



Fonte: adaptado de Medeiros (1999), e elaborado com base em Becker e Egler (1996).

Fruto de uma análise integrada dos componentes do meio físico-natural, a carta de vulnerabilidade à erosão tem como função precípua dentro do ZEE identificar a fragilidade dos ambientes à erosão, delimitando-os espacialmente, com vistas a subsidiar, com informações técnicas, as proposições de ordenamento territorial.

A abordagem integrada dos componentes naturais conforme previsto na elaboração da carta de vulnerabilidade à erosão pode ser obtida a partir do conceito de Ecodinâmica elaborado por Tricart (1977). Nesse sentido, os ambientes são

classificados conforme o grau de estabilidade que apresentam em função do balanço morfogênese/pedogênese.

3.2 MÉTODOS DE ABORDAGEM DOS ESTUDOS DE VULNERABILIDADE À EROSÃO E FRAGILIDADE AMBIENTAL

A proposição de Tricart (*op. cit.*) sobre o conceito de fragilidade ambiental tem sido aplicada em estudos de zoneamento ambiental e planejamento e gestão do território em todo o Brasil. Nesse cenário destacam-se as proposições de Ross (1994) e Crepani *et al.* (1996, 2001), ambas elaboradas sob a ótica da Ecodinâmica e com enfoque quantiquantitativo. No Ceará merece destaque o trabalho realizado por Souza (2000), onde foi aplicado o conceito de fragilidade ambiental com vistas à formulação do esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará.

Com base em uma abordagem integrada do meio ambiente, Souza (*op. cit.*) definiu quatro níveis de sustentabilidade para as unidades de paisagem propostas no esboço de Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará, quais sejam: sustentabilidade muito baixa, baixa, moderada, alta. A estas sustentabilidades foram associadas as seguintes categorias de vulnerabilidade: baixa, moderada, alta. A correlação entre as categorias de sustentabilidade e vulnerabilidade se deu de forma inversamente proporcional.

A classificação da sustentabilidade/vulnerabilidade dos ambientes foi, conforme frisa o autor, “[...] estabelecidas sob um aspecto essencialmente qualitativo” (SOUZA, 2000, p. 13). Importante lembrar que, considerando a escala espacial em que se deu o estudo e a extensão da área coberta, a abordagem qualitativa responde adequadamente às expectativas.

Com base nessa classificação, foi possível definir as potencialidades e limitações ao uso de cada unidade geoambiental, contribuindo para subsidiar uma melhor gestão dos recursos ambientais do Estado.

Seguindo uma vertente quantiquantitativa, Ross (1994) propõe dois métodos de realizar estudos de fragilidade ambiental, diferenciando-se aquelas em função do critério de análise adotado como principal referência à classificação dos ambientes.

Os métodos são embasados em critérios morfométricos. Em uma das propostas de estudo da fragilidade ambiental, o autor adota como principal critério de análise o índice de dissecação do relevo. Na outra proposta, recorre o autor às classes de declividade do terreno.

De um modo geral, Ross (*op. cit.*) propõe um modelo onde é feita a análise dos temas isoladamente até chegar às unidades homogêneas complexas. Essa composição é resultado da associação de índices pré-estabelecidos e hierarquizados, onde a morfometria tem destaque.

Uma proposta de estudo da erosão, esta com caráter quantitativo, com vistas ao planejamento ambiental, é o emprego da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) ou *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Esta proposição é baseada em uma equação empírica para estimativa da perda de solo em parcelas de propriedades agrícolas. Aperfeiçoada por Wischmeier e Smith (1978), esta equação teve seu desenvolvimento na década de 1940 com estudos na região do *Corn Belt*, nos EUA (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008). A proposição parte da aplicação de parâmetros empíricos estabelecidos a partir de milhares de observações e medições em campo.

As variáveis consideradas na EUPS são: a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, o comprimento do declive, o grau de declividade, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas.

No Brasil, os primeiros trabalhos empregando a EUPS foram realizados por Bertoni *et al.* (1975), fazendo uso de dados existentes para o Estado de São Paulo (BERTONI & LOMBARDI NETO, *op. cit.*).

Em virtude de sua proposição empírico-quantitativa⁵⁰

a EUPS tem tido bons resultados quando aplicada para o planejamento conservacionista em pequenas propriedades rurais e pequenas bacias hidrográficas. A aplicação da EUPS para subsidiar planejamentos em áreas mais extensas tem sido ainda objeto de análise crítica, mas vem ganhando força com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas, notadamente em bacias hidrográficas, no sentido de avaliar a aplicação desse método na obtenção de diagnósticos de processos erosivos e da morfodinâmica (PARANHAS FILHO *et al.* 2003; TOMAZONI & GUIMARÃES, 2005; TOMAZONI *et al.*, 2005; PRADO &

NÓBREGA, 2005; SANTOS *et al.*, 2006). Em comum com essas pesquisas tem-se a utilização da ferramenta de geoprocessamento para viabilizar a análise do processo erosivo no aspecto da quantificação e da espacialidade do fenômeno, agilizando e desonerando financeiramente o trabalho.

A crítica a este método fica no campo das dificuldades para sua implementação em razão da carência de dados de campo em escala compatível com a demanda de sua aplicação. O território brasileiro, em razão das suas dimensões continentais e da carência de recursos financeiros destinados aos levantamentos de informações em grande escala, constitui-se ainda em uma barreira à utilização da EUPS com fins de estudos em grandes áreas.

Digno de observação é o trabalho desenvolvido para o projeto ARIDAS (BRASIL, 1994) abordando as condições do uso e perspectiva de uso sustentável dos geoambientes do semiárido brasileiro.

Com base na utilização da EUPS, foi realizada uma avaliação das perdas de solo e água por erosão no Nordeste semiárido. Os dados utilizados pelo projeto ARIDAS tiveram origem a partir de estudos realizados no semiárido nordestino e que foram compilados para compor o banco de dados que alimentou a respectiva análise.

Os resultados a que chegou a pesquisa indicaram uma baixa perda de solo na zona semiárida nordestina, mesmo quando o solo encontra-se exposto e sem qualquer medida conservacionista. Isto se dá, segundo BRASIL (1994), por consequência de médios a baixos índices de erosividade das chuvas e de erodibilidade dos solos, além da eficiência da cobertura de caatinga contra o processo desnudacional.

Conforme BRASIL (*op. cit.*), as áreas mais susceptíveis à erosão estão situadas em superfícies do embasamento cristalino, onde os solos apresentam maior vulnerabilidade pela baixa profundidade e permeabilidade reduzida. O relevo ondulado, com vertentes convexo-côncavas e de média a forte declividade, complementa o quadro de vulnerabilidade. Os Estados que apresentam maior superfície com essas características são Ceará, Paraíba e Pernambuco (BRASIL 1994).

Na busca de viabilizar estudos mais rápidos e de menor custo operacional, otimizando recursos financeiros e humanos, Crepani *et al.* (1996)

propuseram um modelo empírico de classificação da vulnerabilidade do ambiente com base na avaliação das características dos fatores naturais e antrópicos. Este método foi modelado em SIG por Barbosa (1997) e reformulado por Crepani *et al.* (2001).

Com base nos conceitos de biorresistência (ERHART, 1955) e de Ecodinâmica (TRICART, 1977), Crepani *et al.* (op. cit.) desenvolveram um método potencialmente eficiente na identificação da vulnerabilidade dos sistemas ambientais, de forma a quantificar a informação.

Atribuíram valores de vulnerabilidade para cada tema considerado (geologia, geomorfologia, solos, clima, vegetação), tendo por referência as informações ou características físico-naturais daqueles e suas conseqüentes susceptibilidades à erosão.

O método desenvolvido por Crepani *et al.* (1996, 2001) tem sido largamente aplicado por pesquisadores brasileiros. As aplicações se dão por vezes de forma adaptada, em virtude das disponibilidades de dados, e por vezes como tentativa de aprimorar a proposta.

Apresentam-se a seguir algumas pesquisas que tiveram como referencial teórico-metodológico a proposta de Crepani *et al.* (1996, 2001). Objetiva-se com isso trazer uma breve ideia das aplicações e resultados alcançados a partir do método em questão.

Spörl (2001), propondo um comparativo de métodos, utilizou três modelos para determinação da fragilidade ambiental. Dois modelos foram propostos por Ross (1994), sendo um com apoio no índice de dissecação do relevo e outro nas classes de declividade. O terceiro modelo utilizado refere-se ao proposto por Crepani *et al.* (1996), e teve como apoio as unidades territoriais básicas – UTB.

Dentre as informações que balizam o cálculo da vulnerabilidade, Spörl (2001) chama atenção para a importância da carta de uso da terra como um instrumento de peso na análise e determinação dos níveis de fragilidade dos ambientes naturais, ainda que representando apenas um recorte temporal, não permitindo um acompanhamento e entendimento da dinâmica que envolve o tema cobertura vegetal.

Os resultados da carta de vulnerabilidade com base no modelo formulado por Crepani *et al.* (1996) apresentou alguma similaridade com a carta de fragilidade

com base no índice de dissecação do relevo (ROSS, 1994). Na maioria das unidades estabelecidas por Spörl (2001), a vulnerabilidade mostrou-se menor no modelo de Crepani *et al.* (*op. cit.*) do que no de Ross (*op. cit.*).

Para o modelo com base na declividade dos terrenos, os resultados dos modelos anteriores foram bastante contrastantes quando comparados a este último.

Spörl (*op. cit.*) afirma não ser possível estabelecer qual modelo é mais eficiente na determinação dos níveis de fragilidade do ambiente, sendo necessária uma comparação dos resultados destes com um estudo de campo criterioso.

Seguindo na perspectiva de análise comparativa de métodos, Santos e Sobreira (2008) aplicaram procedimentos diferentes para estudar a fragilidade e vulnerabilidade natural em três cursos d'água em Minas Gerais.

Os métodos aplicados tiveram como objetivos a definição da fragilidade ambiental (ROSS, 1994; 2000) e vulnerabilidade natural à erosão (CREPANI *et al.* 1996; 2001).

O método proposto por Crepani *et al.* (1996; 2001) apresentou, segundo Santos e Sobreira, uma boa correlação entre os resultados obtidos e os observados em campo. Todavia, conforme os autores, o método proposto por Ross (1994; 2000) foi mais eficiente na delimitação da fragilidade dos ambientes quando comparado às observações da verdade terrestre.

Silva (2007) realizou estudos de fragilidade ambiental do Maciço de Uruburetama, Ceará, com vistas a subsidiar um planejamento agrícola da área. Fazendo uso do método proposto por Crepani *et al.* (1996), o autor propugnou uma classificação dos sistemas ambientais da área de estudo em níveis de fragilidade, o que serviu de referência para as orientações acerca das formas de uso da terra mais adequadas. Foram levantadas informações acerca da fragilidade das variáveis geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas e de cobertura vegetal. Na avaliação da resposta alcançada pela pesquisa em relação à aplicação do método desenvolvido por Crepani *et al.* (*op. cit.*), Silva (2007) considerou-o satisfatório, havendo grande espelhamento entre as classes de fragilidade com a situação observada *in loco*.

Seguindo o método de Crepani *et al.* (2001) para definição das unidades de vulnerabilidade natural à perda de solo, Santos e Máron (2009) fizeram uso de todos os temas ou variáveis propostos no método original.

Conforme defendem os autores, as unidades de paisagem da área de estudo apresentam equilíbrio dinâmico entre morfogênese e pedogênese, induzindo a uma primazia do nível intermediário de vulnerabilidade. Os autores destacam a ação da vegetação no balanço morfogênese/pedogênese, havendo, segundo eles, uma relação direta da tipologia da cobertura vegetal como a morfodinâmica e proteção dos ambientes.

Para o estudo em questão, Santos e Máron (*op. cit.*) consideraram os corpos d'água como vulnerabilidade alta (3,0). Entretanto, levando-se em conta os processos de denudação dentro do conceito *stricto sensu* de vertente (GILBERT, 1877, *apud* CASSETTI, 2005), as áreas submersas pela água estariam protegidas da atividade erosiva areolar, estando submetidas tão somente aos processos fluviais. Note-se que o método proposto por Crepani *et al.* (2001) aplica-se aos processos areolares. Daí Crepani *et al.* (2008) não terem considerado os espelhos d'água na classificação da vulnerabilidade, ou melhor dizendo, considerou-os como água, informação não classificada dentro do conceito de vulnerabilidade.

Em estudo realizado em bacia da Mesorregião do São Francisco pernambucano, Menezes *et al.* (2007) aplicou o método proposto por Crepani *et al.* (1996) com a finalidade de estabelecer o índice de vulnerabilidade à erosão a partir das relações entre morfogênese e pedogênese. Foram definidos os índices de vulnerabilidade para as variáveis: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso do Solo.

Os resultados indicaram uma ineficiência da cobertura vegetal alterada em controlar os processos denudacionais na bacia estudada. Este fato, agravado pelas características pluviométricas, onde as chuvas concentram-se em poucos meses e por vezes em forma de aguaceiros, provoca uma forte mobilização de sedimentos e conseqüente entulhamento das calhas fluviais.

As afirmações acima ganham respaldo nas observações de Wischmeier & Smith (1978), para os quais a erosão hídrica se constitui no processo de morfogênese mais ativo nas condições tropicais semiáridas e depende fundamentalmente, dentre outras variáveis, da intensidade das chuvas e da densidade da cobertura vegetal.

A ausência da variável clima no estudo de Menezes *et al.* (*op. cit.*) deve ser considerada como limitadora do alcance dos resultados obtidos, pois o processo erosivo tem na energia proveniente da chuva sua principal força motriz.

Mota e Valladares (2011) também fizeram uso do método desenvolvido por Crepani *et al.* (2001) em estudo na bacia do Rio Acaraú, Ceará. Nessa pesquisa os autores não procederam, no entanto, à delimitação das unidades de paisagem natural nem dos polígonos de ação antrópica, limitando-se ao cruzamento das variáveis físico-naturais e antrópicas.

Conforme atestado pelos autores, no tema clima os valores encontrados para a área ficaram dentro da condição estável. Os autores concluíram que os resultados para este tema não refletiram as condições reais de vulnerabilidade para a Bacia do Acaraú. Consideraram ainda que a explicação pode estar no fato de que o método proposto por Crepani *et al.* (*op. cit.*) foi desenvolvido para a Amazônia, onde os volumes de pluviometria são muito maiores.

Outra razão para esta ineficiência nos resultados, esclarecem Motta e Valladares (*op. cit.*), estaria nas afirmações de Andrade *et al.* (2006), segundo o qual as precipitações da região apresentam distribuição unimodal com 80% do volume total concentrado entre os meses de fevereiro e maio.

Importante perceber que a determinação da vulnerabilidade do tema clima, proposta por Crepani *et al.* (*op. cit.*), considera a capacidade erosiva da chuva, sendo o seu valor calculado com base no volume da precipitação total anual dividido pelo número de meses chuvosos. Entretanto, não há na referida proposição a conceituação de mês chuvoso, ficando, por conseguinte, a escolha dos meses em função de parâmetros adotados em cada pesquisa. Uma possível solução para essa questão é a adoção do primeiro valor referencial proposto por Crepani *et al.* (1996, 2001) na definição da vulnerabilidade do tema clima, qual seja, 50mm mensais de precipitação. Assim, seria considerado mês chuvoso todo aquele que apresente série histórica com precipitação média mensal superior a 50 mm.

Os resultados de vulnerabilidade à degradação dos solos apresentados por Mota e Valladares (2011) se consubstanciaram em quatro níveis: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável. Os autores consideraram o método empregado como sendo eficiente no

mapeamento da vulnerabilidade à degradação dos solos da bacia do Acaraú, contribuindo como base sintética à tomada de decisão e gestão territorial.

Em alguns trabalhos tem sido aplicadas versões resumidas, por assim dizer, da proposta original de Crepani *et al.* (*op. cit.*). Nesse sentido, podem-se citar os trabalhos de Arruda *et al.* (2007); Mello e Valladares (2009), além de Mota e Valladares (2011), já citado anteriormente.

Arruda *et al.* (*op. cit.*) fizeram uso de quatro variáveis a saber: geologia, geomorfologia, solos e cobertura vegetal, objetivando definir a vulnerabilidade natural à perda de solo no município de Fátima, Tocantins.

Foram identificadas quatro classes de vulnerabilidade natural à perda de solo: moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável. Não foram utilizados dados referentes ao clima, o que pode, independentemente da homogeneidade espacial dos valores referentes ao tema, comprometer a precisão dos resultados obtidos.

Os autores concluíram, por meio dos resultados obtidos, que a metodologia empregada mostrou-se eficiente na determinação da fragilidade das unidades de paisagem, tendo em vista haver compatibilidade entre as classes definidas e as observações feitas em campo.

Aplicando três variáveis da metodologia proposta em Crepani *et al.* (2001), a saber, geologia, geomorfologia e solos, Mello e Valladares (2009) estabeleceram em sistema SIG cinco níveis de vulnerabilidade (estável, moderadamente estável, moderadamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável). As ausências dos temas uso e cobertura vegetal foram justificadas por serem estes atributos, segundo os autores, considerados na gestão territorial. A variável clima não foi considerada nem teve sua ausência justificada.

Há desta forma um claro entendimento por parte dos autores da pesquisa de que a vulnerabilidade do ambiente deve ser compreendida em dois momentos: o primeiro, em que os fatores são de ordem natural, representados pela geologia, geomorfologia e solos. O segundo, em que se inclui a ação humana, representada pelo uso e cobertura do solo.

Menezes *et al.* (2007) realizaram estudo na Mesorregião do São Francisco pernambucano utilizando-se da proposição de Crepani *et al.* (1996) para determinação da vulnerabilidade à erosão. Neste trabalho os pesquisadores fizeram

uso do IVDN (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) para o tema cobertura vegetal. Foram estabelecidos valores de vulnerabilidade em função do IVDN da área. Para valores maiores de IVDN (maior densidade de cobertura vegetal), menor valor de vulnerabilidade. Os valores menores do IVDN estão relacionados à menor densidade de cobertura vegetal e, por conseguinte, à maior vulnerabilidade.

O IVDN corresponde a um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde, e pode ser obtido pela razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho e a soma destas mesmas variáveis (MENEZES *et al.* 2007).

Outra modificação na proposta do método original foi o estabelecimento de um valor médio de vulnerabilidade do clima em função da erosividade da chuva. Os autores consideraram que a utilização do valor de precipitação anual dividido pelo número de meses do ano mascararia a condição de precipitações convectivas de natureza torrencial que caracterizam a região semiárida. Caso fossem utilizados apenas os meses mais chuvosos, haveria uma superestimação do potencial erosivo da chuva. Optaram assim por um valor médio entre as duas situações.

Os resultados obtidos permitiram aos autores concluir que, apesar do valor médio de vulnerabilidade encontrado para a bacia, ocorrem de forma localizada processos degradacionais em que a cobertura vegetal alterada parece ser o fator determinante. Também foi considerado que a utilização de um índice agregado para toda a bacia não permitiu estabelecer o papel de cada elemento individualmente como estruturador sinérgico dentro do sistema ambiental.

Acerca do uso do IVDN como ferramenta para definição da vulnerabilidade do tema vegetação, deve-se ter em mente que esse índice trabalha com resposta espectral e que esta sofre alteração ao longo das estações do ano, notadamente em ambiente semiárido, como é o caso da área estudada pela referida pesquisa. Desta feita, o uso do IVDN para determinação da vulnerabilidade da cobertura vegetal deve considerar o contexto de sazonalidade climática e seus efeitos sobre a fitomassa.

Seguindo na busca de adaptações do método desenvolvido por Crepani *et al.* (2001), Mesquita *et al.* (2010) propuseram desmembrar a fórmula da vulnerabilidade natural à perda de solo. Assim, os autores procederam ao cálculo da vulnerabilidade natural à perda de solo utilizando apenas a média aritmética dos

temas geologia, clinografia (relevo) e solo. Aos resultados deste primeiro cálculo foram somados os valores de vulnerabilidade da cobertura vegetal e depois divididos por dois.

Os resultados permitiram conclusões no sentido de considerar a cobertura vegetal, representada pelas variações de sua densidade, um fator relevante na estabilização dos processos morfogenéticos. Concluíram também que o método aplicado foi satisfatório, pois houve coerência entre os resultados obtidos e a realidade da área estudada.

Ao destacar os valores de vulnerabilidade da cobertura vegetal conferindo maior peso a estes na definição da vulnerabilidade natural à perda de solo, entende-se esta variável como tendo maior influência na definição da vulnerabilidade dos sistemas ambientais. Entretanto, a opção por conferir a qualquer tema um peso maior deve estar respaldada por referenciais teóricos e os resultados obtidos devem-se mostrar coerentes com a verdade terrestre.

De modo geral, a aplicação da proposição de Crepani *et al.* (1996, 2001) para elaboração de mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo tem apresentado bons resultados. Percebe-se, por observação da maioria dos casos aqui citados, que o método é passível de ajustamentos e adaptações frente às carências que o território brasileiro apresenta quanto ao nível de detalhe das informações disponíveis, e em certos casos até mesmo quanto à existência de informações.

As adaptações e ajustamentos devem, contudo, ser realizadas mediante aportes teórico e técnico que as justifiquem, além de considerações acerca das possíveis limitações decorrentes de suas aplicações.

4 MÉTODO E PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS

O método aplicado neste trabalho tem como referência a proposta apresentada por Crepani *et al.* (1996, 2001 e 2008), desenvolvida à luz do conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977). A proposição para elaboração de uma carta de vulnerabilidade natural à perda de solo, ou carta de vulnerabilidade à erosão, como será aqui chamada, vem contribuir para subsidiar a elaboração de zoneamento ecológico econômico – ZEE, visto que esse mapeamento constitui-se na análise do meio físico e biótico para fins de subsidiar a ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais (BECKER E EGLER, 1997).

Na busca de aperfeiçoamento do modelo já consagrado na literatura, propõe-se uma adequação do método supracitado, tendo por base mudanças em dois elementos de análise utilizados por Crepani *et al.* (2001).

O primeiro refere-se à unidade espacial de análise, representada pela Unidade Territorial Básica (UTB) e substituída neste trabalho pela Unidade Morfopedológica. Esta adaptação é justificada por se ter na relação relevo/solo uma interação dinâmica que merece ser destacada na análise da fragilidade do meio. A ação da gravidade e a energia contida no escoamento superficial são potencializadas em função das características de relevo e solo.

A segunda modificação refere-se à posição ou importância dada às componentes geoambientais na determinação do índice de vulnerabilidade à erosão. Na proposição de Crepani *et al.* (op. cit.), todas as componentes estão postas no mesmo nível de importância, sendo a vulnerabilidade obtida pela média aritmética das vulnerabilidades dos temas considerados. Para este trabalho, confere-se à cobertura vegetal um papel diferenciado na determinação da vulnerabilidade do ambiente.

Adotam-se aqui dois níveis de vulnerabilidade à erosão. O primeiro nível é a vulnerabilidade potencial à erosão (V_p), obtido pela média aritmética dos valores de vulnerabilidade referentes às componentes de Geologia, Geomorfologia, Clima e Solo. Todos estes fatores têm como referência de vulnerabilidade os valores propostos por Crepani *et al.* (2001). O segundo nível é o de vulnerabilidade efetiva à erosão (V_e), para o qual se adota a média aritmética entre a vulnerabilidade potencial e a vulnerabilidade apresentada pelo uso do solo e cobertura vegetal.

No procedimento adotado para esta pesquisa, a cobertura vegetal ocupa posição de destaque na determinação da vulnerabilidade à erosão. Parte-se da premissa de que a cobertura vegetal exerce um papel de amortecedor dos processos relativos à ação erosiva desde o primeiro momento, quando há o contato da gota de chuva com a partícula de solo, produzindo o efeito *splash*, até a ação na redução do escoamento superficial por aumento da retenção da água para infiltração, reduzindo a componente horizontal e aumentando a componente vertical. Nesse sentido Tricart (1977, p. 27), comentando acerca da importância da cobertura vegetal no balanço morfogênese/pedogênese, afirma que a erosão pluvial é impedida, ou muito retardada, na presença de cobertura vegetal herbácea densa e por uma camada de detritos vegetais, notadamente folhas mortas. Tricart (*op cit.*, p. 29) afirma ainda que, no aspecto da dinâmica ecológica, a morfodinâmica constitui um elemento limitador e exemplifica:

Onde a morfodinâmica é intensa – por exemplo, num campo de dunas ou em área de intenso ravinamento –, a vegetação é pobre e muito aberta, com biomassa reduzida e pouca variedade específica. Existe, portanto, uma antinomia entre a morfodinâmica e o desenvolvimento da vida.

Considerando ainda que a cobertura vegetal ou a ausência desta pode representar, de maneira objetiva, as formas de uso do solo, e que a vegetação é o elemento que mais frequentemente sofre os efeitos da exploração socioeconômica dos recursos naturais, justifica-se a valorização deste tema na análise da vulnerabilidade do ambiente aos processos erosivos.

Assim, a cobertura vegetal passa a ser considerada especificamente na determinação da vulnerabilidade efetiva à erosão (V_e). Neste cálculo, o valor da vulnerabilidade é obtido pela média aritmética entre o uso e cobertura vegetal e a vulnerabilidade potencial (V_p).

Para uma melhor compreensão da vulnerabilidade à erosão na sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, consideraram-se informações do uso e cobertura vegetal em três períodos: 1989, 2000 e 2011. As informações sobre o uso e cobertura vegetal foram obtidas a partir de interpretação de imagens do satélite LANDSAT TM-5. Buscou-se assim perceber relações entre as modificações espaço-temporais da cobertura vegetal e mudanças do grau de vulnerabilidade das

unidades de paisagem, subsidiando assim o entendimento de ocorrência de processos erosivos e de degradação dos solos na sub-bacia do Figueiredo.

A utilização de linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) permitiu o cruzamento dos dados de vulnerabilidade/estabilidade referentes a cada tema, tornando mais ágil o processo de análise e síntese das informações.

As etapas executadas durante a pesquisa, e que possibilitaram a obtenção dos valores que compuseram a base de dados para a obtenção dos índices de vulnerabilidade, são descritas adiante.

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS GEOCARTOGRÁFICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO

De acordo com a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001, p.19), são requisitos mínimos necessários para a obtenção das informações a serem trabalhadas no modelo de geração da carta de vulnerabilidade natural à perda de solo os documentos geocartográficos e bibliográficos constituídos por: Imagens de satélite; Relatórios do Projeto RADAM com os respectivos mapas temáticos na escala de 1:1.000.000 (Geologia, Geomorfologia, Solos, e Vegetação); Carta topográfica na escala de 1:100.000 ou, na ausência desta, na escala de 1:250.000; Dados históricos de pluviometria.

Crepani *et al.* (*op. cit.*) afirmam ainda que, conforme haja disponibilidade de dados com maior nível de detalhe, possibilitando contribuir para o conhecimento da área em questão, devem estes dados ser considerados.

Assim sendo, compuseram a base de dados de referência deste estudo os seguintes documentos:

- Imagens LANDSAT TM-5, órbita 216/64, bandas 5, 4, 3 na composição RGB. Datas das passagens: 9 de agosto de 1989; 6 de julho de 2000; 6 de agosto de 2011;
- Relatórios do Projeto RADAM volume 23, folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal;

- Mapas temáticos do Projeto RADAM folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal, na escala 1:1.000.000 referentes aos temas de Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação;
- Levantamento exploratório e reconhecimento dos solos do Estado do Ceará. (BRASIL, 1973). – Relatório e Mapa;
- Mapa de Solos do Ceará (SEAGRI, 1988) na escala de 1:800.000
- Imagens SRTM/NASA SB-24-Z-A e SB-24-X-C;
- Cartas planialtimétricas na escala 1:100.000 DSG/SUDENE, folhas SB.24-X-C-II (Limoeiro do Norte), SB.24-X-C-V (Iracema) e SB.24-Z-A-II (Pau dos Ferros);
- Dados históricos da precipitação registrada nos postos pluviométricos da FUNCEME para os municípios de Alto Santo (1989/2011), Iracema (1989/2011), Potiretama (1989/2011), Pereiro (1989/2011) e Ererê (1989/2011);

Estes documentos forneceram as informações básicas necessárias à formação do banco de dados que subsidiou a análise e a geração das bases temáticas (geologia, geomorfologia, clima, solos, uso e cobertura vegetal) e das cartas de vulnerabilidade de cada fator, bem como as cartas de vulnerabilidade potencial e efetiva à erosão.

Na atividade de geoprocessamento e nas atividades de campo foram utilizados os seguintes equipamentos e *software*:

- *Software* gratuito *Spring* versão 5.2.5 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.
- Máquina fotográfica Nikon coolpix – L810;
- GPS Garmin eTrex.

4.2 ELABORAÇÃO DO MAPEAMENTO TEMÁTICO

As informações acerca das derivações naturais e da atividade social da sub-bacia do rio Figueiredo deram origem aos mapas que serviram como suporte para a definição da vulnerabilidade à erosão.

Os mapas referentes aos temas geologia e geomorfologia foram elaborados a partir dos dados do projeto RADAMBRASIL (BRASIL,1981) folhas SB.

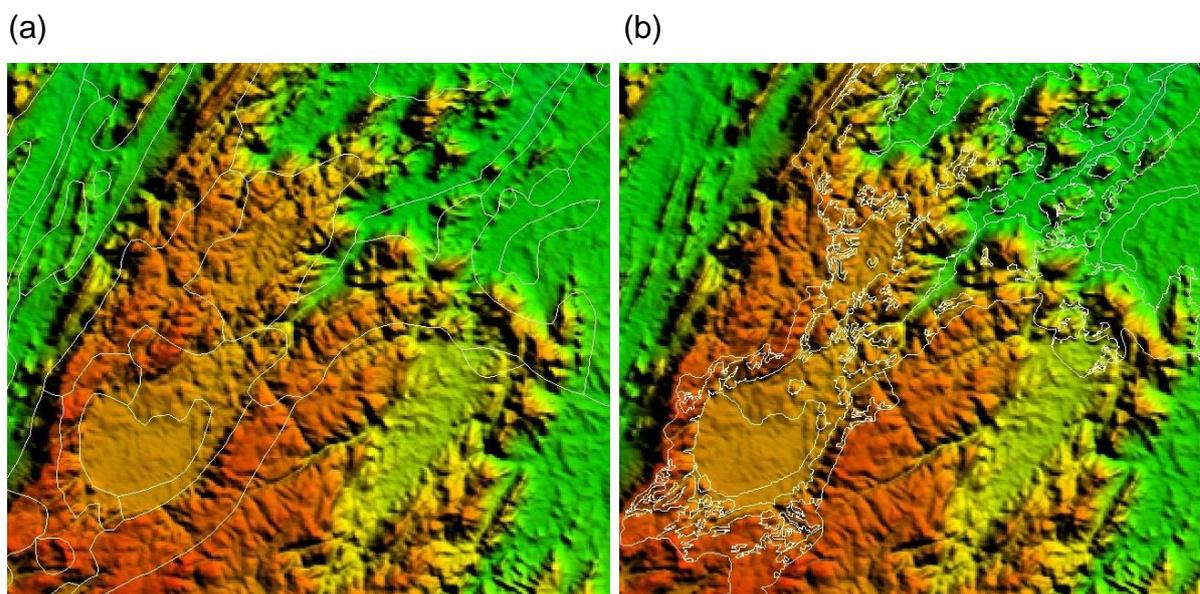
24/25, JAGUARIBE/NATAL, na escala de 1:1.000.000, e cujo mapeamento foi produzido a partir dos mosaicos semicontrolados de radar em escalas de 1:250.000.

O mapa referente ao tema solo teve como referência o mapa de solos do Estado do Ceará elaborado por CEARÁ (1988), cuja representação se deu na escala de 1:800.000 e resulta da compilação de cartas na escala de 1:250.000.

Como forma de aperfeiçoar a qualidade das informações dos mapas de geologia, geomorfologia e solos, foi aplicado o método de criação de vetores automáticos a partir de grade refinada extraída de imagem SRTM (Crepani e Medeiros, 2007). Nesse caso a imagem foi refinada para pixel de 30m X 30m.

As informações obtidas com base nessa técnica permitiram uma melhor delimitação dos polígonos nos mapas temáticos, corrigindo distorções existentes nos mapeamentos originais, conforme pode ser verificado na Figura 4.

Figura 4 – Vetores do mapeamento dos solos do Estado do Ceará: (a) vetorização conforme (CEARÁ, 1988) e (b) vetorização automática gerada a partir de grade refinada (30mx30m) de SRTM



Fonte: elaborado pelo autor.

A técnica foi amplamente aplicada às áreas referentes aos maciços residuais e superfícies com rupturas de declives mais acentuadas. Nos setores com variações altimétricas menores, sem quebras de relevo fortemente demarcadas, a aplicação do método não foi eficiente. Nessas áreas foi necessária a manutenção

dos polígonos delimitados pelo mapeamento original do BRASIL (1981) e CEARÁ (1988), apenas com correções manuais tendo como base a imagem SRTM e as imagens LANDSAT TM-5 na composição 5R4G3B.

O mapa referente ao tema clima foi elaborado a partir das médias pluviométricas históricas registradas pela FUNCEME. A informação gerada diz respeito à intensidade pluviométrica obtida, conforme proposta por Crepani *et al.* (2001), pela fórmula:

$$T_p \div M_p \quad [1]$$

Onde:

T_p = pluviosidade média anual.

M_p = duração do período chuvoso (em meses).

Os valores de intensidade pluviométrica foram associados, com base no posicionamento dos postos pluviométricos considerados, às informações de altimetria geradas a partir de imagem SRTM.

Cruzando dados de localização das cinco estações meteorológicas que serviram de referência para os parâmetros pluviométricos, a saber: estações meteorológicas de Alto Santo, Iracema, Potiretama, Ererê e Pereiro, e as respectivas intensidades pluviométricas encontradas, estabeleceu-se uma relação entre altitude e intensidade pluviométrica, justificada pelo efeito orográfico.

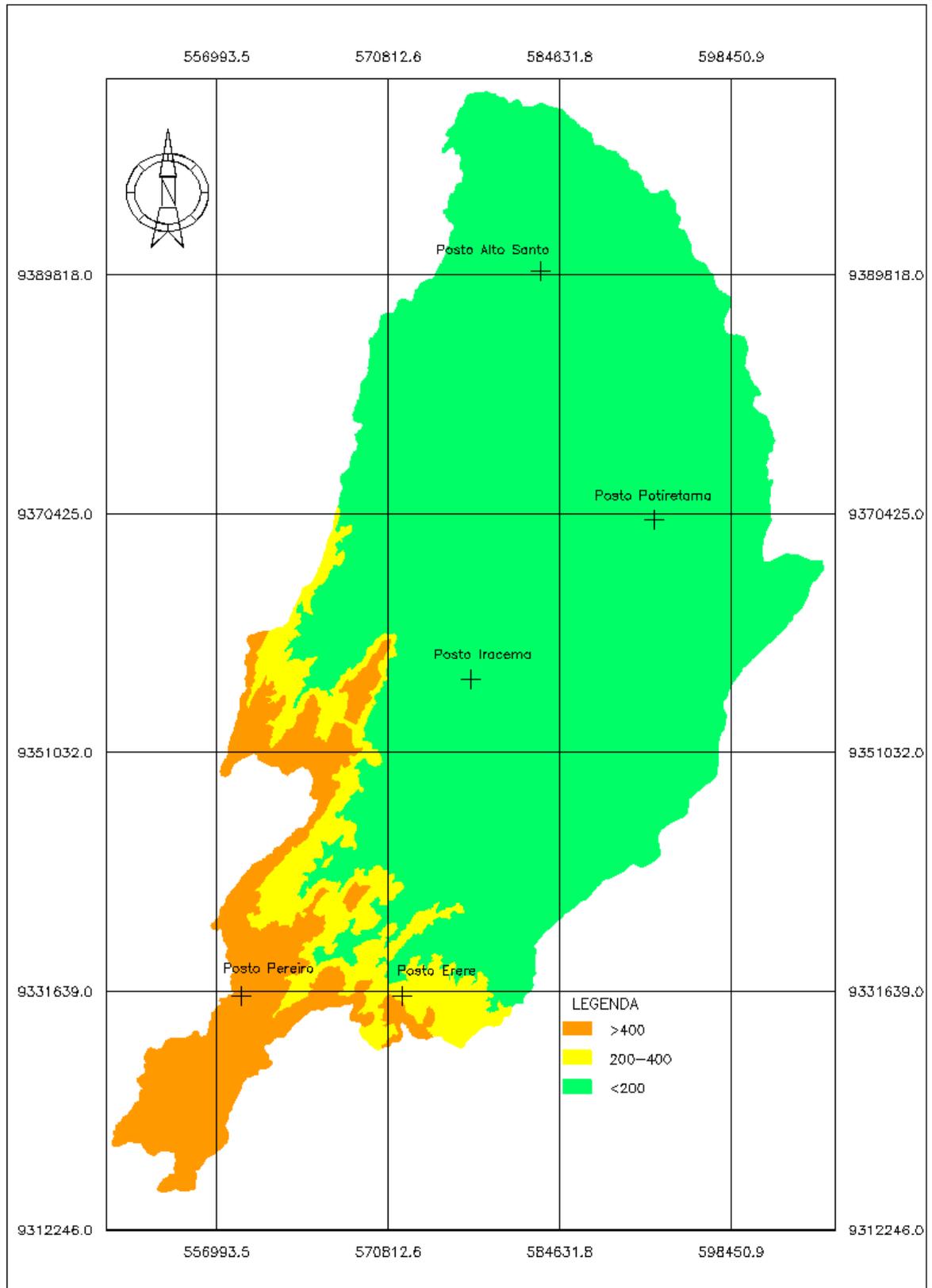
Os dados de intensidade pluviométrica foram espacializados com base nas linhas hipsométricas de 200 e 400m. A relação entre a distribuição das chuvas e a hipsometria local fica evidenciada quando considerado o posicionamento dos postos pluviométricos que serviram de referência quanto aos dados utilizados (Figura 5).

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura vegetal, foram utilizadas as imagens Landsat – TM5 na composição 5R4G3B. Tendo como referência inicial a imagem correspondente ao ano de 2011, foram realizados os procedimentos de segmentação da imagem e classificação manual, sendo geradas as primeiras informações acerca do tema para o referido ano. Posteriormente foi realizada visita a campo para confirmação e possíveis correções das interpretações realizadas em

gabinete, chegando-se, por conseguinte, à base temática sobre o uso da terra e cobertura vegetal referente ao ano de 2011.

As informações sobre uso da terra e cobertura vegetal referente aos anos de 1989 e 2000 foram obtidas tendo por base as imagens orbitais dos referidos períodos. O procedimento teve como referência os padrões de interpretação utilizados na imagem de 2011. Este procedimento se fez possível em virtude da utilização de produtos originários do mesmo sistema de imageamento em todos os períodos propostos. Assim, procedeu-se à segmentação e classificação das imagens orbitais referentes aos anos de 1989 e 2000, a partir das quais foram geradas as bases temáticas de uso e cobertura vegetal, referentes a cada período.

Figura 5: Posicionamento dos postos pluviométricos com referência à hipsometria



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 LEVANTAMENTO DA VERDADE TERRESTRE

As atividades relativas ao levantamento das informações *in loco* para subsidiar os trabalhos de gabinete constituem-se como etapa fundamental para o bom resultado da pesquisa.

Foram feitas três incursões *in loco* com o objetivo de reconhecimento e levantamento de informações acerca da cobertura vegetal atual e uso da terra, presença de espécies vegetais indicadoras de degradação ambiental, a exemplo do capim panasco e cactáceas, como também quanto à ocorrência de processos morfodinâmicos acelerados, a exemplo de erosão do solo, seja linear ou laminar e assoreamento de canais.

Nas áreas visitadas foram feitas fotografias bem como anotações em fichas contemplando informações sobre localização e características geoambientais em 13 pontos de observação, tendo sido percorridos aproximadamente 550 km dentro da sub-bacia do Figueiredo.

As informações anotadas e registradas em campo subsidiaram a avaliação da eficiência do método quanto à identificação da vulnerabilidade das unidades morfopedológicas observadas.

4.4 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS COMPONENTES AMBIENTAIS

No intuito de possibilitar um melhor entendimento dos procedimentos adotados para essa pesquisa, quanto à determinação dos valores de vulnerabilidade à erosão, apresenta-se a seguir a vulnerabilidade para cada tema, conforme proposto por Crepani *et al.* (2001). As bases teóricas que subsidiaram os critérios de classificação da vulnerabilidade dos temas podem ser mais detalhadamente observadas na obra supracitada.

a) Geologia

Para a determinação da vulnerabilidade do tema Geologia, são consideradas propriedades relativas ao grau de coesão das rochas, bem como

informações relativas à história geológica da área. Nesse sentido, Crepani *et al.* (*op cit.*, p. 73) afirma:

O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese).

Seguindo esta premissa, Crepani *et al.* (*op. cit.*) relacionou em grupos as rochas mais comuns e seus respectivos valores de vulnerabilidade conforme apresentado no Quadro 2. Observa-se que as rochas de origem ígnea bem como as metamórficas apresentam menor vulnerabilidade do que as rochas sedimentares, que são menos coesas.

Penteado (1974, p.23) afirma serem as rochas mais coesas menos sensíveis aos processos areolares, prevalecendo o cavamento vertical. Nas rochas menos coesas, a esculturação das vertentes se torna mais rápida, com recuo das mesmas e com maior alargamento dos canais.

b) Geomorfologia

Na definição do índice de vulnerabilidade da geomorfologia, três variáveis relativas à morfometria são consideradas: o grau de dissecação do relevo (amplitude interfluvial), a amplitude altimétrica dos interflúvios e as classes de declividade do relevo.

As variáveis tomadas como referências para a análise do tema geomorfologia possibilitam uma visão das condições de evolução das vertentes tendo como base o processo de dissecação do relevo em função da ação fluvial.

Quadro 2 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou Ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita Xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

Os valores da vulnerabilidade para as variáveis morfométricas estão descritos nos Quadros 3 e 4, conforme preconizado por Crepani *et al.* (2001). Quanto maior a declividade e a amplitude altimétrica, maior será a vulnerabilidade à erosão, ao passo que a amplitude interfluvial, representada pela distância entre os canais fluviais, possui relação inversa, ou seja, quanto maior a amplitude interfluvial, menor a vulnerabilidade ao processo erosivo.

Quadro 3 – Classes de declividade com os respectivos valores de vulnerabilidade

CLASSES MORFOMÉTRICAS	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULNERABILIDADE
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 – 20	2,0
Alta	20 - 50	2,5
Muito Alta	> 50	3,0

Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

**Quadro 4 – Matriz dos índices de dissecação
do relevo e respectivos valores de vulnerabilidade**

		AMPLITUDE INTERFLUVIAL				
		MUITO GRANDE (1) >5000m	GRANDE (2) 2000 a 5000m	MÉDIA (3) 750 a 2000m	PEQUENA (4) 250 m a 750 m	MUITO PEQUENA (5) < 250m
AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	MUITO BAIXA (1) (< 20m)	1 1 1,0.....1,0	1 2 1,0.....1,5	1 3 1,0.....2,0	1 4 1,0.....2,5	1 5 1,0.....3,0
	BAIXA (2) (20 a 40m)	2 1 1,5.....1,0	2 2 1,5.....1,5	2 3 1,5.....2,0	2 4 1,5.....2,5	2 5 1,5.....3,0
	MÉDIA (3) (40 a 100m)	3 1 2,0.....1,0	3 2 2,0.....1,5	3 3 2,0.....2,0	3 4 2,0.....2,5	3 5 2,0.....3,0
	ALTA (4) (100 a 200m)	4 1 2,5.....1,0	4 2 2,5.....1,5	4 3 2,5.....2,0	4 4 2,5.....2,5	4 5 2,5.....3,0
	MUITO ALTA (5) (> 200m)	5 1 3,0.....1,0	5 2 3,0.....1,5	5 3 3,0.....2,0	5 4 3,0.....2,5	5 5 3,0.....3,0

Fonte: CREPANI *et al.* (2001) modificado de BRASIL (1981).

O cálculo da vulnerabilidade para a geomorfologia é obtido a partir da média aritmética das vulnerabilidades atribuídas aos índices morfométricos, conforme a fórmula proposta por Crepani *et al.* (2001 p.81) e descrita a seguir:

$$R = (G + A + D)/3 \quad [2]$$

Onde:

R – vulnerabilidade para o tema geomorfologia;

G – vulnerabilidade para o grau de dissecação;

A – vulnerabilidade para a amplitude altimétrica;

D – vulnerabilidade para a declividade.

c) Solos

Na definição da vulnerabilidade dos solos à erosão, Crepani *et al.* (2001, p. 83) adotaram como critério de classificação o grau de maturidade do solo (Quadro 5). Nesse sentido, aos solos mais desenvolvidos ou maduros são atribuídos valores menores de vulnerabilidade, ao passo que solos mais jovens são classificados como mais vulneráveis.

Em virtude de as informações se darem em nível de associações de solos, foi aplicada a média ponderada para cada associação conforme indicado em Crepani *et al.* (2001 p. 88), segundo o qual deve-se ponderar as classes de solos presentes na associação na proporção de 60%, 30% e 10%, respectivamente para o primeiro, o segundo e o terceiro componentes.

Quadro 5 – Classes de solos com respectivos valores de vulnerabilidade

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo et al., 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMPRAPA, 1999)	VULNERABILIDADE
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelho-Escuros Latossolos Roxos Latossolos Brunos Latossolos Húmicos Latossolos Húmicos Brunos	Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Latossolos Vermelhos Latossolos Brunos Latossolos (...) Húmicos Latossolos Bruno (...) Húmicos	1,0
Podzólicos Amarelos Podzólicos Vermelho-Amarelos Podzólicos Vermelho-Escuros Terras Roxas Estruturadas Brunos Não-Cálcicos Brunizéns Brunizéns Avermelhados Rendzinas Planossolos Solos Hidromórficos (abrupticos) Podzóis	Argissolos Argissolos, Luvisolos, Alissolos, Nitossolos Argissolos, Luvisolos, Alissolos, Nitossolos Argissolos, Nitossolos Luvisolos Chernossolos Chernossolos Chernossolos Planossolos Planossolos Espodossolos	2,0
Cambissolos	Cambissolos	2,5
Solos Litólicos Solos Aluviais Regossolos Areias Quartzosas Vertissolos Solos Orgânicos Solos Hidromórficos (não abrupticos) Glei Húmico Glei Pouco Húmico Plintossolo Laterita Hidromórfica Solos Concrecionários Lateríticos Afloramento Rochoso	Neossolos Litólicos Neossolos Flúvicos Neossolos Regolíticos Neossolos Quartzarênicos Vertissolos Organossolos Gleissolos Gleissolos, Plintossolos Gleissolos, Plintossolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Afloramento Rochoso	3,0

Fonte: CREPANI et al., 2001.

d) Clima

O fator climático, representado pelo potencial da chuva em provocar erosão (erosividade), é definido pela intensidade da precipitação. Essa intensidade pode ser obtida pela média da pluviometria anual dividida pela duração do período chuvoso em meses (CREPANI *et al.*, 2001, p. 95). Os valores propostos de vulnerabilidade decorrentes da intensidade pluviométrica estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Intensidade pluviométrica e respectivos valores de vulnerabilidade à perda de solo

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

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001.

e) Vegetação

A componente vegetação, entendida aqui como uso e cobertura vegetal, tem na proposição de Crepani *et al.* (2001) o mesmo peso matemático que os demais temas analisados. O parâmetro utilizado pelos autores supracitados corresponde à densidade de cobertura vegetal. Este parâmetro constitui um fator de proteção da unidade de paisagem contra os processos morfogenéticos representados pela erosão.

Desse modo, Crepani *et al.* (op. cit.) propõe uma escala de vulnerabilidade para o tema vegetação onde às coberturas mais densas é atribuída menor vulnerabilidade (valores próximos de 1,0), em virtude da maior proteção que a vegetação oferece ao solo. Nas áreas de média densidade de cobertura vegetal, os valores de vulnerabilidade ficam próximos a 2,0. As áreas de baixa densidade de cobertura vegetal apresentam valores de vulnerabilidade próximos a 3,0 (Quadro 7).

Para as áreas que apresentam cobertura vegetal representadas por formas de uso, Crepani *et al.* (op. cit.) definem os seguintes valores de vulnerabilidade: Pastagem (2,8); cultura perene (2,9) e cultura anual ou cíclica (3,0).

Quadro 7 - Cobertura vegetal da sub-bacia do Figueiredo segundo BRASIL (1981) e os respectivos valores de vulnerabilidade

LEGENDA		VULNERABILIDADE
ATUAL	ANTERIOR	
EN3	Ecótono – Contato Estepe/Floresta Estacional	1,7/1,6
	Estepe Arbórea Densa com Palmeiras(Edp)	1,7
	Estepe Arbórea Densa sem Palmeiras(Eds)	1,7
Eas	Estepe (Caatinga) Arbórea Aberta sem Palmeiras(Eas)	2,1
Acc	Agricultura (Cultura cíclica)	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI *et al.*, 2001.

4.5 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL POTENCIAL E EFETIVA À EROÇÃO E SUAS VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS

A etapa de construção do banco de dados e de processamento para geração das informações sobre a vulnerabilidade à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo teve como principal referência a proposta de Barbosa (1997).

A utilização de linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) permite o cruzamento dos dados de vulnerabilidade/ estabilidade referentes a cada tema, tornando mais ágil o processo de análise e síntese das informações.

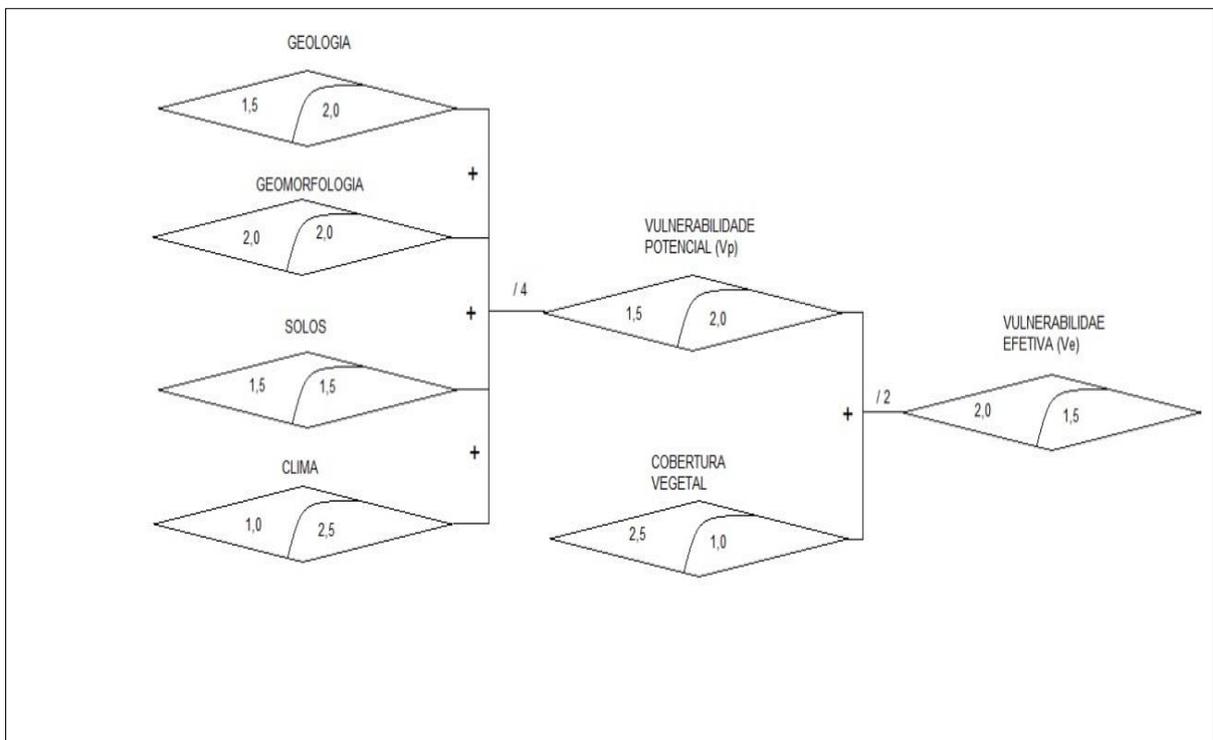
Os procedimentos de espacialização dos valores de vulnerabilidade natural à erosão foram realizados no *software* de geoprocessamento SPRING/INPE. Cada unidade morfopedológica teve seus valores de vulnerabilidade considerados em função das características de cada tema (Geologia, Geomorfologia, Clima, Solo e Vegetação) que a compõe.

A vulnerabilidade potencial à perda de solo (Vp) foi obtida pela média aritmética entre os temas geologia, geomorfologia clima e solo. A média aritmética entre a vulnerabilidade potencial (Vp) e de cobertura vegetal (Vg) forneceu a vulnerabilidade efetiva (Ve). (Figura 6).

Como forma de representação cartográfica da vulnerabilidade das unidades morfopedológicas, foi utilizada uma gradação de cores conforme proposição de Crepani *et al.* (2001).

Desta feita, os valores de vulnerabilidade mais altos correspondem aos tons vermelhos. À medida que a vulnerabilidade se reduz, ocorre uma gradação do vermelho para o verde, que representa valores intermediários de vulnerabilidade, e daí para o azul, representando esta cor valores menores de vulnerabilidade.

Figura 6 – Modelo esquemático do cálculo da vulnerabilidade potencial e efetiva à erosão das unidades morfopedológicas



Fonte: Adaptado de Souza (1999).

A escala de cores e os correspondentes índices de vulnerabilidade estão expressos no Quadro 8. As informações e parâmetros nele apresentados seguem a proposição elaborada por Crepani *et al.* (2001).

Os mapas de vulnerabilidade efetiva (Ve) obtidos para cada período analisado (1989, 2000, 2011) deram origem ao mapa da vulnerabilidade média à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.

Quadro 8 – Escala de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE		GRAU DE SATURAÇÃO			
			CLASSE	SUBCLASSE	VERME LHO	VERDE	AZUL	COR
U1	VULNERABILIDADE	3,0	VULNERÁVEL	Vulnerável	255	0	0	Red
U2		2,9		Vulnerável 3	255	51	0	Red-Orange
U3		2,8		Vulnerável 2	255	102	0	Orange
U4		2,7		Vulnerável 1	255	153	0	Light Orange
U5		2,6	MODERAD. VULNERÁVEL	Moderadamente vulnerável	255	204	0	Yellow-Orange
U6		2,5		Moderadamente vulnerável 3	255	255	0	Yellow
U7		2,4		Moderadamente vulnerável 2	204	255	0	Light Yellow
U8		2,3		Moderadamente vulnerável 1	153	255	0	Light Green
U9		2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL / VULNERÁVEL	Medianamente vulnerável	102	255	0	Green
U10		2,1		Medianamente vulnerável/estável	51	255	0	Light Green
U11		2,0		Medianamente estável e/ou vulnerável	0	255	0	Light Green
U12		1,9		Medianamente estável/vulnerável	0	255	51	Light Green
U13		1,8		Medianamente estável	0	255	102	Light Green
U14		1,7	MODERAD. ESTÁVEL	Moderadamente estável 3	0	255	153	Light Green
U15		1,6		Moderadamente estável 2	0	255	204	Light Green
U16		1,5		Moderadamente estável 1	0	255	255	Light Green
U17		1,4		Moderadamente estável	0	204	255	Light Green
U18		1,3	ESTÁVEL	Estável 3	0	153	255	Light Green
U19		1,2		Estável 2	0	102	255	Light Green
U20		1,1		Estável 1	0	51	255	Light Green
U21		1,0		Estável	0	0	255	Light Green

Fonte: modificado de CREPANI *et al.* 2001.

Outro parâmetro para os resultados representados pelos mapas de vulnerabilidade potencial (V_p), vulnerabilidade efetiva (V_e) e vulnerabilidade média à erosão deram suporte ao entendimento da dinâmica do ambiente e da degradação dos solos decorrentes das intervenções humanas.

O nível de detalhe do mapeamento da pesquisa se deu na escala de 1:250.000. Tal escolha foi definida em função de elementos técnicos que tiveram

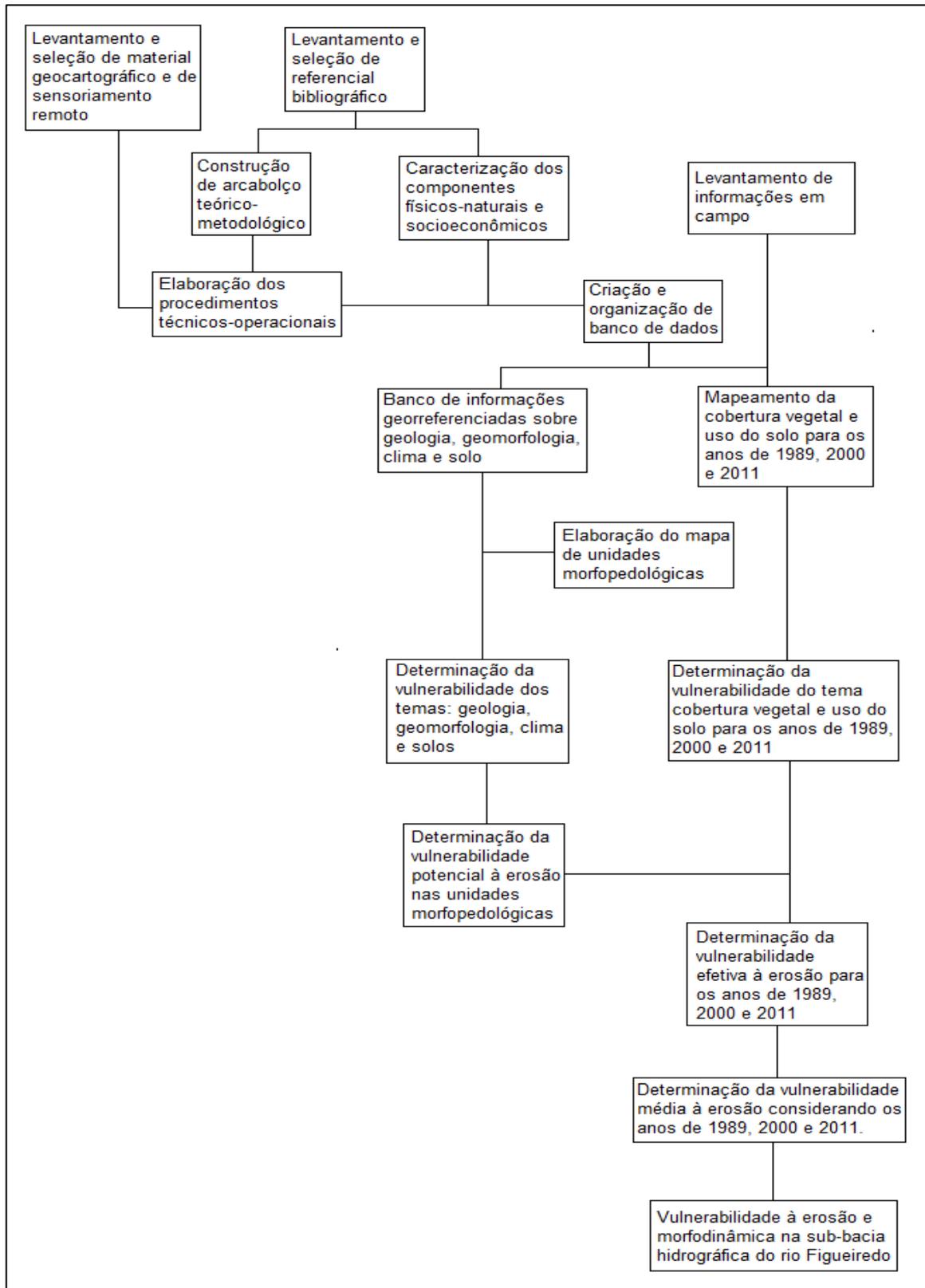
como referência a disponibilidade do material geocartográfico utilizado, notadamente o mapeamento realizado pelo Projeto RADAMBRASIL. Este, apesar da representação cartográfica final na escala de 1:1.000.000, teve como referência no processo de interpretação das informações os mosaicos semicontrolados de radar na escala de 1:250.000.

A determinação da escala está na explicação de Medeiros (1999), ao considerar o estudo da vulnerabilidade à erosão a primeira etapa de construção do ZEE, correspondendo a levantamentos de menor detalhe espacial.

A escala de representação cartográfica adotada neste trabalho foi de 1:350.000. Teve-se como critério para esta escolha a unidade mínima de mapeamento, bem como a possibilidade de representação em folhas de tamanho A3.

O conjunto dos procedimentos aplicados nesta pesquisa encontra-se esquematizado em um fluxograma (Figura 7), onde é possível se obter uma percepção geral e sintética do encadeamento lógico de execução.

Figura 7 – Fluxograma de procedimentos metodológicos para o estudo da vulnerabilidade à erosão e morfodinâmica na sub-bacia do rio Figueiredo, Ce



Fonte: elaborado pelo autor.

5 CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO

5.1 COMPONENTES DOS SISTEMAS AMBIENTAIS DA SUB-BACIA DO RIO FIGUEIREDO

5.1.1 Derivações Naturais

Os elementos naturais que compõem a área objeto deste estudo foram aqui tratados em suas características básicas a partir de informações disponíveis em fontes documentais e bibliográficas indicadas.

As informações foram inicialmente apresentadas de forma setorizada, em função da necessidade de referências que possam balizar a determinação da vulnerabilidade para cada tema.

Ao final da caracterização da bacia, procedeu-se à síntese dos componentes e de suas interrelações quando foram definidas as Unidades Morfopedológicas. Estas Unidades serviram de suporte à classificação de vulnerabilidade à erosão.

5.1.1.1 Cronolitoestratigrafia

A estrutura geológica da sub-bacia do rio Figueiredo apresenta uma considerável variedade de litologias, destacando-se os migmatitos e granitos.

De acordo com BRASIL (1981), tais litologias organizam-se conforme a origem e o processo de estruturação nas seguintes unidades geológicas: Complexo Nordestino (P_{En}); Grupo Ceará (P_{Ce}); Suíte Magmática (Y₁); formação Apodi (Kaa); Depósitos Aluviais ou simplesmente Aluvião (Qa).

O Complexo Nordestino, também denominado Complexo Fundamental (CRANDALL 1923, apud BRASIL, 1981, p. 63) ou ainda Pré-Cambriano Indiviso (Dantas, 1974, apud BRASIL, op. cit.) dentre outras denominações, compõe estratigraficamente o substrato das sequências supracrustais, apresentando envolvimento com os eventos do Pré-Cambriano Superior, tendo o evento

Transamazônico maior atuação, conforme demonstrado nos paleossomas analisados. (BRASIL, op. cit., p. 64).

Dentre as litologias presentes no Complexo Nordestino, predominam, conforme BRASIL (op. cit., p. 64), os migmatitos, gnaisses, gnaisses migmatizados e granitoides, anfíbolitos, quartzitos, metarcóseos, calcários cristalinos, xistos, itabiritos, calcossilicatados e rochas cataclásticas.

O Complexo Nordestino na sub-bacia do Rio Figueiredo corresponde às porções mais arrasadas do relevo local, com altitudes inferiores a 400m, constituindo as superfícies pediplanadas como pode ser observado no mapeamento realizado por BRASIL (1981).

O Grupo Ceará é constituído por uma sequência parametamórfica de quartzitos, xistos, filitos, rochas carbonatadas e gnaisses. Apresenta grau metamórfico variando da fácies xisto verde a anfíbolito. Ocorre, na área estudada, em faixas alongadas e descontínuas, a exemplo do que acontece em nível regional (BRASIL, 1981, p. 98).

Estratigraficamente, esta unidade se posiciona acima do Complexo Nordestino, sendo tal posicionamento justificado por suas características litológicas, petrográficas e estruturais, bem como pelos valores geocronológicos obtidos. Desta forma, enquadra-se o Grupo Ceará no Pré-Cambriano Superior, conforme definido por BRASIL (op. cit., p. 98).

Estando presente na porção oeste da bacia hidrográfica em questão, o Grupo Ceará caracteriza-se, conforme BRASIL (op. cit., p. 99), por um conjunto parametamórfico, com litologias representadas por filitos, xistos, quartzitos e gnaisses. Apresenta ainda intercalações carbonáticas de calcário cristalino e magnesita com talco.

Posicionada espacialmente entre o Complexo Nordestino e o Grupo Ceará, ocorre a Suíte Magmática associada à Serra do Pereiro e dos Bastiões. Apresenta dimensões que a caracterizam como um grande batólito. De acordo com BRASIL (op. cit., p. 109), sua composição litológica básica é representada por microclínio, plagioclásio e quartzo. A biotita e a hornblenda surgem como variedades.

Constituindo depósitos de pequena extensão espacial, relacionados aos morros testemunhos já bastante arrasados pelos processos erosivos, ocorrem rochas da Formação Açú. Datado do Cretáceo Médio e pertencente ao Grupo Apodi,

este pacote rochoso foi subdividido por FALKENHEIM (1977) apud BRASIL (1981, p. 145) em três membros: Upanema, Galinhos e Aracati.

O Membro Upanema, também chamado de Membro Inferior (MAYER, 1974, apud. BRASIL, op. cit.), caracteriza-se, na parte aflorante, por arenitos brancos, cinza-esbranquiçados e avermelhados, de granulação média a conglomerática, possuindo estratificações cruzadas e subparalelas, com algumas intercalações de folhelhos cinza esverdeado escuros e folhelhos sílticos. Sua espessura varia entre 150 e 250m.

O Membro Galinhos, também chamado por MAYER (1974) apud BRASIL (op. cit.) de Membro Médio, apresenta sequência sedimentar composta de folhelhos, arenitos muito finos a médios, localmente conglomeráticos, intercalando-se com siltitos e calcários. Apresenta espessura variando de 100 a 255m.

Também chamado de Membro Superior por MAYER (op. cit.), o Membro Aracati possui sequência representada principalmente por folhelhos intercalados com calcários. Pode ocorrer siltitos, arenitos e arenitos calcíferos, intercalados na parte média. Os folhelhos possuem tonalidades de cinza a cinza escuro, esverdeados e avermelhados. São calcíferos, com gradação para siltitos. Os calcários são, em sua maioria, cinza-claro, creme, até acastanhados, constituindo-se detríticos impuros e em parte dolomitizados. Quanto aos arenitos, estes possuem coloração clara, grãos finos a médios, mal selecionados, maciços e impuros.

Este membro passa de forma gradativa para a Formação Jandaíra e sua espessura pode atingir 396m conforme seção apresentada por FALKENHEIM (op. cit.) apud BRASIL (1981 p. 145).

Ocupando os setores bordejantes das calhas fluviais, notadamente nos seus baixos cursos, os sedimentos quaternários de origem fluvial apresentam as aluviões formadas por areias granulometricamente classificadas de finas a grosseiras. Têm cores variadas, e incluem cascalhos com tamanho até matacão, bem como argilas com matéria orgânica em decomposição.

Conforme BRASIL (op. cit., p. 160), a ausência de fósseis impossibilita um posicionamento cronológico preciso. Entretanto, admite-se a idade holocênica para estes sedimentos, visto que estão intimamente relacionados ao desenvolvimento da morfologia atual, sobrepondo-se extensivamente aos sedimentos do Grupo Barreiras e, no litoral, a Dunas.

O Mapa 1 apresenta a distribuição espacial das principais unidades geológicas da sub-bacia do rio Figueiredo, tendo como referência as informações contidas em BRASIL (1981) e que foram requalificadas através de vetorização automática, conforme descrito no item referente à elaboração das bases temáticas.

5.1.1.2 Aspectos da geomorfologia local

Os aspectos geomorfológicos aqui apresentados dizem respeito às condições de compartimentação do relevo definidas por BRASIL (1981) e que têm como função precípua dar subsídios à delimitação das unidades morfopedológicas a serem apresentadas em item próprio.

- Depressão Sertaneja

O projeto RADAMBRASIL, no volume 23, classifica as Depressões Sertanejas em função da localização e de diferenças notadas quanto à intensidade de aprofundamento da drenagem ou quanto à ordem de grandeza das formas de dissecação, bem como quanto à extensão territorial que a unidade abrange. Nesse sentido, o referido trabalho subdividiu as Depressões Sertanejas em: Depressão Pré-Litorânea e as Chãs Pernambucanas; Depressões Interplanálticas Centrais e Depressões Periféricas da Ibiapaba – Araripe.

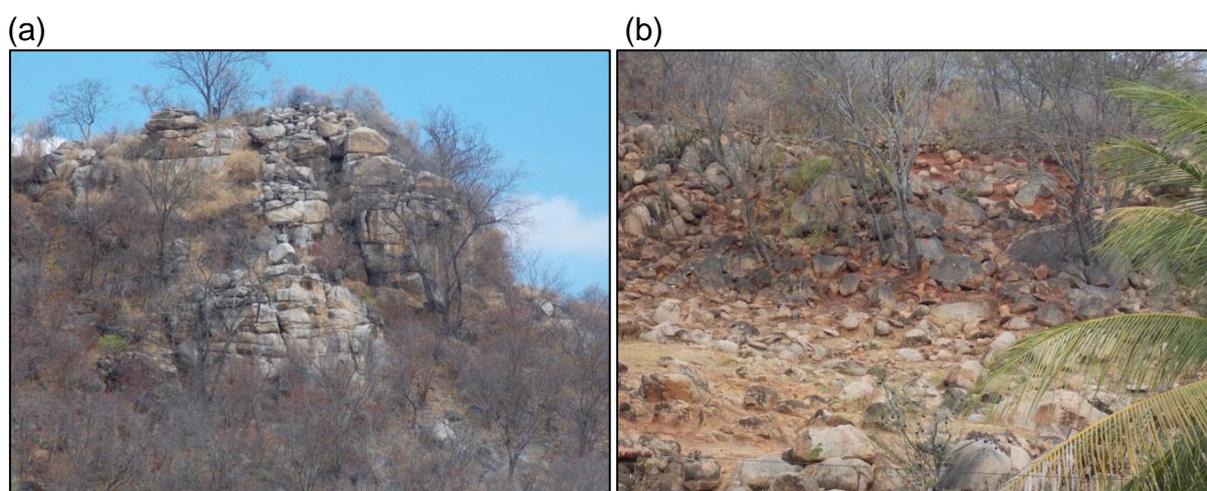
A sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo está inserida na Depressão Interplanáltica Central. Esta unidade, conforme BRASIL (1981 p. 318), dispõe-se de forma semicircular em torno do Planalto da Borborema e do Planalto Sertanejo, apresentando declives em direção aos fundos de vales e ao litoral.

As principais características desse setor são, de acordo com BRASIL (1981, p. 319), representadas por uma pronunciada diversificação litológica associada à ocorrência de rochas cristalinas e sedimentares de diferentes origens e idades. Predominam os processos de intemperismo físico e a remoção dos detritos se dá pela ação de escoamento difuso e concentrado. Apresenta truncamento indistinto de litologias e estruturas, provocado pela erosão, o que contribui para o desenvolvimento de superfícies pediplanadas.

O manto de alteração das rochas apresenta pequena espessura condicionada pela semiaridez característica. Desta feita, há franco predomínio dos processos mecânicos de desagregação das rochas (Figura 8). A semiaridez não favorece uma pedogênese mais intensa e conseqüentemente inviabiliza maior amadurecimento dos solos.

A pequena capacidade de incisão linear é decorrente das características do escoamento fluvial que se mostra sem maior competência para o entalhamento e dissecação da superfície, visto o baixo fluxo hídrico e a irregularidade sazonal que o caracteriza.

Figura 8: Desagregação mecânica (a) com formação de rampas de colúvio (b) – Município de Iracema (9363907 N / 0573311 E)



Fonte: O Autor.

Os *inselbergs* e cristas surgem na Depressão Inerplanáltica de maneira dispersa, originando uma ruptura na monotonia da paisagem. Formado por rochas mais resistentes ao intemperismo mecânico, a exemplo dos quartzitos e gnaisses, os *inselbergs* resultam da ação de processos de erosão diferencial.

Nos baixos cursos dos rios, onde o gradiente longitudinal se reduz fortemente, há uma tendência à formação de pequenas planícies fluviais (Figura 9). Os solos desses setores apresentam boa fertilidade e as condições de relevo são propícias ao uso agrícola. Todavia, há forte risco de salinização do solo, além de erosão em função da destruição da mata ciliar.

- Planaltos Residuais

Esta unidade geomorfológica se apresenta, conforme BRASIL (op. cit., p. 325) como um “conjunto de relevos montanhosos compartimentados em blocos isolados, separados entre si pelas Depressões Sertanejas”.

Como subdivisão desta unidade, é observada a ocorrência dos Maciços Centrais, que são constituídos por rochas do embasamento Pré-Cambriano. Sua complexidade litológica possibilitou a ação de expressivo processo de erosão diferencial.

Figura 9: Aspecto da planície fluvial do rio Figueiredo apresentando recobrimento de mata ciliar – Município de Alto Santo (9400960 N / 0579074 E)



Fonte: O Autor.

O Maciço formado pelas serras com as denominações locais de Serra do Aimoré, Serra dos Bastiões, Serra de São Vicente, Serra do Pingo, Serra do Maia e Serra de São José apresenta a maior extensão territorial e está localizado na margem direita do rio Jaguaribe, no seu médio curso. Na porção central do maciço, as rochas graníticas oferecem maior resistência à dissecação, preservando o relevo de topo plano. Nos setores com ocorrência de gnaisses, predomina uma intensa dissecação refletindo relevos aguçados ou convexos.

A presença de extensa escarpa adaptada à falha limita este maciço. Nas Serras dos Bastiões e do Aimoré há a ocorrência de grandes alinhamentos de cristas assimétricas tipo *hog-back* (Figura 10).

A partir de observações em campo, BRASIL (1981 p. 326) afirma serem as Escarpas Ocidental e Oriental marcadas por semiaridez acentuada, minimizando-se as diferenças com a morfogênese típica da Depressão Sertaneja. Desse modo,

nessas vertentes os solos são pouco profundos, ocorrendo matacões com frequência. As caatingas recobrem estes setores, sendo substituídas pela mata seca à medida que se atinge o topo em razão da amenização das médias térmicas. Neste caso, os solos desse setor mais elevado também refletem as mudanças das condições climáticas (temperatura e umidade), apresentando-se medianamente profundos, embora ainda com presença de matacões.

Figura 10: Alinhamentos de cristas assimétricas (ao fundo) tipo *hog-back* na porção oeste da sub-bacia do rio Figueiredo – Município de Iracema (9388646 N / 0580587 E)



Fonte: O Autor.

As características acima relatadas são também descritas por Souza (2000, p. 30), quando afirma que os setores de barlavento ou Vertentes Orientais apresentam alterações superficiais mais espessas, predominando solos como os Argissolos recobertos por Caatingas arbóreas ou matas secas. Essa melhor condição edáfica pode ser explicada pelo aumento dos índices de precipitação e umidade que condicionam aumento da decomposição das rochas.

- Chapada do Apodi

Fazendo-se presente na porção nordeste da sub-bacia do Figueiredo, a Chapada do Apodi se insere na unidade maior denominada Chapadas do Litoral

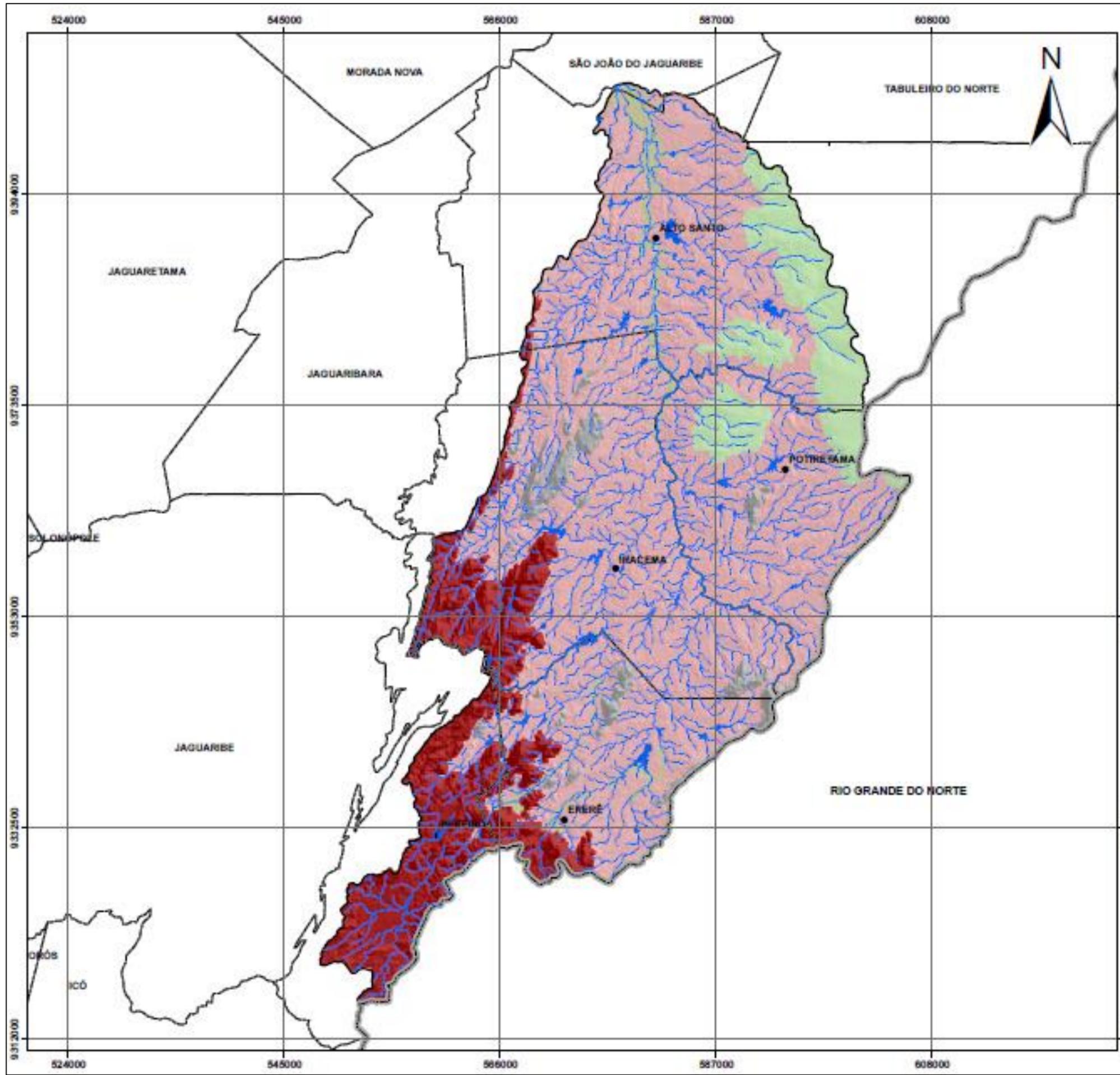
Norte, que contemplam os terrenos formados pelos depósitos da Bacia Potiguar (BRASIL, *op. cit.*).

A porção da Chapada do Apodi inserida na sub-bacia do rio Figueiredo corresponde ao patamar dissecado em interflúvios tabulares posicionados ao pé da cornija. Contemplando a porção exumada da Formação Açú, a unidade apresenta vales fluviais com pequeno aprofundamento e baixa densidade de canais em função das condições hidroclimáticas regionais e, sobretudo, da litologia local (arenitos, folhelhos e calcários). Os limites ocidentais desta unidade ocorrem no contato com rochas do embasamento cristalino pertencentes ao Complexo Nordestino na Depressão Sertaneja.

Ocorrem ainda, de forma isolada, duas pequenas manchas referentes a testemunhos dos depósitos da Formação Açú. Estão posicionadas a oeste do patamar dissecado, em níveis altimétricos semelhantes aos terrenos da Depressão Sertaneja.

As unidades geomorfológicas aqui descritas são apresentadas no mapa geomorfológico da sub-bacia do Figueiredo (Mapa 2), elaborado com base nas informações presentes no mapa geomorfológico do projeto RADAMBRASIL folha SB-24/25 Jaguaribe/Natal.

As características morfométricas (dissecação e declividade) das unidades geomorfológicas estão apresentadas nos mapas 3 e 4 respectivamente. Tais características condicionam diferentes graus de vulnerabilidade à erosão, em função dos arranjos das variáveis consideradas.



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGPq
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGEO

MAPA 2 - GEOMORFOLOGIA: UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.

TÍTULO:
 VULNERABILIDADE A EROÇÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos



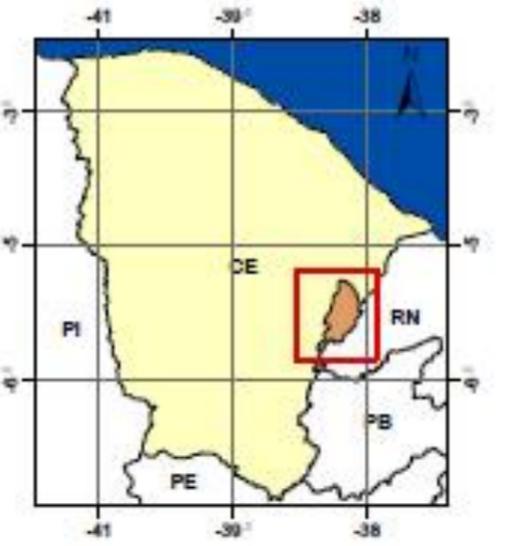
ESCALA: 1:350.000
 Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

ELEMENTOS HIDROGRÁFICOS	LIMITES
Drenagem	Sedes Municipais
Açude	Limite Estadual
	Limites Municipais
	Área de Estudo

LEGENDA

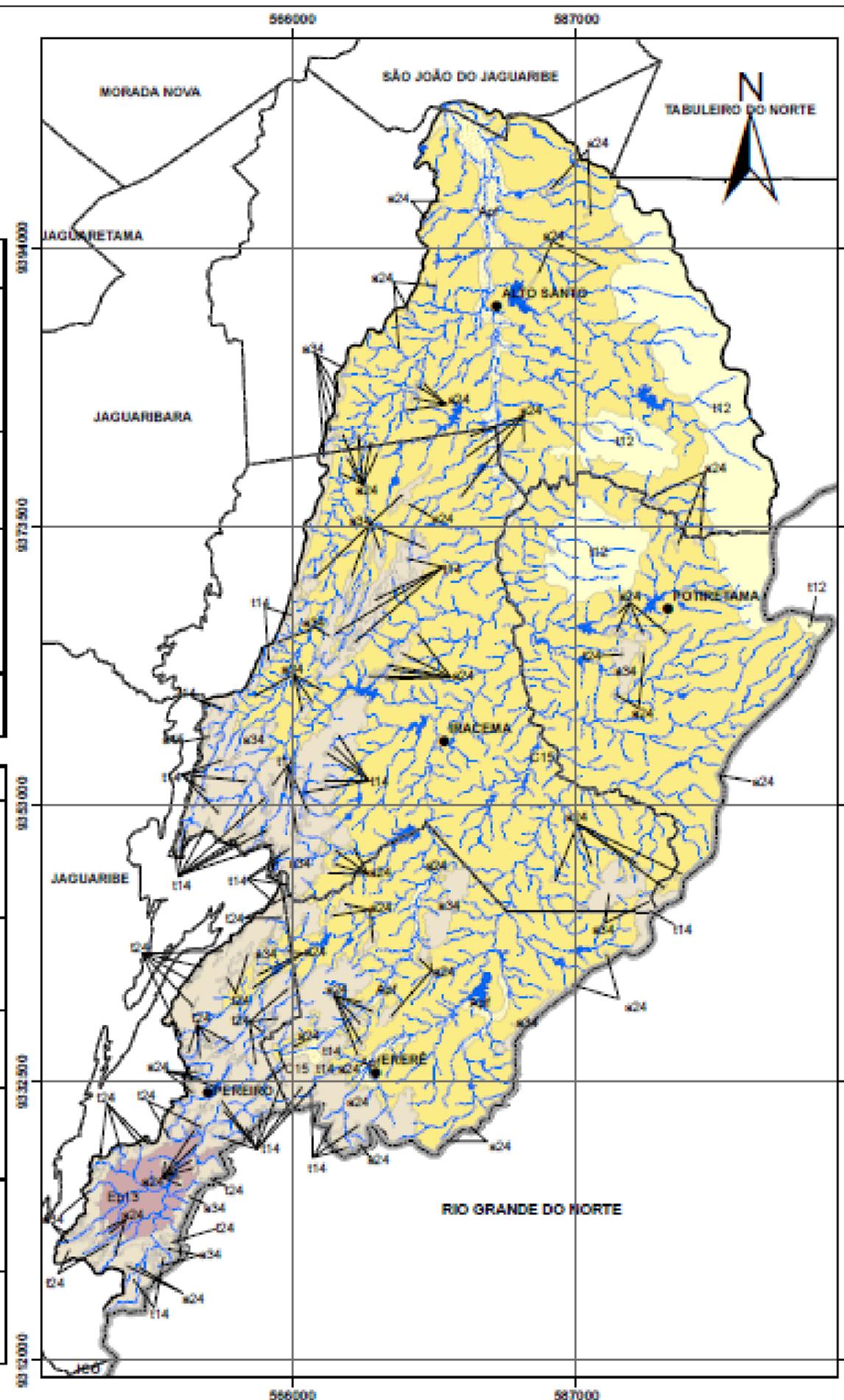
- Depressão Sertaneja
- Inselbergs e Cristas Residuais
- Planaltos Residuais
- Planície Fluvial
- Chapada do Apodi/ Patamar Dissecado



FONTE: RADAM BRASIL
 ELABORAÇÃO: O AUTOR

Formas erosivas	Ep	Ep13	Superfície plana elaborada por processos de pediplanação.
Formas de dissecação	a	a24	Formas aguçadas. Relevos de topo contínuo e aguçado, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales em "V".
		a34	
		a45	
	c	C15	Formas convexas. Relevo de topo convexo com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados por vales em "V" e eventualmente por vales de fundo plano.
		t12	
	t	t14	Formas tabulares. Relevos de topo plano, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales de fundo plano.
		t24	
Apf		Planície fluvial. Área plana resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas.	

		AMPLITUDE INTERFLUVIAL				
		MUITO GRANDE	GRANDE	MÉDIA	PEQUENA	MUITO PEQUENA
		>5000m	2000 a 5000m	750 a 2000m	250 a 750 m	<250m
AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	MUITO BAIXA (1) (< 20m)	11 1,0.....1,0	12 1,0.....1,5	13 1,0.....2,0	14 1,0.....2,5	15 1,0.....3,0
	BAIXA (2) (20 a 40m)	21 1,5.....1,0	22 1,5.....1,5	23 1,5.....2,0	24 1,5.....2,5	25 1,5.....3,0
	MÉDIA (3) (40 a 100m)	31 2,0.....1,0	32 2,0.....1,5	33 2,0.....2,0	34 2,0.....2,5	35 2,0.....3,0
	ALTA (4) (100 a 200m)	41 2,5.....1,0	42 2,5.....1,5	43 2,5.....2,0	44 2,5.....2,5	45 2,5.....3,0
	MUITO ALTA (5) (> 200m)	51 3,0.....1,0	52 3,0.....1,5	53 3,0.....2,0	54 3,0.....2,5	55 3,0.....3,0



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGR/Pq
 Centro de Ciência e Tecnologia - OCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGEO

Mapa 3 - Geomorfologia: Dissecação

TÍTULO:
 VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

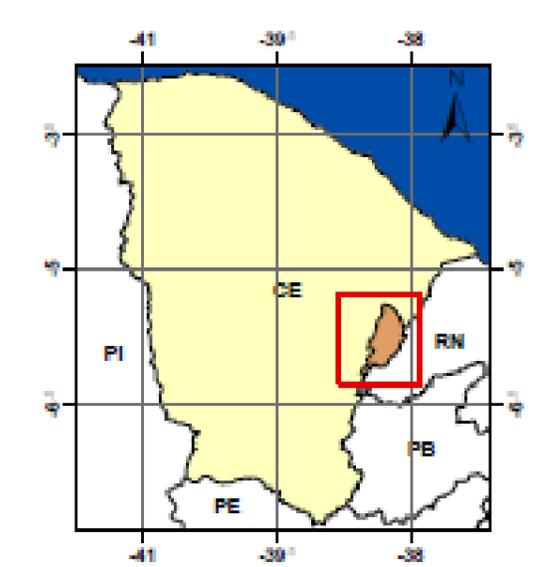
ESCALA: 1:350.000



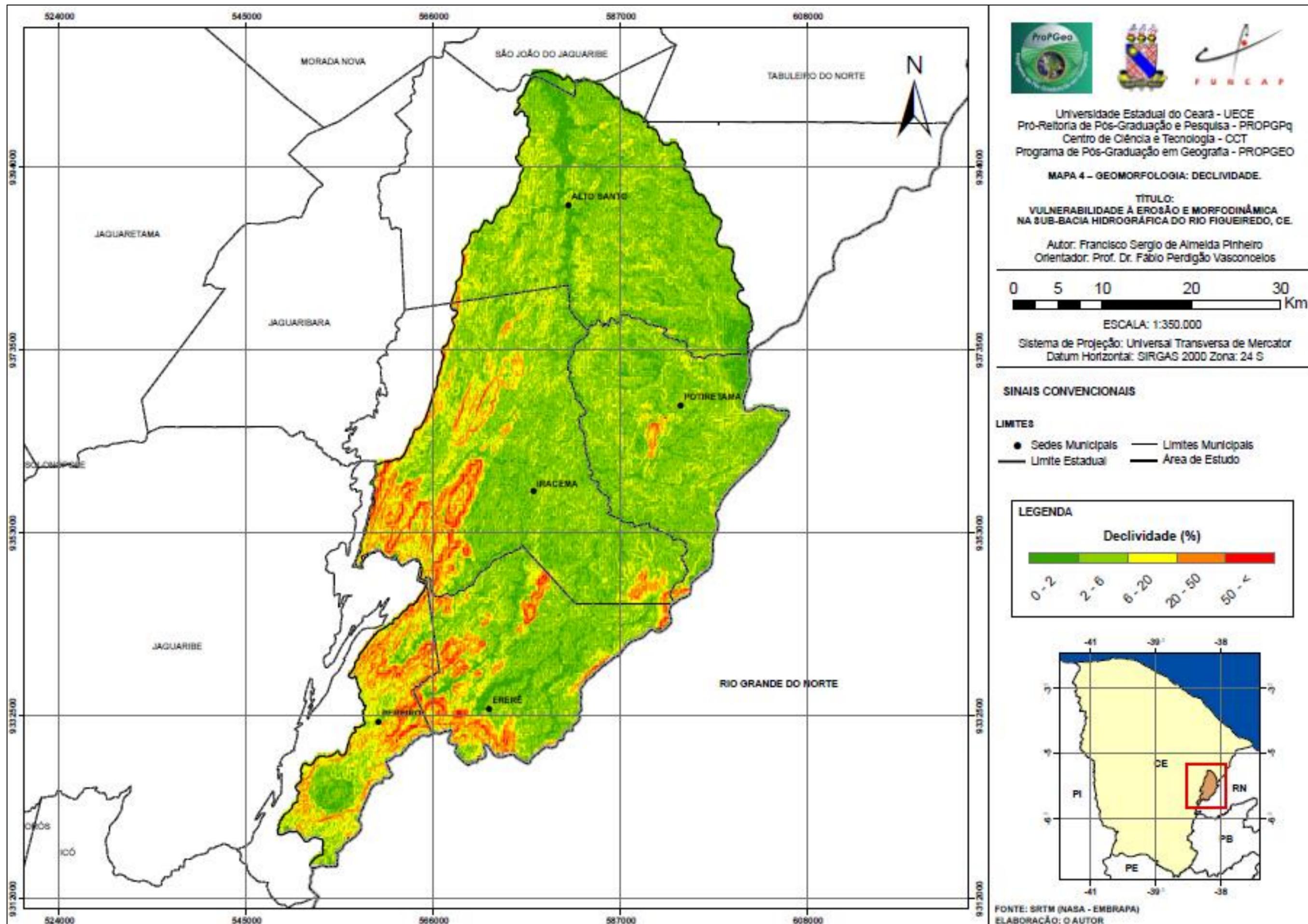
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

- | | |
|--------------------------------|--------------------|
| ELEMENTOS HIDROGRÁFICOS | LIMITES |
| Açude | Sedes Municipais |
| Drenagem | Limite Estadual |
| | Limites Municipais |
| | Área de Estudo |



FONTE: RADAM BRASIL
 ELABORAÇÃO: O AUTOR



5.1.1.3 Associações de Solos

O mosaico pedológico presente na sub-bacia hidrográfica do Figueiredo é aqui apresentado com base no mapeamento realizado por CEARÁ (1988). Neste contexto, os solos estão organizados em associações, onde o primeiro componente representa o solo com maior expressão espacial, dando nome à associação.

As características gerais de cada tipo de solo aqui apresentadas, notadamente nos aspectos da profundidade e textura, são fundantes no processo de determinação do índice de vulnerabilidade do atributo pedológico. Essas características foram definidas com base em BRASIL (1973) e BRASIL (1981).

Para efeito didático, foram utilizadas aqui as denominações das classes de solos verificadas em BRASIL (1973) e BRASIL (1981), seguidas das denominações correspondentes na classificação da EMBRAPA (1999).

- Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico (LVe) – Latossolos

Solos profundos a muito profundos, apresentando alta saturação de base (V%). Em geral o horizonte A se apresenta fraco, podendo também ser moderado e mais raramente proeminente. A textura do horizonte B é predominantemente média, podendo ocorrer também a argilosa. Desenvolve-se em relevo plano e suave ondulado.

Como fatores de maior limitação ao uso, têm-se uma baixa fertilidade natural e tendência à acidez. Entretanto, as condições físicas, profundidade, porosidade e relevo viabilizam a mecanização.

- Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (PE) – Argissolos

Caracterizam-se como solos minerais, não hidromórficos, apresentando horizonte B textural. São solos geralmente profundos, podendo eventualmente se apresentar rasos. Possui sequência de horizontes A, Bt, C bem diferenciados no perfil. No horizonte Bt ocorre frequentemente a presença de argilas de alta expansividade (grupo 2:1).

Quanto à textura, no horizonte A pode variar entre arenosa, média e argilosa, enquanto o horizonte Bt apresenta variações entre média e argilosa.

Conforme BRASIL (1981, p. 372) estes solos têm, em geral, boas características físicas e químicas, estando suas restrições de uso em função de critérios como a ocorrência de fases pedregosa e/ou rochosa, topografia do terreno e condições climáticas regionais.

- Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico (PVd) – Argissolos

Assemelham-se aos Podzólicos Vermelho-Amarelo Eutróficos, apresentando diferença quanto à percentagem de saturação de bases (V%) que nestes é inferior a 50%, sendo, por conseguinte, caracterizados por baixa fertilidade natural. Em geral, são ácidos e a presença de argila do grupo 1:1 e sesquióxidos dá o caráter de argila de atividade baixa (Tb).

Texturalmente são arenosos e médios no seu horizonte A. No horizonte Bt observaram-se classes texturais média e argilosa. Ocorre, a exemplo do Argissolo Eutrófico, em relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado e montanhoso.

As restrições mais comuns ao uso estão associadas às condições climáticas regionais, necessidade de adubação e correção da acidez, e presença de pedregosidade.

- Bruno Não Cálcico (NC) – Luvissolos

Conforme descrito por BRASIL (1981), esta classe constitui solos minerais, não hidromórficos, com presença de horizonte B textural (Bt). Constata-se a elevada presença de minerais primários facilmente decomponíveis, constituindo-se em fonte de nutrientes para as plantas. Apresentam argila de atividade alta (Ta) e altos valores para saturação (V%) e soma de bases (S). Por isso são solos de alta fertilidade natural.

Quanto à profundidade, estes solos são, em geral, medianamente profundos a rasos, possuindo descontinuidade litológica entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. A sequência dos horizontes é A, Bt e C, sendo abrupta a transição de A para Bt.

O horizonte A possui, de um modo geral, textura média e em casos mais isolados, textura arenosa. O horizonte B apresenta frequentemente textura argilosa. É comum a presença de pedregosidade (calhaus e matacões) nestes solos, caracterizando pavimento desértico. Em virtude de suas características, são solos com alta susceptibilidade à erosão. As restrições ao seu uso estão em função da presença de pedregosidade e condicionantes climáticos.

- Litólicos Eutróficos (Re) – Neossolos Litólicos

Caracterizam-se por serem solos minerais pouco desenvolvidos, apresentando-se rasos a muito rasos, com sequência de horizontes A, C, R ou A, R. Pode eventualmente ocorrer formação de horizonte B incipiente. O caráter eutrófico indica saturação de bases (V%) acima de 50%. Possuem geralmente reação moderadamente ácida a neutra.

A pouca espessura os tornam bastantes susceptíveis à erosão. A drenagem oscila entre moderada a acentuada, e apresentam frequentemente pedregosidade e rochosidade.

A textura pode variar entre argilosa, siltosa, média e arenosa. Espacialmente estão dispersos em diferentes classes de relevo, desde o plano ao escarpado (BRASIL, 1981, p. 412).

O uso dessa classe de solos sofre restrições em função da disponibilidade hídrica, profundidade do solo, presença de pedregosidade, rochosidade e relevo, quando este se mostra impróprio.

- Solos Aluviais Eutróficos (Ae) – Neossolos Flúvicos

Constituem solos pouco desenvolvidos, oriundos de deposição de sedimentos de origem fluvial não consolidado. Estes sedimentos têm natureza e granulometria bastante variadas, constituindo depósitos de origem holocênica.

A profundidade varia de profundos a muito profundos, apresentando-se, em consequência da presença de argilas, imperfeitamente a mal drenados.

Os altos valores de saturação de bases (V%), superiores a 50, e a soma de bases trocáveis (S) dão o caráter eutrófico, constituindo-se, por conseguinte,

solos de alta fertilidade natural. Possuem pH variando de moderadamente ácido à moderadamente alcalino.

A textura é muito variada em função da origem (sedimentos alóctones) e da distância percorrida pelo material. Em razão disso, considera-se de textura indiscriminada. Não há relação pedogenética entre as camadas subjacentes ao horizonte A. Apresentam-se dispostos bordejando as calhas fluviais nos setores onde há redução de capacidade de transporte e, conseqüentemente, aumento dos processos de deposição.

A principal limitação ao uso está associada às baixas precipitações pluviométricas das regiões semiáridas, riscos de inundações e salinização.

Outras classes de solos estão presentes na sub-bacia do Rio Figueiredo, compondo as associações citadas na condição de segundo, terceiro ou quarto componentes. Segue a sua descrição sumária.

- Vertissolos (V) – Vertissolos

Solos minerais não hidromórficos, os Vertissolos possuem grande concentração de argila, notadamente as do grupo das montmorilonitas (2:1). Este fato propicia à massa do solo grande poder de contração e expansão, dando origem a gretas de contração no primeiro caso, e ao aparecimento de *slickensides* no segundo (BRASIL, 1981, p. 410). A concentração de argila conduz à drenagem imperfeita, tendo permeabilidade lenta a muito lenta. Desta forma, durante o período chuvoso, estes solos tornam-se encharcados e bastante susceptíveis à erosão.

A seqüência de horizonte é A/C, sendo este último de espessura bastante variável. A alta soma de bases trocáveis (S) e alta saturação de bases (V%) tornam estes solos sempre eutróficos.

Podem ocorrer em relevo plano, suave ondulado e ondulado. Têm alto potencial agrícola, sendo sua utilização limitada em função da característica de ressecamento no período de estiagem, o que os tornam extremamente duros, e da condição de plasticidade e pegajosidade que apresentam durante o período chuvoso, dificultando o uso de implementos agrícolas.

As práticas de irrigação também devem ser conduzidas com cuidado, em virtude do risco de salinização.

- Regossolos Distróficos (REd) – Neossolos Regolíticos

Solos pouco desenvolvidos, normalmente arenosos e não hidromórficos. Possuem sequência de horizontes A/C, podendo apresentar *fragipan* logo acima da rocha. Profundos a moderadamente profundos, possuem drenagem moderada a excessiva e alta porosidade.

Estes solos ocorrem em relevo plano a suave ondulado. A textura arenosa, a susceptibilidade a erosão e as baixas precipitações constituem as principais limitações ao desenvolvimento de culturas.

- Planossolos (PLS) – Planossolos

Compreende solos com horizonte B textural, onde a transição do horizonte A para o Bt se dá de forma abrupta. Possui ainda horizonte C. Têm alta saturação de bases (V%) e apresentam acidez moderada a praticamente neutra. A grande presença de minerais primários nos horizontes subsuperficiais (Bt e C) se constitui como fonte de nutrientes para as plantas. Apresentam profundidade moderada a rasa. O horizonte A apresenta em geral textura arenosa, fato que associado ao horizonte argiloso Bt torna este solo fortemente susceptível à erosão, característica minimizada pela ocorrência de relevos planos a suave ondulados.

A principal limitação ao uso se dá pela dificuldade de desenvolvimento da vegetação em função do caráter solódico (concentração de sódio), como também a ocorrência de condições climáticas desfavoráveis (BRASIL, 1981, p. 393).

- Solonetz Solodizado (SS) – Planossolos

Compreende solos halomórficos que possuem horizonte B solonético ou nátrico. Apresentam sequência de horizontes A, Bt e C bem diferenciados entre si. A mudança do A para o Bt se dá de forma abrupta São rasos a medianamente profundos. Geralmente possuem argila de atividade alta (Ta). O horizonte A é fraco, apresentando normalmente textura arenosa. Associam-se a relevo plano e suave ondulado, estando geralmente em trechos rebaixados acompanhando os cursos d'água de regiões semiáridas.

A dificuldade hídrica ocasionada pela condição climática, a drenagem imperfeita e a concentração de sódio trocável nos horizontes subsuperficiais constituem fatores de restrição ao uso agrícola.

- Afloramento de Rocha (AR)

As superfícies assim caracterizadas apresentam, conforme BRASIL (1981, p. 415) exposições de diferentes tipos de rochas. Podem estar nuas ou recobertas por detritos grosseiros não consolidados, não sendo possível a classificação como solos. Ocorrem em zonas semiáridas e podem apresentar presença de vegetação rala e de porte baixo adaptada às condições rústicas (vegetação rupestre). Em razão das características acima relatadas, não têm aproveitamento agrícola.

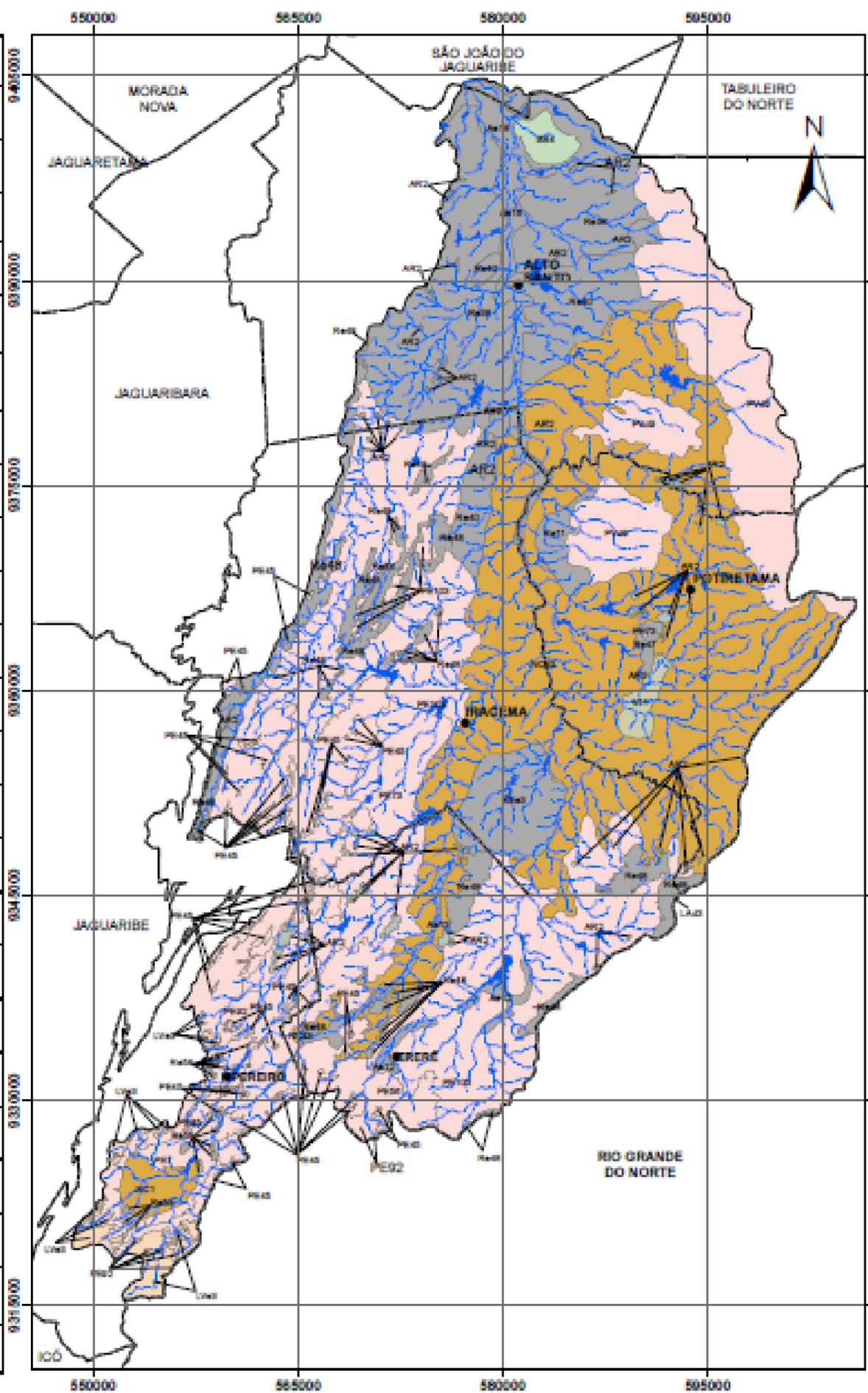
As associações de solos mapeadas e descritas por CEARÁ (1988), e que se encontram presentes na sub-bacia do Figueiredo, estão discriminadas no Quadro 9 e representadas espacialmente no Mapa 5.

Quadro 9 – Associações de solos da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

Associações de Solos	Descrição conforme CEARÁ (1988)
PE7	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb EUTRÓFICO A moderado textura média/argilosa fase floresta caducifólia relevo ondulado e forte ondulado.
PE45	Associação de: PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb EUTRÓFICO relevo suave ondulado + LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO relevo plano e suave ondulado ambos A fraco textura média argilosa fase floresta caducifólia.
PE56	Associação de: PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb A moderado textura média/argilosa relevo ondulado + SOLOS LITÓLICOS A fraco textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa relevo forte ondulado e montanhoso substrato gnaiss e granito ambos EUTRÓFICOS fase caatinga hipoxerófila.
PE73	Associação de: PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb EUTRÓFICO A fracotextura média/argilosa cascalhenta fase caatinga hipoxerófila relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS ROCHOSOS.
PE92	Associação de: PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura média/média cascalhenta fase floresta subcaducifólia + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura média argilosa com cascalho fase floresta subperenifólia + SOLOS LITÓLICOS textura média fase pedregosa e rochosa floresta subperenifólia substrato gnaiss e granito todos EUTRÓFICOS A moderado relevo forte ondulado e montanhoso.
PE103	Associação de: PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb raso abrupto A fraco textura arenosa/argilosa cascalhenta relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb A moderado textura média/argilosa relevo suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS A fraco textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaiss e granito todos EUTRÓFICOS fase caatinga hiperxerófila.
PVd9	Associação de: PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura arenosa/média + REGOSSOLO com fragipan ambos DISTRÓFICOS A fraco fase caatinga hipoxerófila relevo plano e suave ondulado.
LVe3	Associação de: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO câmbico A moderado textura média/argilosa fase com murundus, floresta caducifólia relevo suave e ondulado + AFLORAMENTOS ROCHOSOS.
NC1	BRUNO NÃO CÁLCICO A moderado textura média/argilosa fase com calhaus caatinga hipoxerófila relevo suave ondulado.
NC43	Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO textura média/argilosa fase com calhaus relevo suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa relevo suave ondulado e ondulado + PLANOSSOLO Ta textura arenosa/ argilosa relevo plano e suave ondulado todos A fraco fase caatinga hiperxerófila.
SS4	Associação de: SOLONETZ SOLODIZADO textura arenosa/argilosa relevo plano + REGOSSOLO EUTRÓFICO com fragipan relevo plano e suave ondulado ambos A fraco fase caatinga hiperxerófila.
V11	VERTISSOLO A fraco fase com calhaus caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado.
AR2	Associação de: AFLORAMENTOS ROCHOSOS + SOLOS LITÓLICOS A fraco textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado substrato gnaiss e granito.
Ae12	Associação de SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS A moderado textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila de várzea e floresta ciliar de carnaúba relevo plano + PLANOSSOLO SOLÓDICO Ta A fraco textura arenosa/argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado.
Ae16	Associação de: SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada + SOLONETZ SOLODIZADO textura arenosa/média ambos A fraco fase caatinga hiperxerófila de várzea e floresta ciliar de carnaúba relevo plano e suave ondulado.
Ae18	Associação complexa de: SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada + VERTISSOLO + PLANOSSOLO SOLÓDICO Ta textura arenosa/média todos A fraco fase floresta ciliar de carnaúba e caatinga hiperxerófila de várzea relevo plano.
Re11	SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS A fraco e moderado textura arenosa e média fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaiss e granito.
Re38	Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa substrato gnaiss, granito e filito + BRUNO NÃO CÁLCICO textura média argilosa fase pedregosa ambos A fraco caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado.
Re40	Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS A fraco textura arenosa e média fase erodida e não erodida pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaiss e granito + AFLORAMENTOS ROCHOSOS.
Re47	Associação de: SOLOS LITÓLICOS A fraco textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa relevo forte ondulado e montanhoso substrato xisto, filonito e quartzito + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb A moderado textura média argilosa relevo ondulado e forte ondulado ambos EUTRÓFICOS fase caatinga hiperxerófila.
Re48	Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS A fraco textura arenosa e média cascalhenta fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato gnaiss e granito + AFLORAMENTOS ROCHOSOS.
Re58	Associação de: SOLOS LITÓLICOS A fraco textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa relevo forte ondulado e montanhoso substrato gnaiss e granito + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb A moderado textura média/argilosa cascalhenta relevo forte ondulado ambos EUTRÓFICOS fase caatinga hiperxerófila + AFLORAMENTOS ROCHOSOS.
REe3	REGOSSOLO EUTRÓFICO com fragipan A fraco fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado.

Fonte: CEARÁ (1988).

Associação	DESCRIÇÃO CONFORME CEARA (1988)
PE7	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b EUTRÓFICO
PE43	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b + LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO
PE56	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS
PE73	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b EUTRÓFICO + AFLORAMENTOS ROCHOSOS
PE92	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS
PE103	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS
PE29	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b + REGOSSOLO DISTRÓFICO
LA43	LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO
LVa3	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO + AFLORAMENTOS ROCHOSOS
NC1	BRUNO NÃO CÁLCICO
NC43	BRUNO NÃO CÁLCICO + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS + PLANOSSOLO T _a
SS4	SOLONETZ SOLODIZADO + REGOSSOLO EUTRÓFICO
V11	VERTISSOLO
AR2	AFLORAMENTOS ROCHOSOS + SOLOS LITÓLICOS
Aa12	SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS + PLANOSSOLO SOLÓDICO T _a
Aa16	SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS + SOLONETZ SOLODIZADO
Aa18	SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS + VERTISSOLO + PLANOSSOLO SOLÓDICO T _a
Ra11	SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS
Ra38	SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS + BRUNO NÃO CÁLCICO
Ra40	SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS + AFLORAMENTOS ROCHOSOS
Ra47	SOLOS LITÓLICOS A + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b EUTRÓFICOS
Ra48	SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS + AFLORAMENTOS ROCHOSOS
Ra58	SOLOS LITÓLICOS + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO T _b EUTRÓFICOS + AFLORAMENTOS ROCHOSOS
REa3	REGOSSOLO EUTRÓFICO



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPPGq
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGEO

MAPA 5 - ASSOCIAÇÕES DE SOLOS
TÍTULO:
VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA
NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

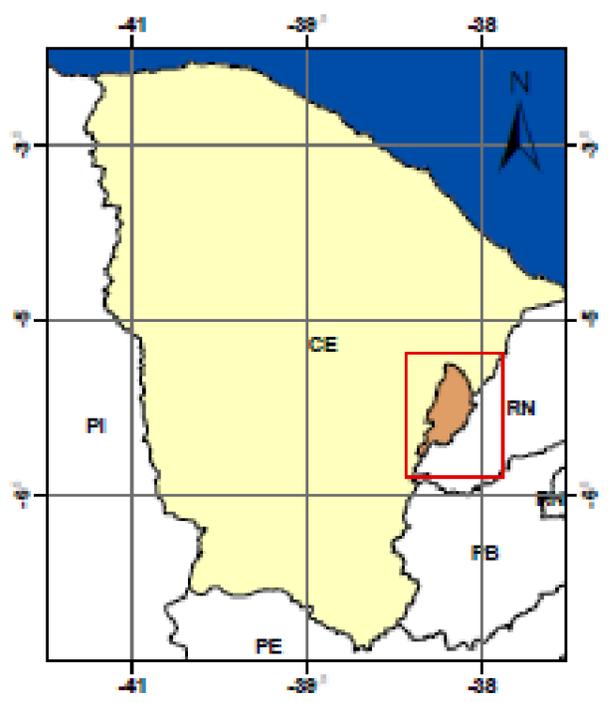


ESCALA: 1:350.000

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

ELEMENTOS HIDROGRÁFICOS	LIMITES
Drenagem	Sedes Urbanas
Açude	Limite Estadual
	Limites Municipais
	Área de Estudo



FONTE: CEARA (1988)
 ELABORAÇÃO: O AUTOR

5.1.1.4 Condições hidroclimatológicas

As condições de circulação atmosférica nos trópicos têm nas forçantes térmicas localizadas sobre os oceanos Pacífico e Atlântico seu principal fator condicionante, agindo sobre a interação entre as células de HADLEY e WALKER (BRASIL, 1994). As referidas células se formam nas latitudes equatoriais, onde ocorrem elevadas temperaturas na superfície do mar, altos índices de umidade e chuvas abundantes.

Tendo seus ramos ascendentes localizados sobre as bacias equatoriais dos oceanos tropicais, as células de HADLEY e WALKER interagem no Oceano Atlântico com a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (FERREIRA e MELLO, 2005). Neste sentido, a ação da ZCIT se mostra mais significativa sobre os oceanos. O seu posicionamento e sua intensidade têm como um dos principais fatores condicionantes a Temperatura da Superfície do Mar – TSM (FERREIRA e MELLO, *op. cit.*).

Conforme FERREIRA e MELLO (2005), a ZCIT tem sua origem na confluência dos ventos alísios do hemisfério norte e alísios do hemisfério sul, sendo sua posição no globo influenciada pela TSM do Oceano Atlântico Tropical. Localiza-se originalmente na latitude de 14°N, migrando para posição mais ao Sul (2° a 4°S) entre os meses de fevereiro e abril, onde exerce influência no sistema de chuvas regional. Posicionado setentrionalmente em relação ao espaço nordestino brasileiro, o Estado do Ceará tem, assim, como principal sistema de chuvas atuante, a ZCIT.

Quando da ocorrência de El Niño Oscilação Sul (ENOS), a célula de WALKER sofre alterações climatológicas. Tais variações se refletem em estiagens em várias áreas do globo, inclusive sobre o Nordeste setentrional do Brasil (CEARÁ, 1994).

Outros processos atmosféricos também atuam na determinação dos totais pluviométricos no Nordeste brasileiro – NEB e no Ceará. De acordo com CEARÁ (1994), o dipolo do Atlântico e as condições dinâmicas junto à superfície do oceano apresentam boa relação com a regularidade das chuvas no setor setentrional do NEB.

Além da ZCIT, CEARÁ (*op. cit.*) cita como fatores responsáveis por precipitações no setor Norte do NEB e no Ceará, mesmo com menor intensidade e com influência espacial mais restrita, os seguintes sistemas:

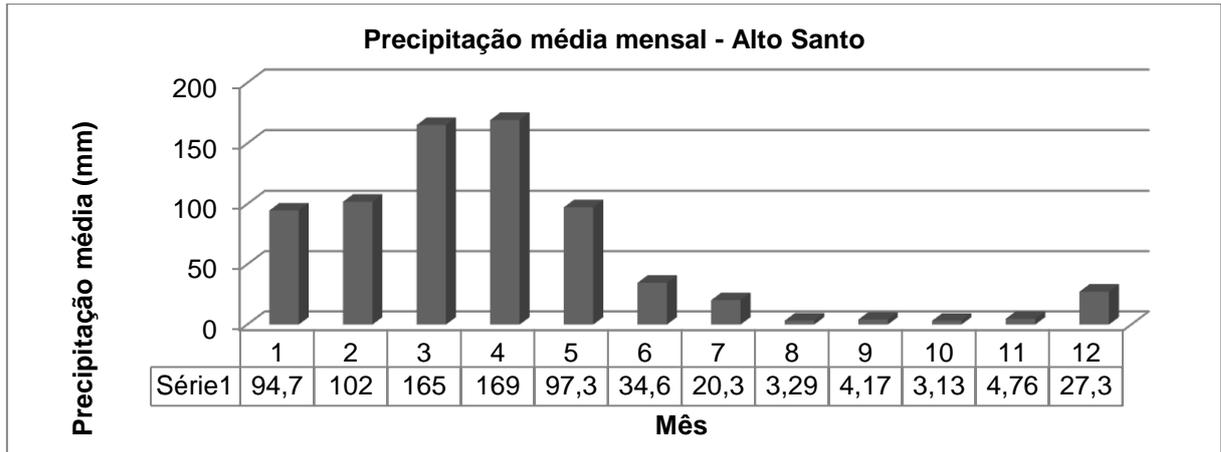
- Sistemas Frontais: tendo origem no encontro de massas de ar com características térmicas opostas (quente e fria), avançam de médias latitudes em direção ao equador e são responsáveis por chuvas de pré-estação no sul do Ceará;
- Ondas de Leste: responsáveis por precipitações ao longo do litoral entre as latitudes de 5° e 13° Sul. Atuam no período de maio a agosto e eventualmente atingem o litoral do Ceará;
- Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS): formados no oceano Atlântico Sul, nas imediações da costa leste do NEB, atuam nos meses de verão e apresentam duração curta (5 a 8 dias). Contribuem significativamente para as chuvas no Ceará;
- Linhas de instabilidade: agindo no verão/outono, notadamente entre os meses de fevereiro e maio, são responsáveis por chuvas no setor do litoral cearense;
- Aglomerados Convectivos de Meso-escala: originados no interior do Estado, quando as condições dinâmicas e hídricas são favoráveis, estes sistemas contribuem para o aumento da pluviometria do Ceará, principalmente na sua porção centro-sul.

A análise das médias históricas dos parâmetros de precipitação e temperatura nos municípios inseridos na sub-bacia do rio Figueiredo, associadas às informações de balanço hídrico da área, permitem um melhor entendimento das características climáticas locais. Estas informações também subsidiarão a determinação da vulnerabilidade do tema clima.

A distribuição temporal da precipitação na área de estudo reflete a ação dos sistemas produtores de chuva vistos anteriormente, havendo uma maior concentração dos valores entre os meses de fevereiro e maio. Entretanto, os valores pluviométricos referentes aos meses de janeiro e junho não podem ser desconsiderados, visto que refletem a ação de sistemas de pré-estação e pós-estação. Os gráficos apresentados (Figuras 11 a 15) foram elaborados a partir de séries históricas obtidas no banco de dados da FUNCEME.

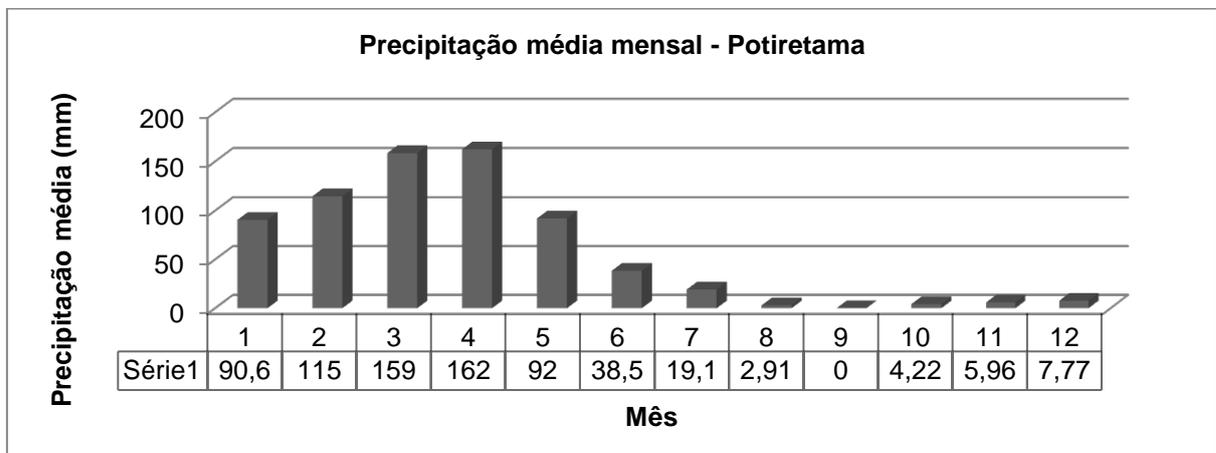
A ação da ZCIT na composição dos valores de precipitação faz-se sentir de forma contundente entre os meses de março e abril, época em que os volumes de chuva podem ultrapassar 200 mm mensais.

Figura 11 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Alto Santo. Período 1989/2011



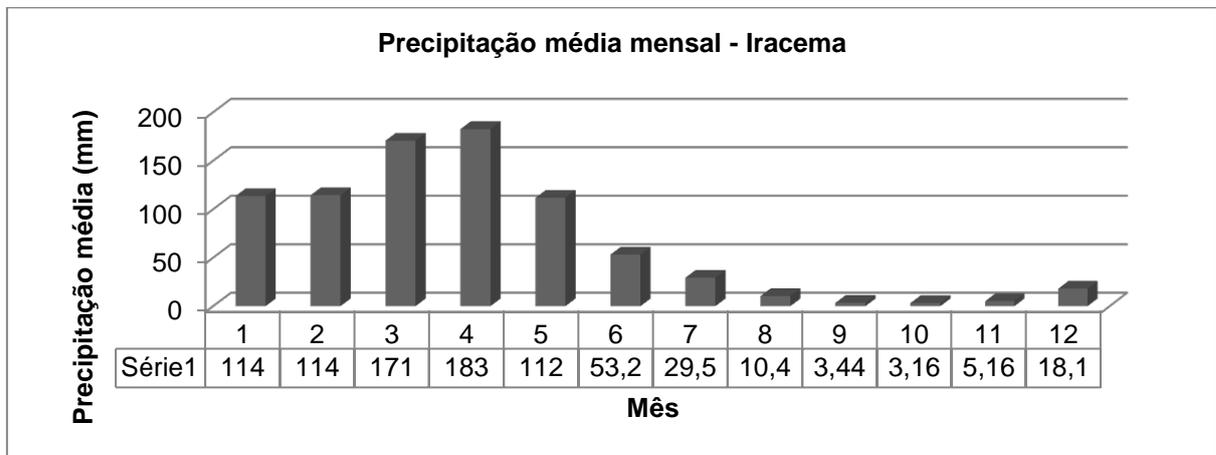
Fonte: FUNCEME (2013).

Figura 12 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Potiretama. Período 1989/2011



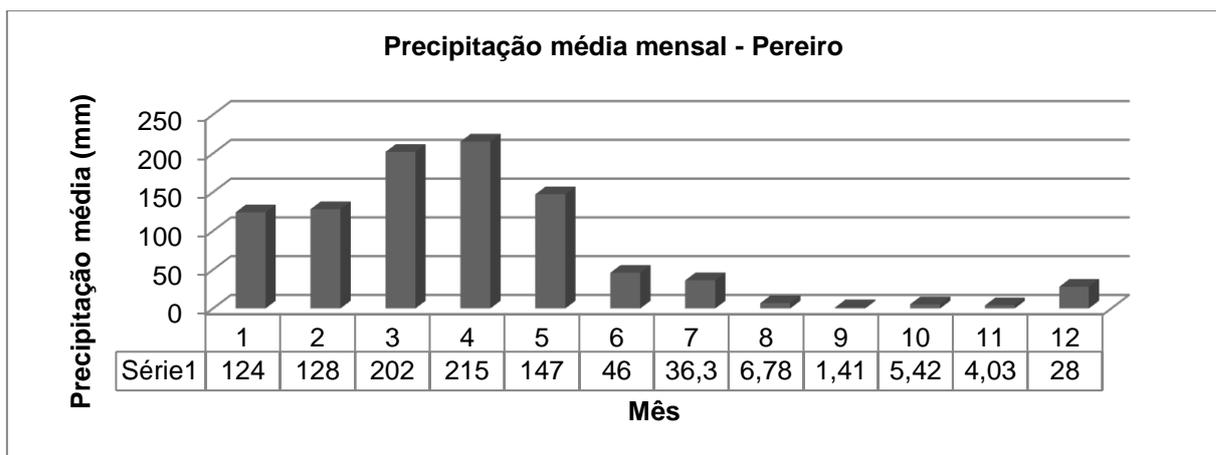
Fonte: FUNCEME (2013).

Figura 13 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Iracema. Período 1989/2011



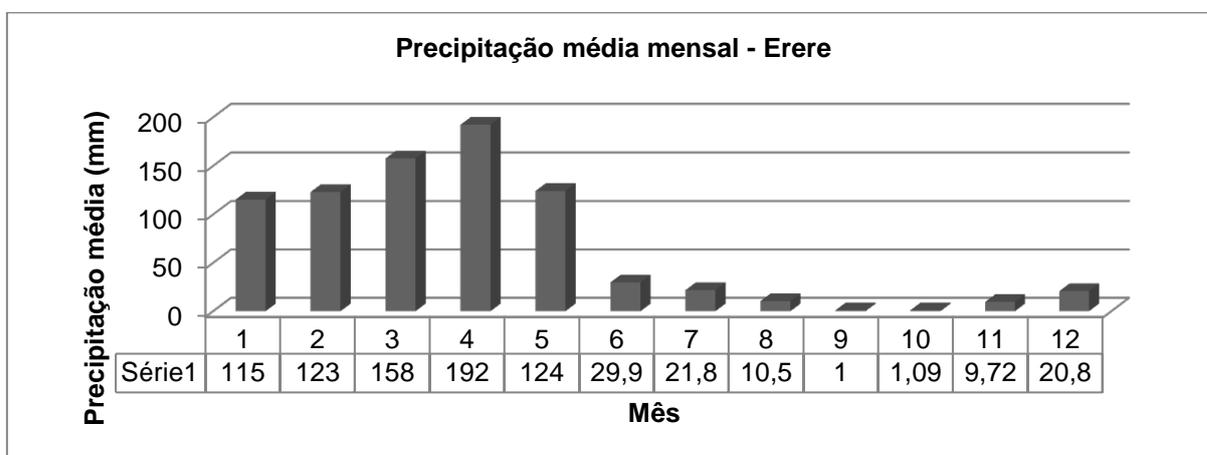
Fonte: FUNCEME (2013).

Figura 14 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Pereiro. Período 1989/2011



Fonte: FUNCEME (2013).

**Figura 15 – Distribuição média mensal da precipitação no município de Ererê.
Período 1989/2011**



Fonte: FUNCEME (2013).

Os totais pluviométricos observados no segundo semestre do ano complementam o quadro de forte irregularidade temporal das chuvas no Semiárido. A partir do mês de julho há um decréscimo nas chuvas, acentuando-se entre os meses de setembro e outubro, quando se verificam as menores médias mensais para todos os municípios da sub-bacia.

A sub-bacia do rio Figueiredo apresenta uma diversidade quanto ao grau de aridez ao qual está submetida. Referida diversidade se dá em função das variações altimétricas presentes na área, decorrentes da presença de relevos residuais como as Serras dos Bastiões e Aimoré. Estes setores elevados posicionados na porção oeste e sudoeste da bacia chegam a apresentar altitudes da ordem de 600m, favorecendo na sua porção a barlavento, voltada para o leste e nordeste, o aumento do índice pluviométrico e higrométrico.

FUNCEME (2012) apresenta o índice de aridez médio para os municípios do Estado do Ceará. Este índice foi calculado segundo definição da ONU e tem como parâmetros as variáveis de precipitação e evapotranspiração conforme apresentadas na equação 2. Os parâmetros de precipitação e evapotranspiração contemplam dados entre os anos de 1975 e 2002.

$$IA = 100 \times Pr / ET_0$$

[2]

Onde:

IA = índice de aridez;

Pr = Precipitação (média anual);

ET₀ = Evapotranspiração potencial.

Os níveis de aridez propostos pela ONU estão divididos em cinco classes, conforme escala apresentada no Quadro 10. A relação é inversamente proporcional, sendo os menores valores atribuídos aos maiores graus de aridez.

Quadro 10 – Classificação da aridez conforme critérios da ONU

Índice de Aridez - IA	Classificação
<20	Árido
20 < IA < 50	Semiárido
50 < IA < 65	Sub-úmido seco
65 < IA < 100	Sub-úmido úmido
>100	Úmido

Fonte: Adaptado de FUNCEME (2012).

Para os municípios inseridos na sub-bacia do Rio Figueiredo, os índices de semiaridez foram calculados por FUNCEME (op. cit.), tendo por base a proposição da ONU. Assim, foi observado que todos os municípios inseridos na sub-bacia do rio Figueiredo apresentam índice de aridez abaixo de 50, o que os classifica como semiárido (Quadro 11).

Percebe-se que a sub-bacia do Figueiredo possui alto índice de aridez, enquadrando-se na condição de semiaridez, o que favorece a severidade das ações erosivas em função da vulnerabilidade climática, que se reflete na cobertura vegetal.

Uma marcante variação sazonal no fluxo e vazão dos rios e riachos que integram a sub-bacia do Figueiredo é explicada pela irregularidade pluviométrica, os modestos índices de chuva e a elevada evapotranspiração potencial, variáveis que contribuem significativamente para o quadro de irregularidade do fluxo hidrológico. Acrescente-se à lista de fatores as características litológicas da região, representada em ampla maioria por rochas do embasamento cristalino, condicionando menor

capacidade de acumulação hidrogeológica. Exceção se faça à presença de coberturas sedimentares na porção Leste-Nordeste da sub-bacia, em razão dos depósitos da Formação Açú, além da ocorrência de pequenos depósitos aluviais bordejando a calha do rio Figueiredo no seu baixo curso.

Quadro 11 – Índice de semiaridez dos municípios com área inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, Ce

Município	Índice de aridez	Classificação
Alto Santo	38,0	Semiárido
Potiretama	35,3	Semiárido
Iracema	43,0	Semiárido
Pereiro	49,7	Semiárido
Erere	41,2	Semiárido
São João do Jaguaribe	37,0	Semiárido

Fonte: Adaptado de FUNCEME (2015).

Dados da ANA (Agência Nacional de Águas) mostram uma forte variação na vazão média do rio Figueiredo, onde os valores se concentram em torno do primeiro semestre do ano, com picos entre os meses de abril e maio (Figura 16).

A série de dados utilizada para obtenção do gráfico foi composta pelas médias mensais nos anos de 2000 a 2007. Os anos de 2004 e 2006 foram excluídos da composição em virtude de a série mensal estar incompleta para esses anos.

Figura 16 – Vazão média mensal do rio Figueiredo (2000 – 2007)



Fonte: Banco de dados da ANA.

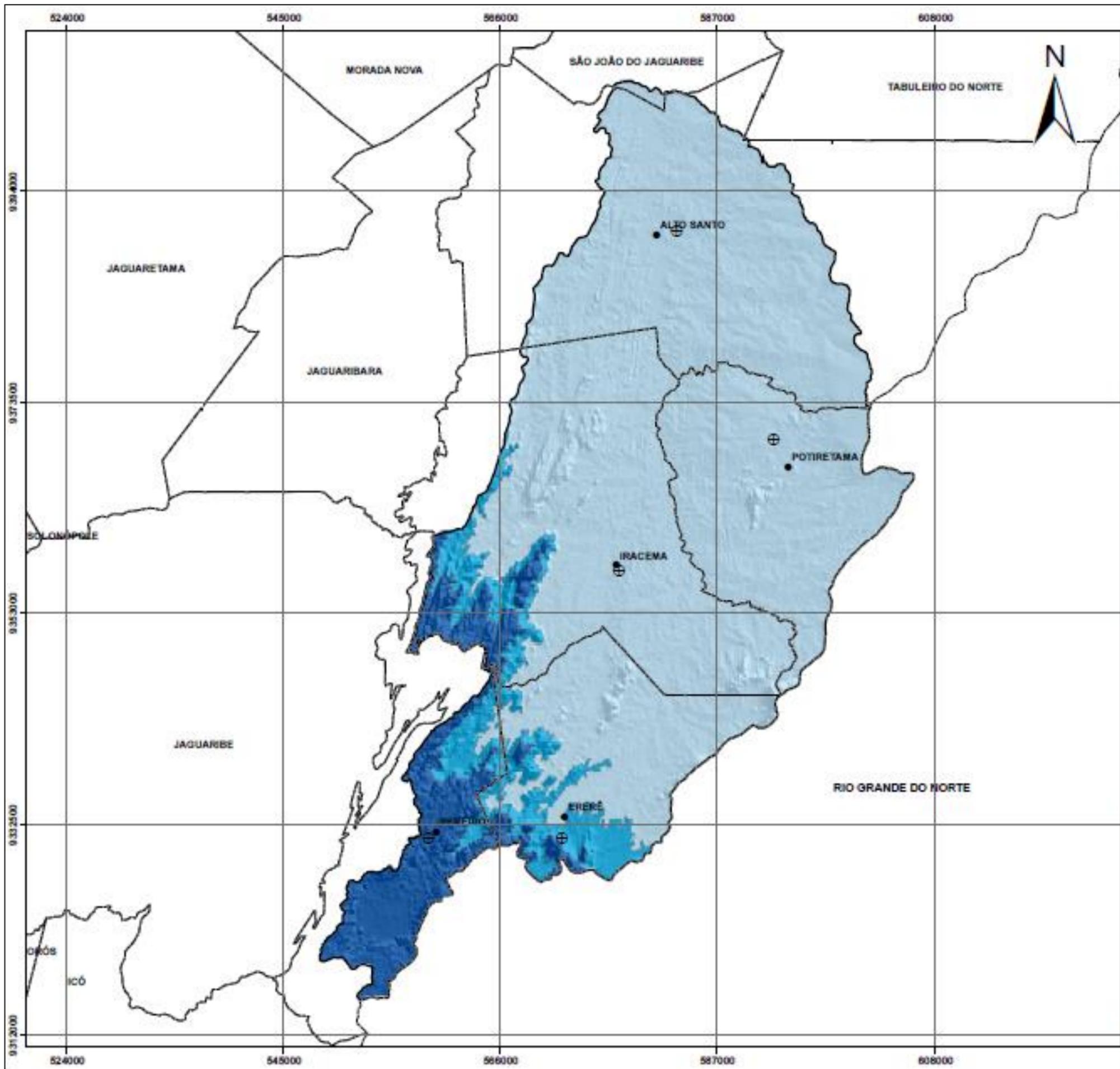
Em função dessa irregularidade na disponibilidade hídrica de superfície, tem-se optado historicamente por contenção do fluxo hídrico através de barramentos nos canais fluviais. Assim sendo, há uma presença considerável de açudes de pequeno e médio porte na sub-bacia estudada. Merecem destaques os seguintes reservatórios (Quadro 12).

Quadro 12 – Capacidade dos principais reservatórios hídricos nos municípios da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, Ceará

Açude	Município	Capacidade (m ³)
Adauto Bezerra	Pereiro	5.250.000
Canafístula	Iracema	13.110.000
Ema	Iracema	10.390.000
Madeiro	Pereiro	2.810.000
Potiretama	Potiretama	6.330.000
Santa Maria	Ererê	5.866.800
Santo Antônio	Iracema	832.000
Total	-	44.588.800

Fonte: adaptado de Cogerh (2009).

As condições climáticas regionais observadas, influenciadas localmente pela presença do Maciço do Pereiro, condicionam os níveis de intensidade pluviométrica observados no Mapa 6.



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGPq
 Centro de Ciência e Tecnologia - OCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGeo

MAPA 8 - CLIMA: INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA.

TÍTULO:
 VULNERABILIDADE A EROÇÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos



ESCALA: 1:350.000

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

- LIMITES**
- Limites Municipais
 - Área de Estudo
 - Limite Estadual
 - Sedes Municipais
 - ⊕ Postos Pluviométricos

LEGENDA

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)



125 - 150
 150 - 175
 175 - 200

O valor foi elaborado com base nos meses com precipitação acima de 50 mm



FONTE: FUNCEME
 ELABORAÇÃO: O AUTOR

5.1.1.5 Aspectos fitogeográficos

O semiárido brasileiro apresenta como cobertura vegetal predominante a Caatinga, reflexo das interações entre os componentes geocológicos dentre os quais se destacam as condições hidroclimatológicas.

As características de xerofitismo que identificam essa vegetação expressam sua adaptação à severidade do ambiente semiárido decorrente das baixas e irregulares precipitações e da baixa oferta hídrica superficial e subsuperficial.

Na sub-bacia do Figueiredo a vegetação é constituída por caatingas de diferentes fisionomias além da mata seca. A distribuição e variação fisionômica se dão por influência das variações de umidade decorrentes das condições de relevo da área. É de se compreender que tais mudanças nos índices de precipitação e umidade também interfiram nas condições edáficas, refletindo sistemicamente nos padrões e tipos de cobertura vegetal natural.

Nos setores topograficamente mais baixos da bacia, a cobertura vegetal apresentava originariamente uma tipologia de Caatinga arbórea aberta sem palmeiras (BRASIL, 1981). São nesses setores, formados predominantemente por Neossolos Litólicos e Luvisolos, onde os processos de degradação se encontram mais evidentes, conforme demonstram os estudos realizados por FUNCEME (2009). Em função disso a vegetação apresenta-se fortemente degradada.

Bordejando alguns canais fluviais, desenvolve-se uma estreita faixa de mata ciliar. Esta cobertura vegetal se torna mais larga na proximidade da desembocadura do rio Figueiredo, onde ocorre o alargamento da planície fluvial.

À medida que a presença das serras secas se faz sentir, ocorre a mudança de padrões fisionômicos com um maior adensamento vegetal, de onde se explica a classificação tipológica de BRASIL (1981), como do tipo Caatinga arbórea densa com palmeiras. Essa mudança se expressa no setor oeste da área estudada.

Nos setores mais elevados das serras que limitam a bacia na sua porção oeste e sul-sudoeste, verifica-se a presença de ecótono formado pelo contato entre a caatinga arbórea e a mata seca. Essa composição se dá pela melhora das condições edafoclimáticas presentes no barlavento da serra do Pereiro.

Dados da FUNCEME apresentados em CEARÁ (2009, p.20) apontam a ocorrência das seguintes formações vegetacionais na sub-bacia do Figueiredo: Caatinga Arbustiva Aberta; Caatinga Arbustiva Densa; Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga Arbórea) e Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Mata seca).

As divergências entre as informações apresentadas por BRASIL (1981) e FUNCEME (2009) podem, em parte, ser justificadas em razão de procedimentos metodológicos adotados em cada estudo, mas também podem representar a evolução da cobertura vegetal decorrente do histórico de uso e ocupação da terra.

Considerando a segunda opção, percebe-se que há uma indicação de degradação da cobertura vegetal em função da redução do seu porte e densidade. Esta indicação está diretamente associada às áreas mais degradadas e susceptíveis ao processo de desertificação, conforme apontado por FUNCEME (2009).

5.1.2 Derivações socioeconômicas

A ocupação dos ambientes naturais pela sociedade humana promove mudanças na intensidade dos fluxos de matéria e energia presentes no sistema natural capazes de, em casos extremos, levar tais sistemas a um grau de desequilíbrio irreversível. As alterações dos fluxos de matéria e energia levam ao seu reordenamento, havendo possibilidade inclusive de rompimento do equilíbrio dinâmico desses ambientes. Essas mudanças estão em função do grau de ocupação promovido pela sociedade humana e da capacidade de suporte apresentada por estes meios.

Destarte, as pressões sobre os componentes naturais oriundas das atividades sociais são responsáveis por mudanças no equilíbrio morfogenético que conduz, em casos mais agudos, à degradação dos solos por processos erosivos, dentre outros.

Para que se possa compreender melhor como se dá a alteração do equilíbrio do sistema morfológico a partir das atividades humanas, faz-se necessária a compreensão de como se organiza a sociedade naquele ambiente. Para tanto, é condição *sine qua non* a análise das informações relativas à população e às

atividades econômicas, notadamente no aspecto das formas de produção e de uso do solo. Nos dizeres de Cunha e Guerra (1988, p. 337):

O estudo da degradação ambiental não deve ser realizado apenas sob o ponto de vista físico. Na realidade, para que o problema possa ser entendido de forma global, integrada, holística, deve-se levar em conta as relações existentes entre a degradação ambiental e a sociedade causadora dessa degradação que, ao mesmo tempo, sofre os efeitos e procura resolver, recuperar, reconstituir as áreas degradadas.

Nesse sentido, foram apresentadas as principais características relativas à população e às formas de uso do solo dos municípios integrantes da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.

Considerando que as informações relativas às derivações socioeconômicas são apresentadas com base na divisão administrativa dos municípios, faz-se necessário estabelecer o percentual de cada município que se encontra inserido na sub-bacia do rio Figueiredo (Quadro 13). Tais dados permitem inferir melhor a importância das derivações socioeconômicas na vulnerabilidade à erosão na sub-bacia do rio Figueiredo.

Quadro 13: Área dos municípios drenada pela sub-bacia do rio Figueiredo

MUNICÍPIO	ÁREA TOTAL Km ²	ÁREA DO MUNICÍPIO DRENADA PELA SUB-BACIA DO FIGUEIREDO	
		VALOR ABSOLUTO (km ²)	VALOR RELATIVO (%)
S. João do Jaguaribe	280,44	5,57	1,98
Alto Santo	1.338,74	595,09	44,45
Iracema	822,83	711,78	86,50
Potiretama	409,24	409,24	100
Pereiro	432,88	207,14	47,85
Ererê	382,73	382,73	100
Total	3.666,86	2.311,55	63,03

Fonte: elaborado pelo autor.

5.1.2.1 Aspectos populacionais

A discussão acerca dos aspectos de população que caracterizam a sub-bacia do Figueiredo é aqui apresentada com base nos dados dos censos populacionais de 1991, 2000 e 2010, realizados pelo IBGE. Foram assim

consideradas informações quanto ao total da população de cada município, a população urbana e rural.

Tendo em vista que o município de São João do Jaguaribe apresenta apenas 5,57 km² de sua área drenada pela sub-bacia do rio Figueiredo, o que equivale a 1,98% de seu território, e que esta área não possui contingente populacional, considerou-se desnecessária a descrição dos dados referentes à população deste município.

Verificando os dados de população referentes aos três últimos censos, observa-se de pronto que os municípios com terras drenadas pela bacia do Figueiredo são possuidores de um contingente populacional pequeno. Em todos os casos, a população do município não ultrapassa 20 mil habitantes, havendo casos, como Potiretama e Ererê, em que a população não chega a 10 mil habitantes (Quadro 14).

A evolução do contingente de população ao longo das décadas de 1990 e 2000 deu-se de modo positivo para quase todos os municípios. Somente em dois deles, Potiretama e Iracema, houve decréscimo do número de habitantes em algum período.

No caso de Potiretama, a população sofreu uma pequena redução populacional verificada no censo de 2000, quando comparada ao censo de 1991. Em seguida há uma retomada do crescimento populacional, tendo os valores apresentados no censo de 2010 suplantados aqueles de 1991 e, conseqüentemente, os de 2000 também.

Para Iracema houve uma queda do número de habitantes no censo de 2000, em relação à contagem anterior. No levantamento de 2010, os dados mostraram uma retomada do crescimento populacional sem, entretanto, haver uma reposição dos valores atingidos em 1991.

Quanto à distribuição e evolução da população urbana e rural, observa-se um aumento da primeira, proporcionalmente à segunda, em todos os municípios ao longo dos últimos 19 anos. No caso dos municípios de Alto Santo, Potiretama e Pereiro, o incremento da população urbana não foi suficiente para suplantarem a população rural, ainda predominante.

Para os municípios de Iracema e Ererê, a população urbana, que se constituía em minoria no ano de 1991, apresentou maior crescimento proporcional

nos censos subsequentes, suplantando a população rural no ano de 2000, para o caso de Iracema, e em 2010 para Ererê.

Quadro 14 – População total e por situação de domicílio para os municípios da sub-bacia hidrográfica do Figueiredo

Município	Discriminação	População residente					
		1991		2000		2010	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%
Alto Santo	Total	13.610	100,00	15.394	100,00	16.359	100,00
	Urbana	3.919	28,80	5.447	35,38	8.041	49,15
	Rural	9.691	71,20	9.947	64,62	8.318	50,85
Iracema	Total	14.015	100,00	13.155	100,00	13.722	100,00
	Urbana	6.862	48,96	8.279	62,93	9.819	71,56
	Rural	7.153	51,04	4.876	37,07	3.903	28,44
Potiretama	Total	5.784	100,00	5.768	100,00	6.126	100,00
	Urbana	1.443	24,95	2.197	38,09	2.703	44,12
	Rural	4.341	75,05	3.571	61,91	3.423	55,88
Pereiro	Total	14.792	100,00	15.225	100,00	15.757	100,00
	Urbana	4.067	27,49	5.109	33,56	5.433	34,48
	Rural	10.725	72,51	10.116	66,44	10.324	65,52
Ererê	Total	6.437	100,00	6.302	100,00	6.840	100,00
	Urbana	1.641	25,49	2.262	35,89	3.458	50,56
	Rural	4.796	74,51	4.040	64,11	3.382	49,44

Fonte: adaptado de IBGE – Censos Demográficos 1991/2000/2010.

Percebe-se desta feita que há uma tendência geral de urbanização da população em todos os municípios considerados, fato que, à primeira vista, pode ser interpretado como positivo para a questão da degradação dos solos na sub-bacia do rio Figueiredo. Isso por se considerar uma redução na pressão exercida pelo efetivo populacional sobre o meio rural.

Entretanto, há de se ter cautela na análise, pois o aumento da população urbana e da população total destes municípios pode ser elemento indutor para uma maior pressão sobre os recursos naturais, em função do aumento da demanda de consumo.

5.1.2.2 Sistemas de produção e de uso do solo

Existem várias formas de uso do solo, sendo estas decorrentes, dentre outros fatores, de aspectos culturais e do estágio tecnológico de cada sociedade.

Na região do Médio Jaguaribe, e mais precisamente na sub-bacia do rio Figueiredo, as atividades econômicas desenvolvidas nas zonas rurais dos municípios apresentam uma forte influência cultural, com traços históricos que refletem a evolução da ocupação da região.

As atividades de pecuária, e a agricultura voltada fortemente à produção de feijão e milho, refletem claramente o padrão histórico de ocupação largamente implementado no semiárido nordestino e tão bem relatado por Ab'Saber (1999).

Como é de se esperar, os municípios com maior concentração de terras no setor da depressão sertaneja apresentam forte atividade voltada à criação de rebanhos, seja de bovinos, caprinos ou ovinos. Nesse quesito, o município de Alto Santo apresenta os maiores efetivos.

Comparando o quantitativo bovino entre os anos 1989, 2000 e 2011 (Quadro 15), é observada uma redução do rebanho no ano de 1989 em comparação com os outros anos, para todos os municípios da sub-bacia. Tal ocorrência não se verifica como regra para os rebanhos de caprinos e ovinos, tendo esses rebanhos sofrido, de forma aleatória, variações quantitativas.

Quadro 15 – Evolução dos rebanhos bovino, caprino e ovino nos municípios da sub-bacia do rio Figueiredo

Município	Bovino			Caprino			Ovino		
	1989	2000	2011	1989	2000	2011	1989	2000	2011
Alto Santo	25.476	16.525	29.835	3.830	5.766	9.650	5.998	11.490	13.290
Ererê	9.107	8.102	10.110	600	1.668	2.425	2.216	4.250	10.044
Iracema	20.720	15.840	21.018	3.945	1.835	2.636	9.146	7.108	7.601
Pereiro	8.750	5.658	8.069	899	1.621	2.531	1.477	1.696	2.140
Potiretama	10.040	8.821	10.483	2.630	2.147	1.830	6.098	8.612	4.720
Total	74.093	54.946	79.515	11.904	13.037	19.072	24.935	33.156	37.795

Fonte: IBGE (2014), modificado.

Quando considerada a produção agrícola temporária, destaca-se o município de Pereiro, onde, somando o cultivo de feijão ao de milho, o município aparece com a maior área plantada (Quadro 16). Note-se que Pereiro está posicionado em terras mais elevadas, correspondentes à serra homônima, onde as condições edafoclimáticas são mais favoráveis ao desenvolvimento da agricultura.

Desta feita, a vocação dos diferentes ambientes – sertão e serra – quanto à produção primária fica assim evidenciada.

Entretanto, seguindo uma tendência de implantação de culturas voltadas a atender o mercado através da agroindústria, observa-se uma forte presença da cajucultura, notadamente nos municípios onde se fazem presentes os terrenos da Formação Açú, caso de Alto Santo e Potiretama.

Quadro 16 – Principais tipos de culturas temporárias e permanente nos municípios da sub-bacia do rio Figueiredo

Município	Culturas temporárias (ha)		Cultura permanente (ha)
	Feijão	Milho	Castanha de caju
Alto Santo	1.910	440	5.893
Potiretama	2.760	200	2.880
Iracema	810	1.100	69
Pereiro	1.850	3.600	230
Ererê	750	1.150	2
Total	8.080	6.490	9.074

Fonte: IBGE (2011)

O censo agropecuário de 2006, realizado pelo IBGE, apresenta uma diversidade de sistemas de uso para os municípios da sub-bacia do rio Figueiredo (Quadro 17). Há uma forte ocupação com atividades voltadas para a pecuária em todos os municípios da sub-bacia hidrográfica, sendo Alto Santo, Potiretama e Iracema aqueles onde a atividade pecuária predomina.

A ocupação com lavoura permanente e temporária também apresenta considerável área ocupada. Nesse caso, a lavoura temporária desenvolve-se de forma marcante quanto à extensão, ao longo de todos os municípios da sub-bacia.

Quanto aos sistemas de preparo do solo, há uma clara preferência pelo cultivo mínimo em quase todos os municípios da área. A única exceção é o município de Pereiro, onde a utilização do plantio direto na palha é o método de manejo mais aplicado. Este fato pode estar diretamente ligado à questão do cultivo do milho que é desenvolvido fortemente no município. Nessa técnica, a palha do milho é deixada sobre o solo após a colheita, servindo como proteção contra a radiação solar e os efeitos da ação eólica e pluvial.

Além do cultivo mínimo e do plantio direto na palha, também é aplicado o método convencional de cultivo, onde se faz aração e gradagem. Este método é o segundo mais aplicado nos municípios da sub-bacia, e constitui uma forma inadequada de manejo, visto que potencializa a erosão através da destruição dos agregados do solo.

Quadro 17 – Sistemas de uso do solo por área ocupada nos municípios da sub-bacia do Figueiredo

Sistemas de uso	Município				
	Alto Santo	Potiretama	Iracema	Pereiro	Ererê
	Área (ha)				
Lavoura permanente	9.094	6.724	356	276	26
Lavoura temporária	7.898	4.283	3.624	3.686	2.821
Lavoura - área plantada com forrageira para corte	2.812	1.502	1.765	638	1.500
Lavoura - área para cultivo de flores	-	-	-	não disponível	não disponível
Pastagem natural	30.282	20.227	19.188	3.093	8.559
Pastagem plantada degradada	959	220	387	25	171
Pastagem plantada em boas condições	656	69	959	216	288
Matas e ou florestas - naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal	1.622	764	1.836	430	1.263
Matas e ou florestas - naturais (exclusive APP e sistemas agroflorestais)	5.862	5.893	27.697	3.346	5.721
Matas e ou florestas - plantadas com essências florestais	315	não disponível	6	-	não disponível
Sistemas agroflorestais - cultivada com espécies florestais também usadas para lavoura e pastejo por animais	8.714	1.262	2.440	1.107	3.011
Tanques, lagos, açudes e ou áreas de águas públicas para exploração de aquicultura.	856	583	3.204	159	658
Construções, benfeitorias, ou caminhos.	190	817	2.831	312	245
Terras degradadas - erodidas, desertificadas, salinizadas, etc.	49	87	512	14	104
Terras inaproveitáveis para agricultura ou pecuária (pântano, areais, pedreiras, etc.).	2.656	496	2.627	175	1.018

Fonte: IBGE (2006), modificado.

Dentre os sistemas de preparo do solo aplicados na sub-bacia (Quadro 18), o plantio direto na palha é considerado o menos danoso, por oferecer maior proteção ao solo contra a ação dos agentes erosivos. Nessa prática, o plantio da nova safra é realizado sobre a palhada da safra anterior, reduzindo a exposição do solo à radiação solar, com menor ressecamento dele e protegendo-o contra a ação eólica e pluvial durante a entressafra. Promove também uma intensificação das atividades relacionadas à macro e microbiologia do solo. Já no cultivo convencional, a aração e gradagem favorecem a destruição dos agregados do solo e aumenta a sua susceptibilidade ao processo erosivo. Também favorece seu ressecamento pela maior exposição à radiação solar.

Quadro 18 – Sistemas de preparo do solo por unidades rurais dos municípios da sub-bacia do rio Figueiredo

MUNICÍPIO	SISTEMA DE PREPARO DO SOLO POR Nº DE UNIDADES		
	Cultivo convencional (aração mais gradagem) ou gradagem profunda	Cultivo mínimo (somente gradagem)	Plantio direto na palha
Alto Santo	231	1009	11
Iracema	151	262	1
Potiretama	31	504	1
Pereiro	71	56	594
Ererê	90	254	2
Total	574	2085	609

Fonte: IBGE (2006).

A interpretação das imagens do satélite LANDSAT TM-5 referentes aos anos de 1989, 2000 e 2011 permitiram a quantificação das principais formas de uso e cobertura vegetal na sub-bacia do rio Figueiredo (Tabela 1), bem como seu mapeamento.

Pode ser observada uma expansão nas áreas ocupadas com tipologias de uso menos promovedoras de estabilidade, em detrimento da vegetação original, representada pelas caatingas e mata ciliar. A exceção é a tipologia de caatinga arbustiva aberta que apresentou um incremento de área da ordem de 32,66% ao longo dos anos considerados. Esta condição pode estar associada à supressão de caatinga arbórea e arbustiva densa para ocupação com culturas ou pastagens, além da exploração da madeira para uso comercial ou residencial.

Convém esclarecer que a prática de exploração de áreas com atividades de agricultura e pecuária, com seu posterior abandono em virtude da redução da produtividade, é uma constante no semiárido nordestino. Esta prática promove a substituição da caatinga arbórea e arbustiva densa por uma tipologia mais aberta e com menor poder de estabilização do solo contra processos erosivos.

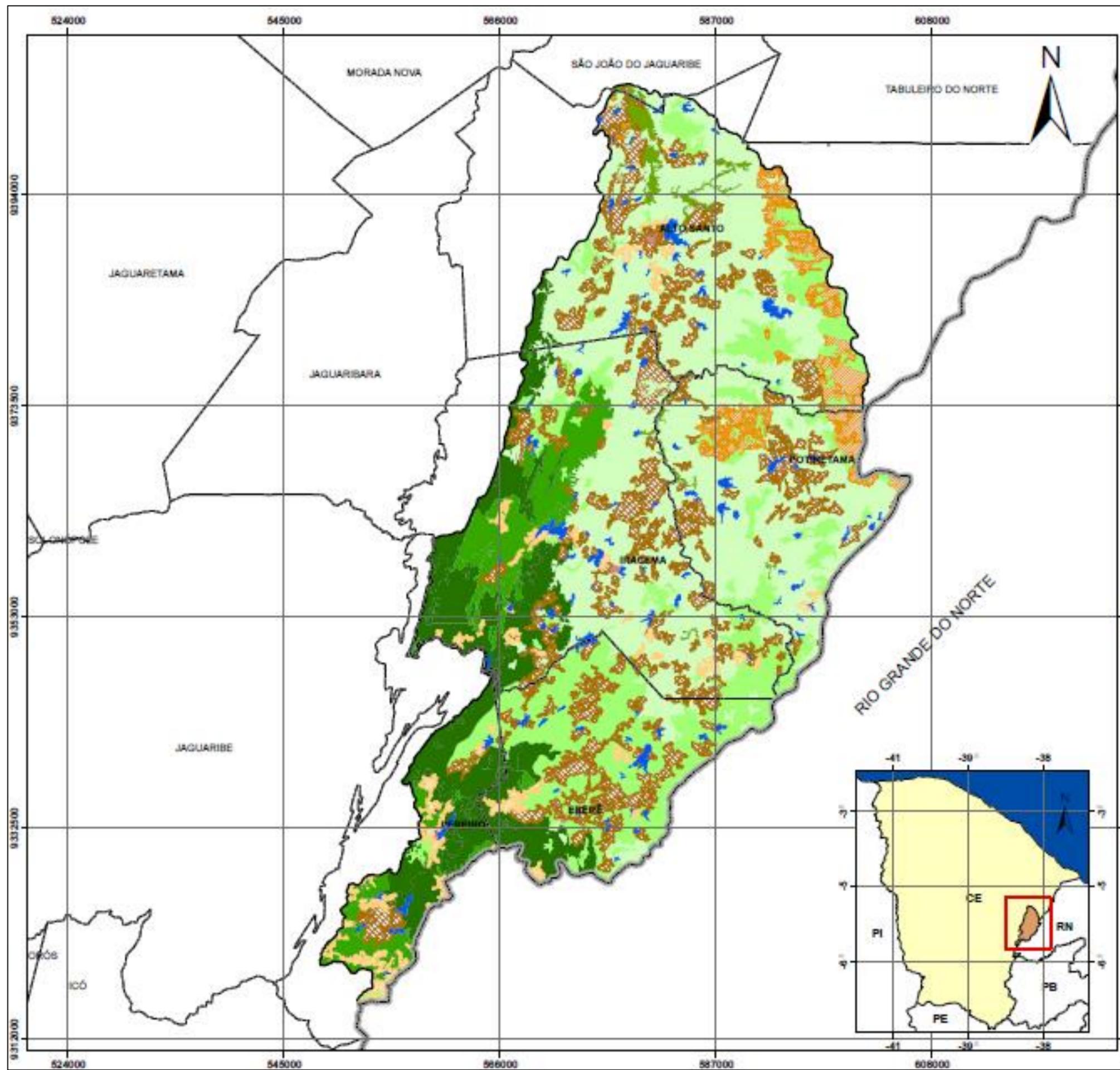
Tabela 1 – Área das classes de uso e cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo para os anos de 1989, 2000 e 2011

Classe de uso/cobertura	1989		2000		2011	
	Área km ²	%	Área km ²	%	Área km ²	%
Urbano	2,44	0,1	4,16	0,2	4,49	0,2
Cultura permanente	91,30	3,9	92,17	4,0	88,9	3,8
Cultura temporária	54,82	2,4	58,38	2,5	66,19	2,9
Caatinga arbustiva aberta	919,99	39,8	1166,35	50,5	1221,48	52,8
Caatinga arbustiva densa	430,83	18,6	400,96	17,3	262,27	11,3
Caatinga arbórea aberta	149,87	6,5	137,82	6,0	86,7	3,8
Caatinga arbórea densa	312,57	13,5	227,47	9,8	136,94	5,9
Mata ciliar	26,50	1,1	44,64	1,9	8,26	0,4
Água	31,98	1,4	33,29	1,4	43,23	1,9
Solo exposto	1,47	0,1	0,45	0,0	5,48	0,2
Nuvem	0,00	0,0	1,12	0,0	20,59	0,9
Pastagem	289,77	12,5	144,74	6,3	367,02	15,9
TOTAL	2.311,55	100,0	2311,55	100,0	2311,55	100,0

Fonte: elaborado pelo autor.

A dinâmica dos valores expressos na Tabela 1 fica também evidenciada nos mapeamentos (Mapas 7, 8 e 9). Observa-se ainda uma redução das áreas de pastagens no ano 2000, em comparação com os anos de 1989 e 2011. Tal fato é compatível com a redução na quantidade do rebanho bovino observada para esse ano.

As informações relativas ao uso e cobertura vegetal foram utilizadas na determinação da vulnerabilidade efetiva à erosão, conforme preceituado no item relativo ao método e procedimentos técnico-operacionais deste trabalho.



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGPq
 Centro de Ciência e Tecnologia - OCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGEO

MAPA 7 - USO E COBERTURA VEGETAL EM 1988.

TÍTULO:
VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos



ESCALA: 1:350.000

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

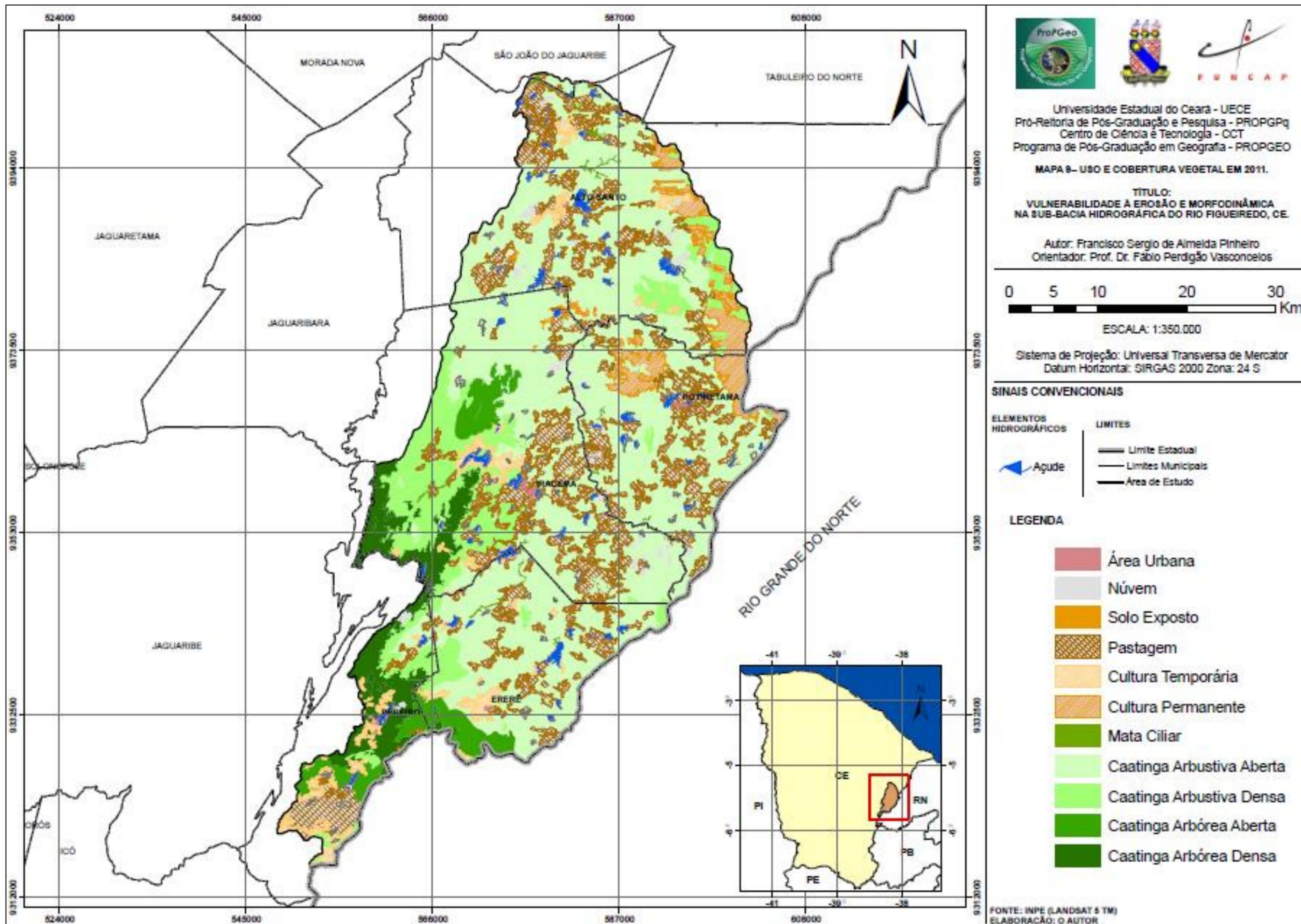
ELEMENTOS HIDROGRÁFICOS	LIMITES
Açude	Limite Estadual
	Limites Municipais
	Área de Estudo

LEGENDA

- Área Urbana
- Nuvem
- Solo Exposto
- Pastagem
- Cultura Temporária
- Cultura Permanente
- Mata Ciliar
- Caatinga Arbustiva Aberta
- Caatinga Arbustiva Densa
- Caatinga Arbórea Aberta
- Caatinga Arbórea Densa



FONTE: INPE (LANDSAT 5 TM)
 ELABORAÇÃO: O AUTOR



5.2 UNIDADES MORFOPEDEOLÓGICAS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO

Partindo do cruzamento das informações contidas nos mapas de geologia, geomorfologia e solos, foi possível a identificação de 36 unidades morfopedológicas na sub-bacia do rio Figueiredo (Quadro 19).

Quadro 19 – Caracterização das unidades morfopedológicas da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

U. M.	CARACTERÍSTICAS LITOMORFOPEDEOLÓGICAS
UM1	Depósitos aluvionais em condições de relevo plano, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial média. Apresenta associação de Neossolos Flúvicos Eutróficos com Vertissolos e Planossolos.
UM2	Depósitos aluvionais em condições de relevo plano e suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Apresenta associação de Neossolos Flúvicos com Planossolos.
UM3	Depósitos aluvionais em condições de relevo plano e suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial pequena. Apresenta associação de Neossolos Flúvicos Eutróficos com Planossolos.
UM4	Superfície de relevo plano à suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associação de Planossolos e Neossolos Regolíticos. Embasada por rochas do Complexo Nordestino (gnaisses e granitos e filitos).
UM5	Superfícies de relevo suave ondulado e ondulado, dissecado em colinas. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Luvisolos. Embasada em litologia do Complexo Nordestino (gnaisses, granitos e filitos).
UM6	Superfície de relevo suave ondulado e ondulado, dissecado em colinas apresentando amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Afloramentos de Rocha. Embasada em litologias do Complexo Nordestino (gnaisses, granitos e filitos).
UM7	Formas aguçadas com média amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo ondulado e forte ondulado. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Argissolos Eutróficos. A litologia é formada principalmente por dioritos.
UM8	Formas aguçadas com média amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo ondulado e montanhoso apresentando associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Afloramento de rochas. Embasamento da Suíte Magmática com rochas graníticas e gnaissicas.
UM9	Formas aguçadas com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo forte ondulado e montanhoso. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos com Argissolos Eutróficos e Afloramentos de Rocha. A litologia é composta por granitos e gnaisses da Suíte Magmática.
UM10	Superfície dissecada em colinas com relevo suave ondulado e ondulado. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito baixa. Os solos são Neossolos Litólicos Eutróficos e se desenvolvem sobre rochas gnaissicas e graníticas do Complexo Nordestino.
UM11	Superfície dissecada em suaves colinas apresentando relevo suave ondulado. A amplitude altimétrica é baixa e a amplitude interfluvial muito pequena. Os Neossolos Regolíticos desenvolvem-se sobre granitos e gnaisses do Complexo Nordestino.
UM12	Bordas da superfície de cimeira elaborada por processos de pediplanação. Relevo ondulado com amplitude altimétrica muito baixa e média amplitude interfluvial. Os solos são Argissolos Eutróficos e desenvolvem-se em Dioritos.
UM13	Superfície dissecada em colinas apresenta amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. O relevo plano a suave ondulado e ondulado apresenta associação de Planossolo com Luvisolo e Neossolo Litólico. As rochas gnaissicas e graníticas compõem uma Suíte Magmática.
UM14	Relevo plano a suave ondulado, dissecado em superfícies tabulares com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta associação de Argissolo Eutrófico com Latossolo Amarelo Distrófico. Desenvolvem-se em litologia do Grupo Ceará, notadamente xistos, filitos, gnaisses e rochas carbonatadas.
UM15	Formas aguçadas com relevo ondulado a montanhoso. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresentam associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Litologia composta por gnaisses e granitos de Suíte Magmática.
UM16	Relevo suave ondulado dissecado em suaves colinas com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associações de Argissolo Eutrófico e Afloramentos de Rocha. A litologia é formada por gnaisses e granitos do Complexo Nordestino.
UM17	Formas aguçadas com relevo forte ondulado a montanhoso. Amplitude altimétrica média, e pequena amplitude interfluvial. Apresentam associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico. O substrato é formado por rochas gnaissicas e graníticas da Suíte Magmática.

Continua...

...continuação

UM18	Relevo suave ondulado dissecado em colinas, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico. Substrato de gnaisses e granitos do Complexo Nordestino.
UM19	Superfície tabular com amplitude altimétrica muito baixa e grande amplitude interfluvial. Relevo plano e suave ondulado. Apresenta associações de Argissolo Distrófico com Neossolo Regolítico Distrófico. Embasada pelo Cretáceo Açú com rochas areníticas intercaladas com folhelhos, siltitos e calcários.
UM20	Superfície tabular com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo suave ondulado apresenta associações de Latossolo Eutrófico com Afloramentos de Rocha. O embasamento é formado por xistos, filitos e gnaisses do Grupo Ceará.
UM21	Superfície de cimeira com relevo suave ondulado, amplitude altimétrica muito baixa e média amplitude interfluvial. Apresenta solos da classe dos Luvissoles. Litologicamente é composta por Dioritos.
UM22	Superfície de relevo plano e suave ondulado dissecado em colinas, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associações de Luvissole com Neossolo Litólico e Planossolo. Substrato de gnaisses e granitos do Complexo Nordestino.
UM23	Superfície de relevo plano e suave ondulado dissecado em colinas, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Os solos são Vertissolos e a litologia é formada por rochas do Complexo Nordestino notadamente granitos e gnaisses.
UM24	Formas aguçadas em relevo forte ondulado. Amplitude altimétrica média e pequena amplitude interfluvial. Ocorrência de Afloramentos de Rocha associados a Neossolo Litólico. Substrato Suite magmática (granito).
UM25	Superfície tabular com amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Latossolo Distrófico e Argissolo Distrófico. Litologias da Formação Serra do Martins com arenitos caulínicos, arenitos ferruginosos e lateritas.
UM26	Relevo de formas aguçadas, ondulado a montanhoso, com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico. Substrato de gnaisses, xistos e filitos do Grupo Ceará.
UM27	Superfície tabular de relevo plano e suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Latossolo Distrófico. A litologia é formada por Dioritos.
UM28	Relevo forte ondulado com formas aguçadas. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta Afloramentos de Rocha associados a Neossolo Litólico. Litologia formada por Dioritos.
UM29	Relevo forte ondulado com formas aguçadas. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta Afloramentos de Rocha associados a Neossolo Litólico. Litologia formada por gnaisses e granitos do Complexo Nordestino.
UM30	Relevo de formas convexas, suave ondulado e ondulado. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Neossolo Litólico Eutrófico com Afloramentos de Rocha. Litologias do Grupo Ceará (гнаisses, xistos, filitos).
UM31	Relevo de formas convexas, suave ondulado e ondulado. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Neossolo Litólico Eutrófico com Luvissole. Litologias do Grupo Ceará (гнаisses, xistos, filitos).
UM32	Relevo suave ondulado de formas convexas. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Litologias do Grupo Ceará (гнаisses, xistos, filitos).
UM33	Relevo plano e suave ondulado, de forma tabular. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Afloramentos de Rocha. Litologia de Dioritos.
UM34	Relevo suave ondulado, de forma tabular. Amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Rochas graníticas da Suite Mágmatca.
UM35	Relevo suave ondulado, de forma tabular. Amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Litologias do Grupo Ceará (Gnaisses, Xistos, Filitos).
UM36	Relevo forte ondulado e montanhoso de formas aguçadas. Amplitude altimétrica alta e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Afloramentos de Rocha com Neossolo Litólico. Litologias do Grupo Ceará (Gnaisses, Xistos, Filitos).

Fonte: elaborado pelo autor, com base em BRASIL (1981) e CEARÁ (1988).

A escala em que foram produzidas as bases cartográficas (1: 250.000) que deram origem ao mapa das unidades morfopedológicas em questão possibilitou uma compartimentação dessas unidades em nível intermediário (reconhecimento). Dessa forma, cada unidade morfopedológica é formada por uma classe ou associação de classes de solo que, em interação com as condições geomorfológicas e litológicas, conferem características próprias a cada unidade.

No setor da Depressão Sertaneja, onde se desenvolvem superfícies dissecadas em colinas com declividades entre 2% e 20%, os solos mais comuns são os Luvisolos associados aos Neossolos Litólicos e Planossolos. Nesse ambiente, a presença da atividade pecuária extensiva se faz sentir pela ocorrência de áreas com cobertura de vegetação herbácea destinada à alimentação dos rebanhos bovinos. A supressão da cobertura de caatinga arbustiva favorece a instalação de processos erosivos areolares como visto na Figura 17.

Figura 17: Área de pastagem natural degradada com susceptibilidade à erosão laminar – Município de Alto Santo (9400691 N / 0585988 E)



Fonte: O Autor.

Ainda na Depressão Sertaneja, em setores mais próximos às Serras de maior expressão espacial como a dos Bastiões, ocorrem associações de Argissolos com Afloramentos de Rocha, bem como com Neossolos Litólicos.

Embutidas na Depressão Sertaneja, em condições de declividade bem reduzidas (< 2%), são observadas ao longo do curso de alguns riachos e do rio Figueiredo pequenas áreas de planície fluvial. Esses setores apresentam diferenças quanto às associações de solos e às características de densidade de drenagem e dissecção. Este fato condicionou a definição de três unidades morfopedológicas: UM1, UM2 e UM3. As associações de solos verificadas são de Neossolos Flúvicos

com Planossolos ou Vertissolos. O uso nessas unidades se dá com cultura cíclica e pecuária, inclusive com capineiras (Figura 18).

Figura 18: Aspecto da planície fluvial do rio Figueiredo apresentando recobrimento de mata ciliar (a) e cultivo de capim destinado à alimentação de rebanho (b) – Município de Alto Santo

(a) 9400960 N / 0579074 E



(b) 9389380 N / 0580586 E



Fonte: O Autor.

Na porção Leste/Nordeste da Sub-bacia do Figueiredo, bem como em duas unidades isoladas posicionadas em meio à Depressão Sertaneja, ocorre a superfície de exumação da formação Açú. As condições litológicas associadas ao relevo plano a suave ondulado condicionam a ocorrência de associações de Argissolos Distróficos com Neossolos Regolíticos Distróficos. Nessa unidade morfoedológica, a presença de culturas perenes com cajueiros e carnaubais é predominante (Figura 19).

Nas Serras que compõem o Maciço do Pereiro, em relevo mais íngreme, com declividades superiores a 20% e em alguns casos superando 50%, os solos apresentam-se associados entre as classes de Argissolos e Neossolos Litólicos. Podem ocorrer também Afloramentos de Rocha nos setores de vertentes com maior inclinação.

Figura 19: Superfície de exumação da formação Açú apresentando cultivo de carnaúbas – Município de Potiretama (9369967 N / 0590083 E)



Fonte: O Autor.

Nesses compartimentos de relevo, a vegetação predominante é de caatinga arbórea com presença também de mata seca (Figura 20). O uso se dá pelas culturas cíclicas, notadamente feijão e milho, além da criação de pequenos rebanhos caprinos em regime extensivo com pastagem natural.

Em pequenas superfícies de relevo tabular com declividades inferiores a 2%, distribuídas irregularmente sobre o Maciço do Pereiro em altitudes médias superiores a 400m, ocorrem associações de Argissolos com Latossolos. Essas associações de solos apresentam clara relação entre as características de litologia (rochas do Grupo Ceará), relevo e condições climáticas (maior umidade). Nessas unidades são comuns as atividades voltadas ao cultivo de culturas cíclicas como feijão e milho.

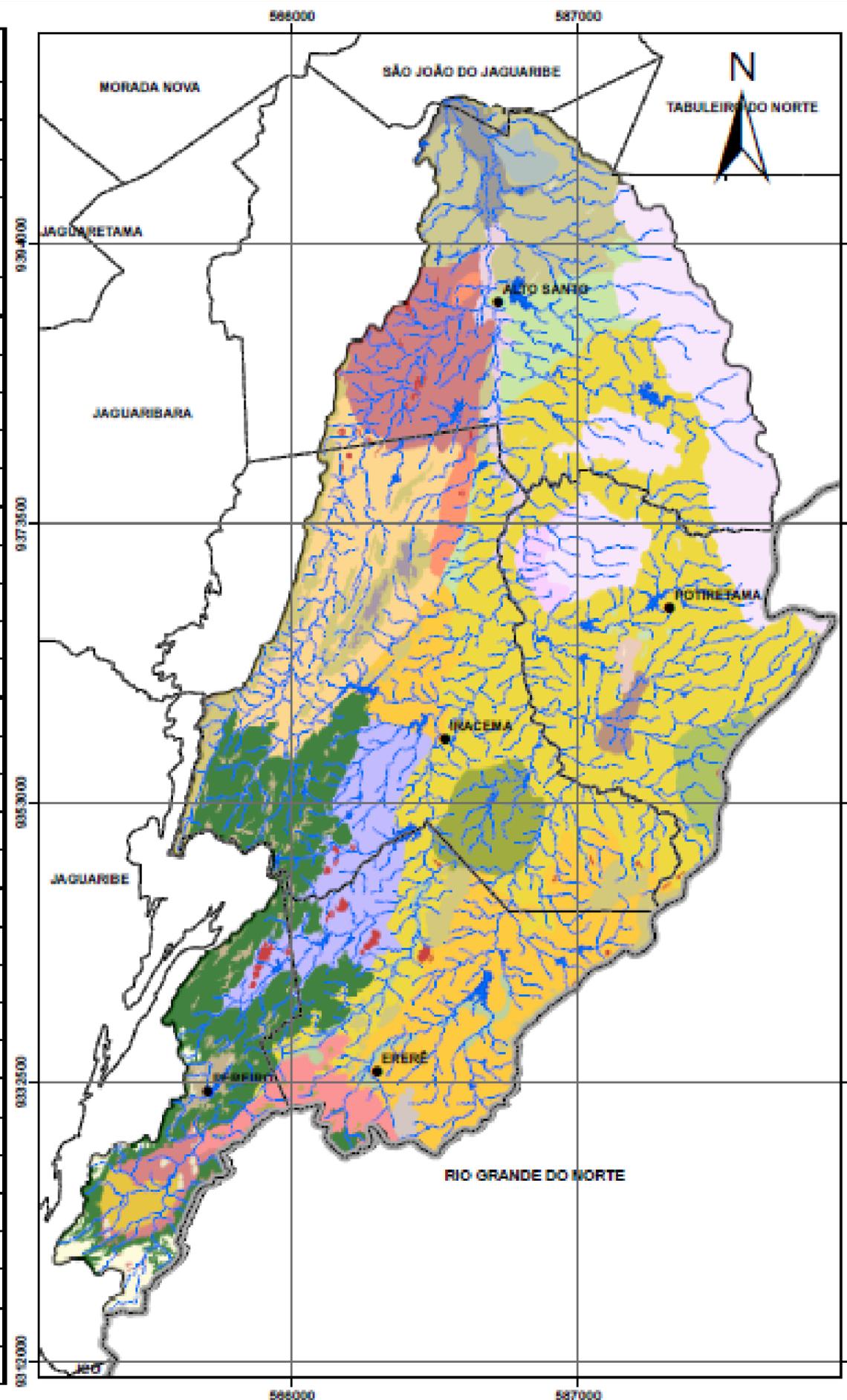
Figura 20: Superfície dissecada do Maciço do Pereiro apresentando relevo forte ondulado com associação de Argissolo + Neossolos Litólico – Município de Pereiro (9331146 N / 0560314 E)



Fonte: O Autor.

O Mapa 10 traz a distribuição espacial das unidades morfopedológicas bem como informações sobre suas respectivas dimensões espaciais. Percebe-se que há uma tendência de unidades morfopedológicas com maior extensão nos setores mais homogêneos do ponto de vista do relevo, como é o caso da Depressão Sertaneja. Nos setores onde o relevo apresenta-se mais movimentado, as unidades morfopedológicas apresentam menor dimensão espacial em função das variações bruscas de declividade.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	ASSOCIAÇÕES DE SOLOS	UNIDADES MORFOPEDEOLÓGICAS			
PLANÍCIE FLUVIAL	Neossolo Flúvico, Planossolo, Vertissolo	UM1			
		UM2			
		UM3			
CHAPADA DO APODI (superfície exumada da Formação Açú)	Argissolo, Regossolo	UM19			
DEPRESSÃO SERTANEJA	Neossolo Litólico, Planossolo, Luvissolo, Regossolo, Vertissolo, Afloramento de Rocha	UM4			
		UM5			
		UM6			
		UM10			
		UM23			
	Luvissolo, Argissolo, Neossolo Litólico, Afloramento de Rocha	UM11			
		UM16			
		UM18			
		UM22			
		UM7			
INSELBERGS E CRISTAS RESIDUAIS	Argissolo, Neossolo Litólico, Luvissolo, Afloramento de Rocha	UM8			
		UM24			
		UM25			
		UM28			
		UM29			
		UM33			
		UM34			
		UM35			
		PLANALTOS RESIDUAIS	Argissolo, Neossolo Litólico, Latosolo, Luvissolo, Afloramento de Rocha	UM8	
				UM9	
UM12					
UM14					
UM15					
UM17					
UM20					
UM21					
UM26					
UM27					
UM36					



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGPq
 Centro de Ciência e Tecnologia - OCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGE

MAPA 10 – UNIDADES MORFOPEDEOLÓGICAS

TÍTULO:
 VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

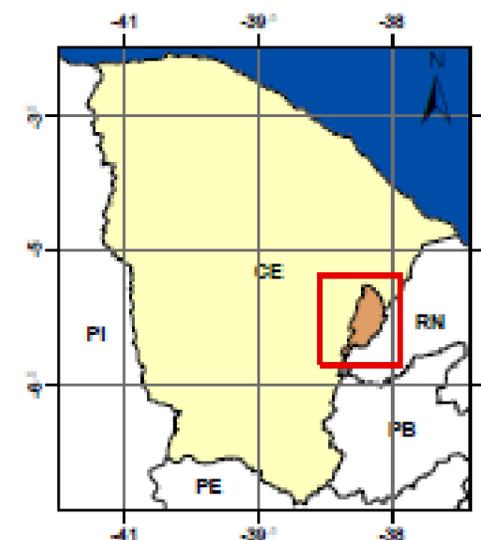
ESCALA: 1:350.000



Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

- | | |
|--------------------------------|--------------------|
| ELEMENTOS HIDROGRÁFICOS | LIMITES |
| Açude | Sedes Municipais |
| Drenagem | Limite Estadual |
| | Limites Municipais |
| | Área de Estudo |



FONTE: RADAM BRASIL ; CEARÁ (1986)
 ELABORAÇÃO: O AUTOR

6 VULNERABILIDADE À EROSÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO

6.1 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO POR FATOR CONTROLADOR

A vulnerabilidade à erosão na sub-bacia do rio Figueiredo foi determinada com base nas informações relativas aos temas: geologia, geomorfologia, clima, solo e uso e cobertura vegetal. Cada tema teve seus índices de vulnerabilidade atribuídos a partir de características que interferem de forma direta ou indireta na susceptibilidade ao processo intempérico e erosivo, conforme propugnado por Crepani *et al.* (2001).

Os valores de vulnerabilidade encontrados para cada tema foram ponderados e posteriormente atribuídos às unidades morfopedológicas por meio de cálculo de média zonal.

6.1.1 Vulnerabilidade do fator geologia

Os aspectos da geologia fundantes no cálculo da vulnerabilidade à erosão foram os relativos às características litológicas, mais precisamente ao grau de coesão das rochas. É esta característica que mais influencia na vulnerabilidade da geologia aos processos erosivos, visto serem as rochas mais coesas formadas por minerais que apresentam ligações mais intensas e conseqüentemente mais difíceis de serem rompidas.

Com base nas informações obtidas em BRASIL (1981), foram determinadas as unidades geológicas presentes na sub-bacia do rio Figueiredo, bem como suas respectivas litologias, a partir das quais foram definidos os valores de vulnerabilidade tendo por referência a classificação proposta por Crepani *et al.* (2001).

Os valores de vulnerabilidade à erosão encontrados na sub-bacia do Figueiredo apresentam forte variação espacial em função das diferenças litológicas presentes na área (Tabela 2).

Os setores formados por rochas magmáticas ou metamórficas apresentam, do ponto de vista geológico, maior resistência aos processos meteóricos devido à maior coesão dos minerais constituintes. Em função disto, a vulnerabilidade varia de estável (1,1) em setores formados por rochas da Suíte Magmática, a medianamente estável (1,8) em setores constituídos por rochas do Grupo Ceará.

Tabela 2: Valores de vulnerabilidade à erosão da geologia na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

Unidade Geológica	Litologia	Vulnerabilidade
Aluviões	Areias finas a grosseiras, cascalhos inconsolidados e argilas.	3,0
Formação Açú	Arenitos, conglomeráticos e caulínicos, com intercalações de folhelhos e siltitos.	2,6
Formação Serra do Martins	Arenitos caulínicos, arenitos ferruginosos, lateritas.	2,4
Grupo Ceará	Xistos, filitos e gnaisses.	1,8
Dioritos	Dioritos grosseiros.	1,5
Complexo Nordeste	Migmatitos homogêneos e heterogêneos, gnaisses variados.	1,3
Suíte Mágmatca	Granitos finos a grosseiros.	1,1

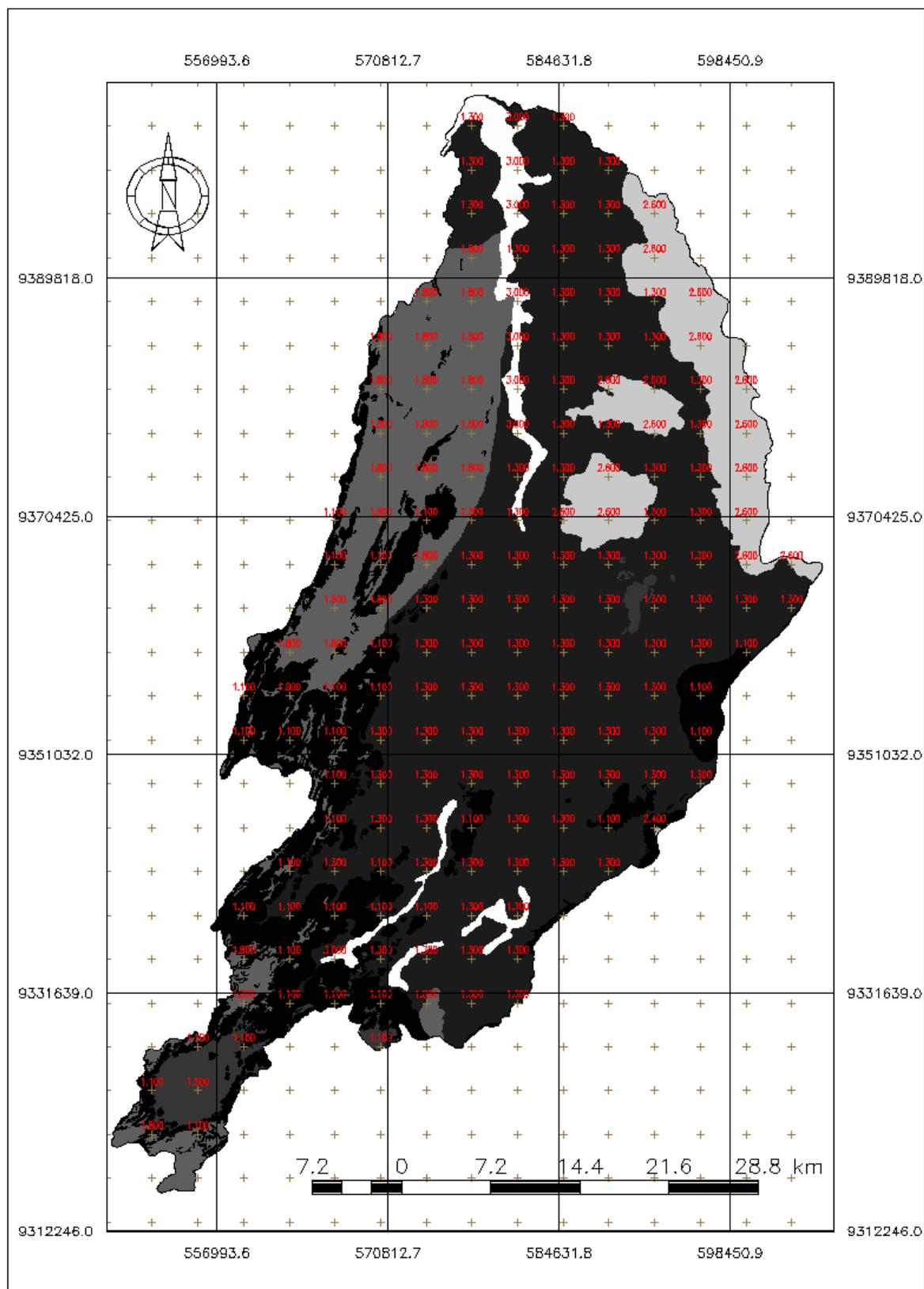
Fonte: elaborado pelo autor.

Os setores de maior vulnerabilidade à erosão estão associados às litologias mais tenras representadas por rochas sedimentares, como na Formação Serra do Martins e na Formação Açú, ou em áreas de sedimentos inconsolidados, como nos Aluviões. Nessas litologias há uma maior susceptibilidade das rochas à ação dos agentes erosivos, notadamente os pluviais e fluviais, em função das fracas ligações constituídas entre os minerais que as compõem.

Em outros termos, pode-se dizer que a Formação Serra do Martins, a Formação Açú e as Aluviões apresentam elevada vulnerabilidade, pois estão enquadradas entre as classes moderadamente vulnerável a vulnerável.

Os valores de vulnerabilidade da geologia, determinados com base nas características litológicas da sub-bacia do rio Figueiredo, foram assim ponderados e se encontram representados na Figura 21.

Figura 21: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da geologia na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

6.1.2 Vulnerabilidade do fator geomorfologia

O fator geomorfologia teve como elementos de análise na consideração da vulnerabilidade à erosão as informações de amplitude altimétrica, amplitude interfluvial e declividade.

Os índices de vulnerabilidade tendem a crescer na razão direta da amplitude altimétrica e da declividade, e na razão inversa da amplitude interfluvial. Uma maior amplitude altimétrica e maior declividade levam ao aumento do escoamento superficial (componente horizontal), enquanto uma maior amplitude interfluvial indica menor dissecação do relevo e maior estabilidade das vertentes.

A partir das informações obtidas no mapa de geomorfologia folha SB24/25 do projeto RADAMBRASIL (BRASIL,1981), foram determinadas as vulnerabilidades para os temas amplitude altimétrica e amplitude interfluvial (Tabela 3). Os maiores índices morfométricos e conseqüentemente maiores vulnerabilidades foram observados nos setores referentes aos Planaltos residuais, cristas e *inselbergs*, notadamente nas porções mais aguçadas destes relevos. As áreas representadas pela planície fluvial e superfície de exumação da Formação Açu obtiveram os valores mais reduzidos de vulnerabilidade em função dos baixos índices morfométricos observados.

Tabela 3: Vulnerabilidade à erosão para as variáveis geomorfológicas: amplitude altimétrica e amplitude interfluvial

Unidade geomorfológica	Formas de relevo	Amplitudes	
		Altimétrica/ interfluvial	
		Índice morfométrico	vulnerabilidade
Planície fluvial	Apf	-	1,0 / 1,0
Depressão Sertaneja	Convexas (c)	1 5	1,0 / 3,0
Superfície de exumação da Formação Açu	Tabulares (t)	1 2	1,0 / 1,5
Planaltos residuais, cristas e <i>inselbergs</i>	Aguçadas (a)	2 4	1,5 / 2,5
		3 4	2,0 / 2,5
		4 5	2,5 / 3,0
	Tabulares (t)	1 3	1,0 / 2,0

Fonte: elaborado pelo autor.

Para a variável declividade (Tabela 4), foi calculada a vulnerabilidade média com base nas informações geradas a partir de grade retangular obtida com emprego de imagens SRTM.

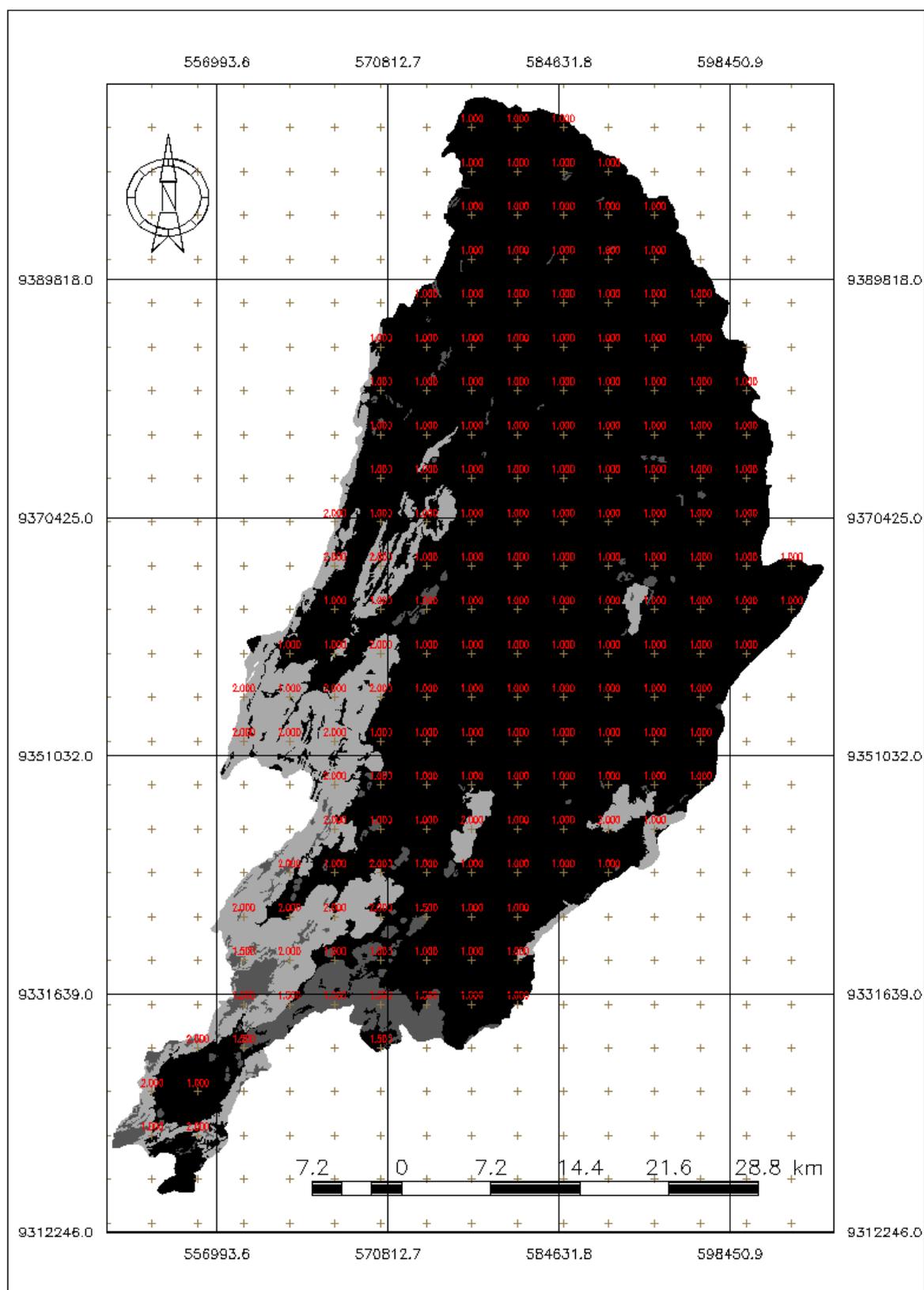
Tabela 4: Vulnerabilidade à erosão para variável geomorfológica: declividade

Unidade geomorfológica	Formas de relevo	vulnerabilidade média
Planície fluvial	Apf	1,183
Depressão Sertaneja	Convexas (c)	1,482
Superfície de exumação da Formação Açú	Tabulares (t)	1,407
Planaltos residuais, cristas e <i>inselbergs</i>	Aguçadas (a)	2,286 – 3,0
	Tabulares (t)	1,508 – 1,765

Fonte: elaborado pelo autor.

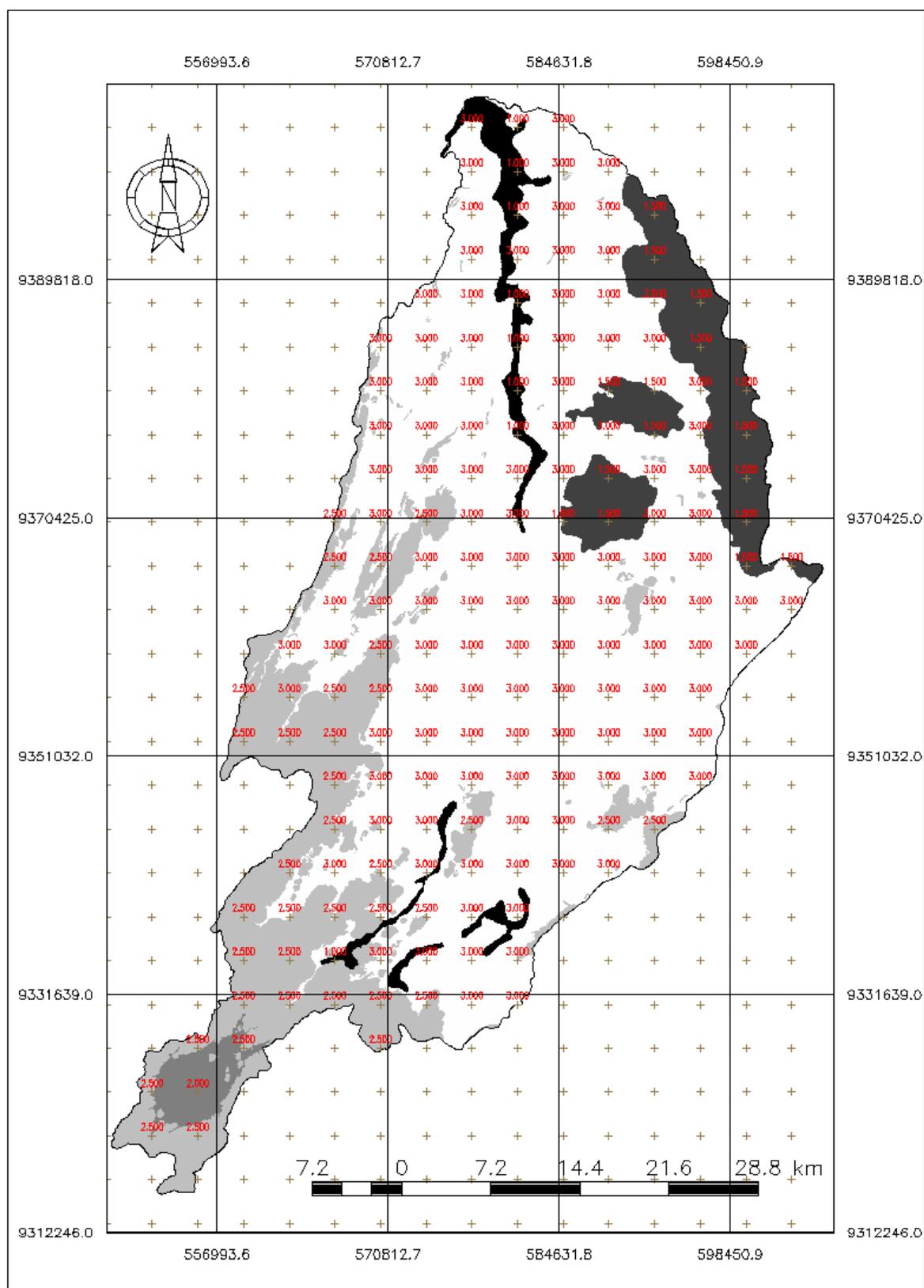
Os dados foram espacializados conforme apresentado nas bases ponderadas (Figuras 22, 23 e 24). De posse dessas informações, foi calculada a vulnerabilidade para o tema geomorfologia, correspondendo esta à média entre as três variáveis consideradas.

Figura 22: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da amplitude altimétrica na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 23: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da amplitude interfluvial na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

Os maiores valores de vulnerabilidade à erosão para o tema geomorfologia estão situados na Serra do Pereiro, Serra dos Bastiões, Serra Vermelha e demais superfícies íngremes, como as cristas residuais e *inselbergs* (Figura 25). Nesses setores as formas aguçadas foram classificadas como de medianamente vulnerável a vulnerável.

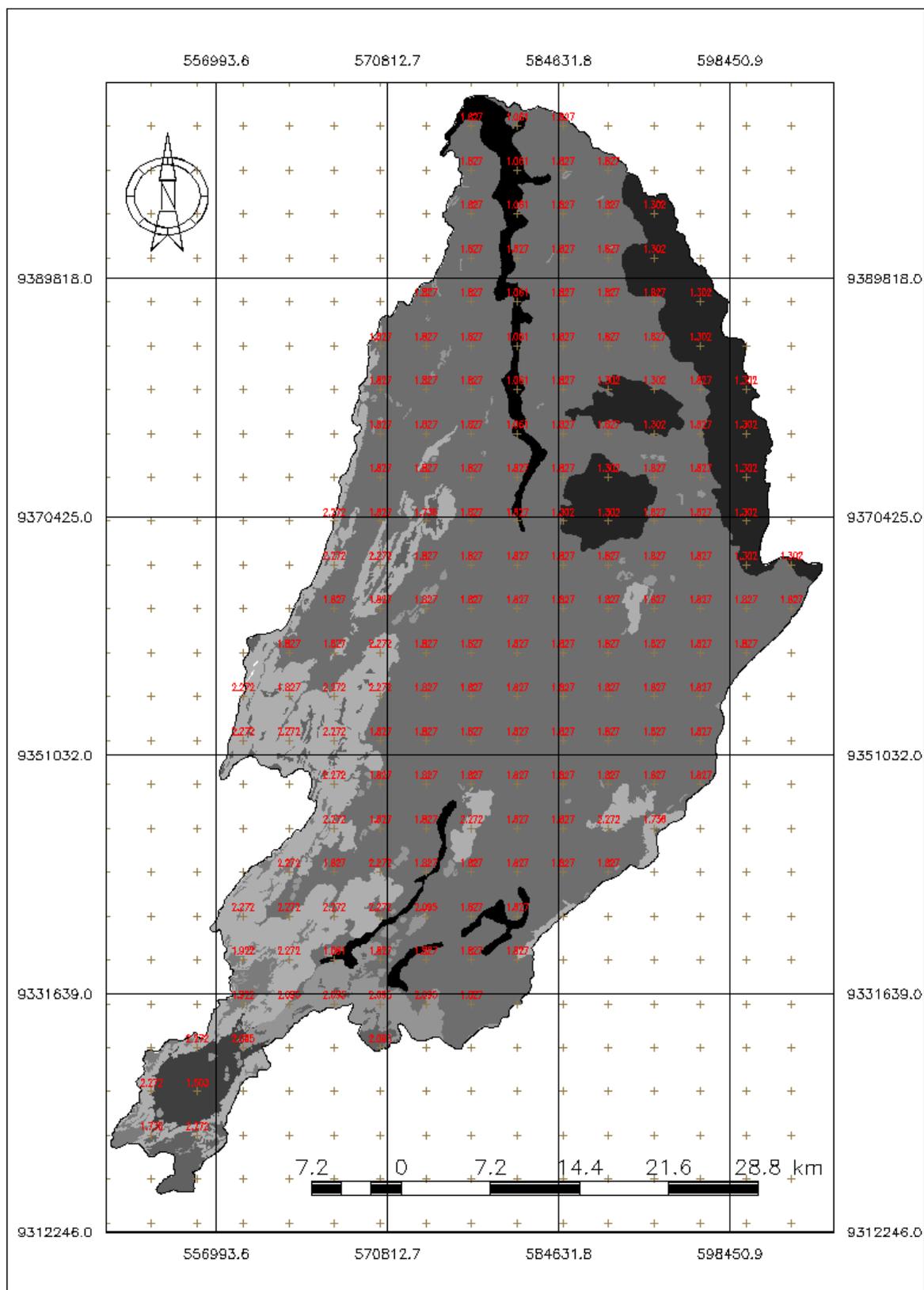
Dispersos nas Serras do Pereiro e Bastiões encontram-se superfícies correspondentes aos topos aplainados e pedimentos embutidos, cujos valores de vulnerabilidade (1,7 e 1,8) mostram-se inferiores aos de entorno, correspondendo às subclasses moderadamente estável³ e medianamente estável respectivamente.

No setor da Depressão Sertaneja, os pediplanos dissecados, ganhando contornos de suaves colinas, se apresentam classificados como medianamente estável/vulnerável, estando inseridos mais precisamente na subclasse medianamente estável (aproximadamente 1,8).

Nas superfícies de exumação da formação Açú, as características de amplitude altimétrica muito baixa, declividade baixa e grande amplitude interfluvial se reverteram em valores de vulnerabilidade aproximados da ordem de 1,3. Estas superfícies foram enquadradas como da subclasse estável³ (classe estável).

Nos setores de planície fluvial, onde predominam condições de baixa declividade, pequena dissecção e pequena amplitude altimétrica, os valores encontrados para a vulnerabilidade da geomorfologia foram de aproximadamente 1,0. Assim, as planícies fluviais foram enquadradas na subclasse estável¹ (classe estável).

Figura 25: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão da geomorfologia na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

6.1.3 Vulnerabilidade do fator clima

As características de quantidade de precipitação e sua distribuição ao longo do ano foram os elementos considerados na determinação da vulnerabilidade à erosão para o tema clima na sub-bacia do rio Figueiredo.

Foram identificadas três faixas de intensidade pluviométrica, para as quais foram atribuídos os índices de vulnerabilidade à erosão (Tabela 5) conforme proposição de Crepani *et al.* (2001). Esses valores de vulnerabilidade foram ponderados conforme apresentado na Figura 26.

Tabela 5: Vulnerabilidade à erosão para o tema clima na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

Altitude (m)	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade à erosão
<200	125 -150	1,4
200 – 400	150 - 175	1,5
>400	175 - 200	1,6

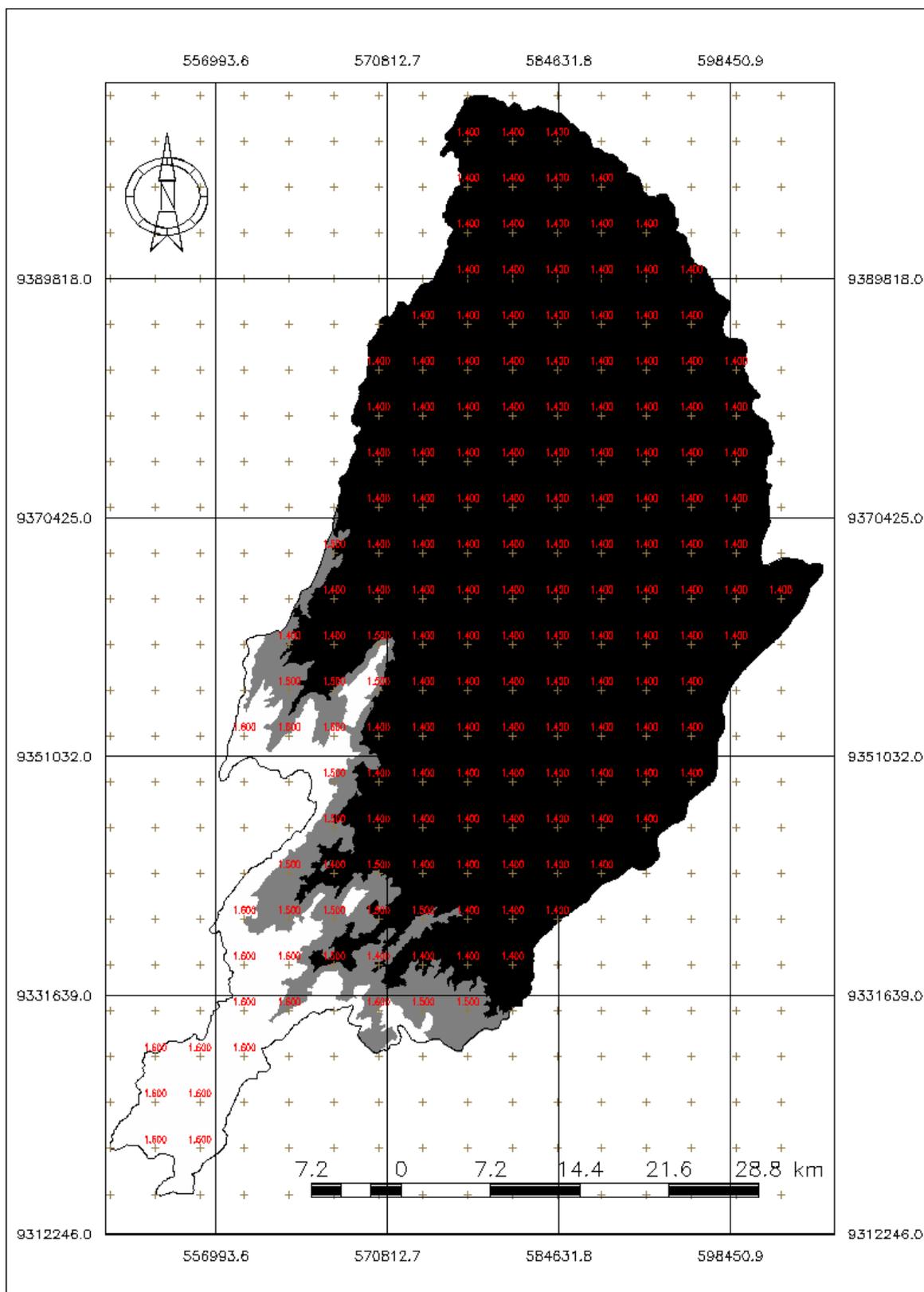
Fonte: elaborado pelo autor.

Os maiores valores de vulnerabilidade à erosão para o tema clima foram encontrados nas áreas de maior altimetria, onde as taxas pluviométricas anuais são mais elevadas. Essa maior pluviosidade é influenciada pela orografia local representada pelo Maciço do Pereiro, com altitudes médias em torno de 600m.

Nos setores de altimetria intermediária, correspondentes às porções mais baixas do Maciço do Pereiro, com faixa altimétrica entre 200 e 400m, as condições de pluviometria sofrem redução, pois não se verificam com a mesma intensidade os efeitos condicionantes da orografia na dinâmica climática local. Daí os valores de vulnerabilidade ligeiramente inferiores aos observados nos setores mais elevados.

Nas superfícies de menor altimetria, formadas notadamente pela Depressão Sertaneja e planícies fluviais, foram observadas as menores médias pluviométricas, que, consideradas ao longo dos meses de referência (meses com pluviometria superior a 50 mm), condicionaram menor intensidade pluviométrica e, conseqüentemente, menor vulnerabilidade à erosão.

Figura 26: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do clima na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

6.1.4 Vulnerabilidade do fator solo

Em um estudo de vulnerabilidade à erosão, o solo representa o objeto por excelência. É o solo, ou por vezes o regolito, o material a ser mobilizado pelos agentes erosivos, sejam estes eólicos, fluviais ou pluviais.

Na sub-bacia do rio Figueiredo, as classes de solo, consideradas aqui em suas associações, formam uma miscelânea que se refletiu em um grande número de unidades morfopedológicas.

Partindo-se de informações levantadas com base no mapeamento dos solos do Estado do Ceará (CEARÁ, 1988), foi definida a vulnerabilidade do tema solo para a sub-bacia do rio Figueiredo (tabela 6), tendo como referência os valores propugnados por Crepani *et al.* (2001).

**Tabela 6: Vulnerabilidade à erosão para o tema solo
na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo**

Associação de solos (SEAGRI,1988)	Classes de solos	Vulnerabilidade
PE7	PE	2,0
PE45	PE + LVd	1,7
PE56	PE + Re	2,3
PE73	PE + AR	2,3
PE92	PE + PE + Re	2,1
PE103	PE + PE + Re	2,1
PVd9	PVd + REd	2,3
LVe3	LVe + AR	1,6
LAd3	LAd	1,0
NC1	NC	2,0
NC43	NC + Re + PL	2,3
Re11	Re	3,0
Re38	Re + NC	2,7
Re40	Re + AR	3,0
Re47	Re + PE	2,7
Re48	Re + AR	3,0
Re58	Re + PE + AR	2,7
Ae12	Ae + PLS	2,7
Ae16	Ae + SS	3,0
Ae18	Ae + V + PLS	2,9
REe3	REe	3,0
SS4	SS + REe	3,0
V11	V	3,0
AR2	AR + Ae	3,0

Fonte: elaborado pelo autor.

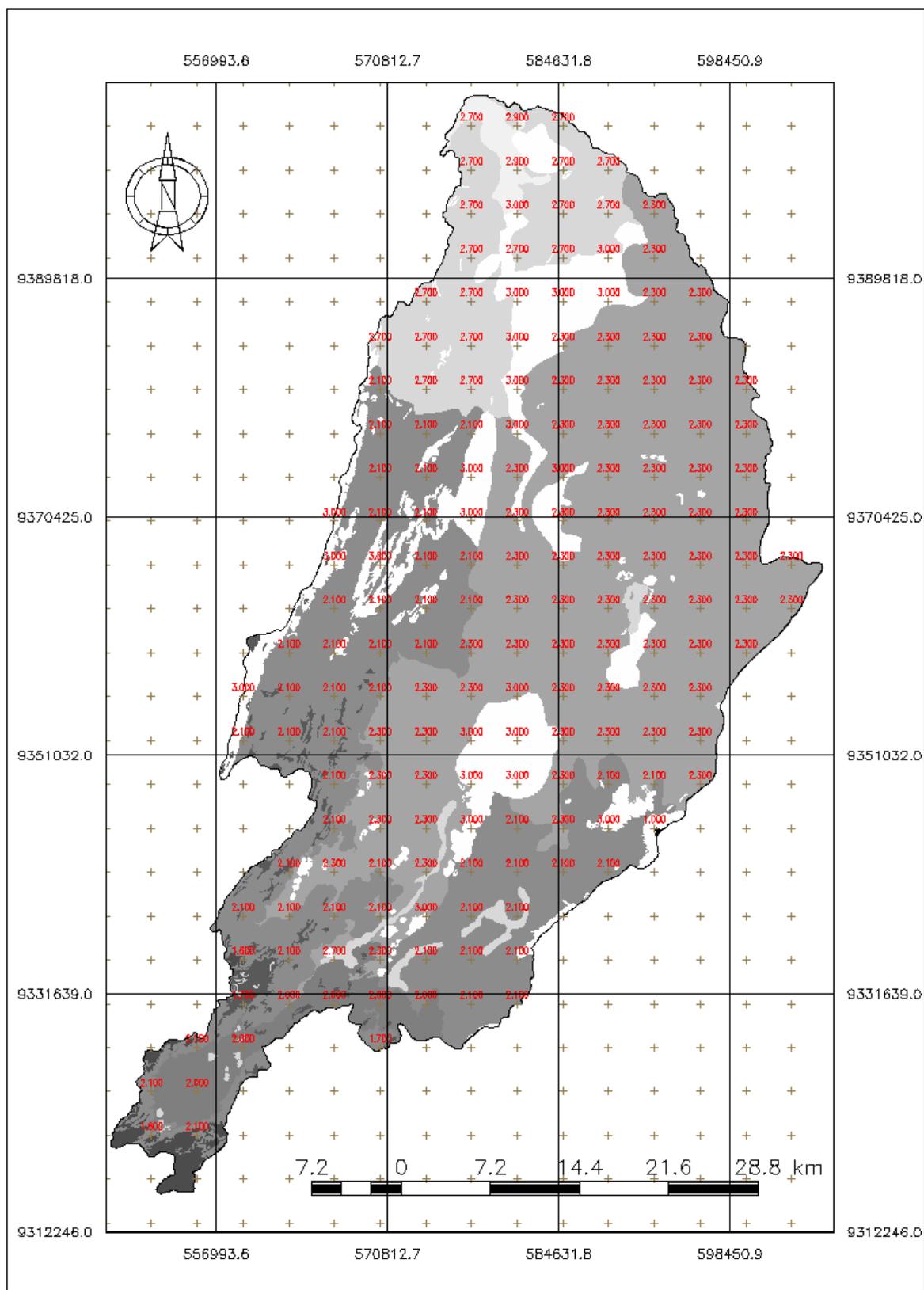
A determinação da vulnerabilidade para as associações de solos foi feita com base em média ponderada, tendo o primeiro componente da associação o peso 6, e para o segundo e terceiro componentes os pesos 3 e 1, respectivamente. Para os casos em que o mapeamento identificou duas classes de solos, a ponderação conferiu peso 7 para o primeiro componente e 3 para o segundo. Nos casos em que o mapeamento identificou apenas uma classe de solo, o valor da vulnerabilidade não necessitou de ponderação.

Observando os resultados apresentados na Tabela 5, verifica-se que os solos da sub-bacia do rio Figueiredo apresentam, em sua maioria, vulnerabilidade de média a alta. Somente em três associações foram encontrados valores de vulnerabilidade inferiores a 2,0. As associações PE45, LVe3, LAd3 com vulnerabilidade de 1,7; 1,6 e 1,0 respectivamente, apresentam latossolos em sua constituição, seja como primeiro, segundo ou até único componente. Este fato foi responsável pela redução nos valores de vulnerabilidade dessas associações.

A exemplo dos valores de vulnerabilidade da geologia, da geomorfologia e do clima, os valores de vulnerabilidade do fator solo, calculados para a sub-bacia do Rio Figueiredo, foram ponderados (Figura 27) e compuseram a base de informações para a determinação da vulnerabilidade potencial.

Os maiores valores de vulnerabilidade para o tema solo estão localizados principalmente nos setores da Depressão Sertaneja, Planícies fluviais, Superfície de exumação da Formação Açú e em setores de fortes declives dos maciços residuais, cristas e *inselbergs*. A ocorrência de Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Regolíticos e Vertissolos, além de Afloramentos de Rocha, favoreceram fortemente os elevados valores de vulnerabilidade nesses setores, visto serem solos muito susceptíveis à erosão.

Figura 27: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão das associações de solos na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

Dentre as vinte e quatro associações de solos presentes na sub-bacia do Figueiredo, treze estão na classe vulnerável com valores entre 2,7 e 3,0. Dentre estas associações, nove estão distribuídas entre a Depressão Sertaneja e as Planícies Fluviais. Este fato é relevante na medida em que estas áreas constituem-se em superfícies recobertas por caatinga arbustiva e são historicamente exploradas economicamente por atividades de agricultura de subsistência e pecuária extensiva. Estas atividades econômicas, caracterizadas pelo baixo nível tecnológico empregado, potencializam as condições de vulnerabilidade acima mencionadas. Os estudos realizados por FUNCEME (2009) apontam claramente nesse caminho, detectando nesses ambientes os maiores níveis de degradação ambiental e susceptibilidade aos processos de desertificação.

6.1.5 Vulnerabilidade do fator uso e cobertura vegetal

As formas de cobertura vegetal e de uso do solo na sub-bacia do Rio Figueiredo foram mapeadas em três períodos (1989, 2000 e 2011), a partir de dados de imagens do satélite LANDSAT-TM 5, bandas 5,4,3 RGB.

A chave de interpretação, elaborada com base na capacidade de resolução das imagens e considerando as principais formas de cobertura vegetal e uso do solo para a região, permitiu a identificação de treze classes de uso e cobertura (Tabela 7).

Tabela 7: Classes de cobertura vegetal e uso do solo e seus valores de vulnerabilidade à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

CLASSES DE USO/COBERTURA	VULNERABILIDADE
Mata Seca	1,6
Caatinga Arbórea densa	1,7
Caatinga Arbórea aberta	2,1
Caatinga Arbustiva densa	2,3
Caatinga Arbustiva aberta	2,5
Mata Ciliar	2,5
Cultura permanente	2,9
Cultura temporária	3,0
Pastagem	2,8
Solo exposto	3,0
Água	0,0
Urbano	0,0
Nuvem	0,0

Fonte: elaborado pelo autor.

As formas de uso do solo e cobertura vegetal na sub-bacia do rio Figueiredo apresentaram variações espaciais ao longo dos períodos considerados. As mudanças eram esperadas, visto tratar-se de um intervalo de 22 anos em ambiente sujeito a fortes variações pluviométricas, fatos que ainda condicionam a forma e intensidade da atividade econômica primária local e regional, resultado da fragilidade tecnológica instalada.

As variações espaciais das formas de uso do solo e cobertura vegetal promoveram variações espaciais na vulnerabilidade à erosão. Assim, para cada período observado, tem-se valores de vulnerabilidade diferentes quando da ocorrência de mudanças nas tipologias de uso e cobertura sobre a mesma área.

Como explicado no item Método e Procedimentos Técnico-Operacionais, as informações referentes às áreas urbanas, nuvens e água foram consideradas de valor zero. Justifica-se tal medida em função da inadequação da proposta de método para as situações peculiares apresentadas por estes elementos. No caso de ocorrência de nuvens, há uma impossibilidade de identificação das tipologias de uso e cobertura vegetal. Quanto às áreas urbanas, faz-se necessária a adoção de estudos em escala compatível. Os espelhos d'água sofrem modificação dos processos erosivos em função da impossibilidade da ação do escoamento superficial e do efeito *splash*.

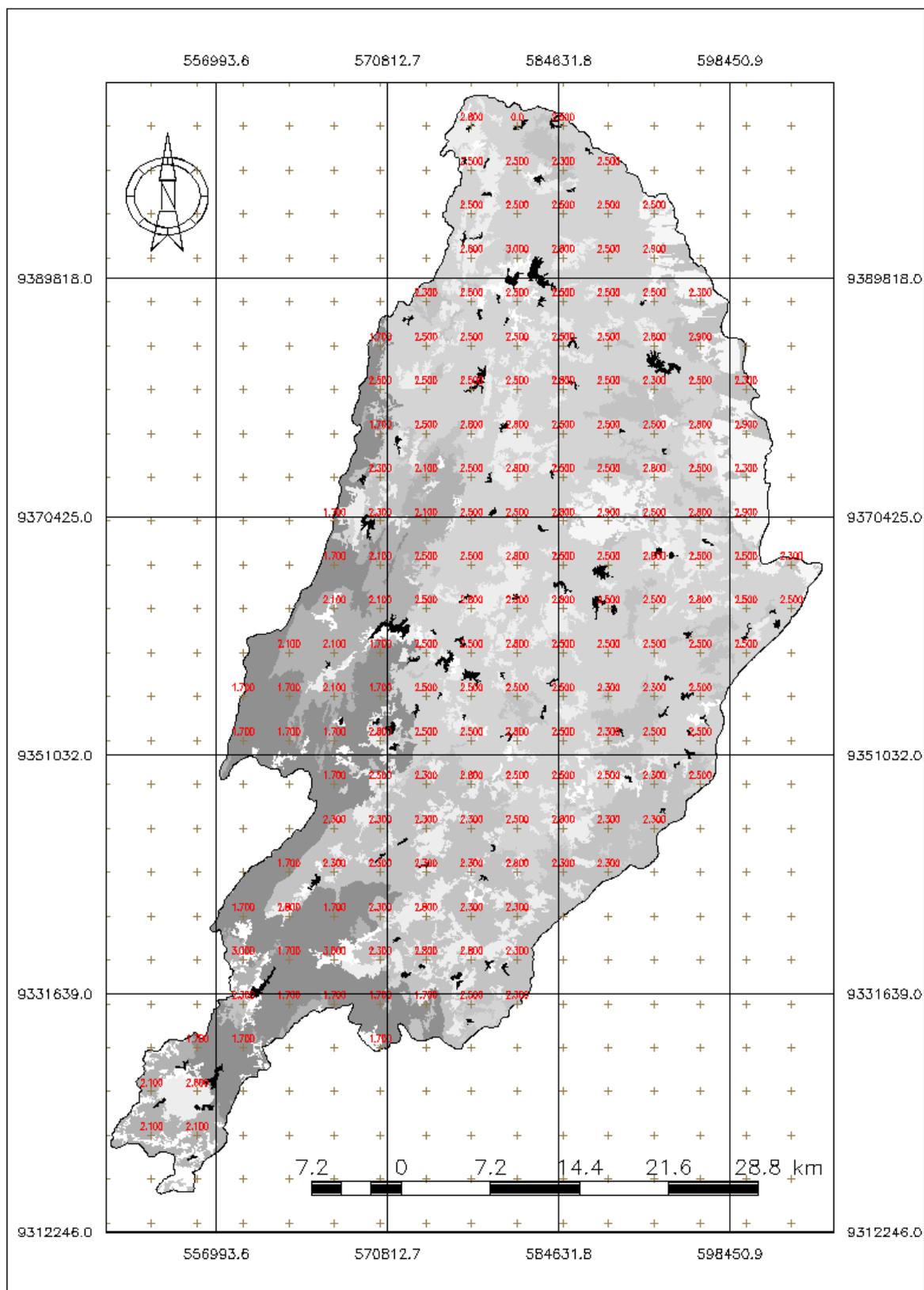
Tendo em vista tratar-se de uma sub-bacia hidrográfica localizada em região semiárida, era esperada a predominância de valores elevados de vulnerabilidade para o uso e cobertura vegetal. Tais expectativas se confirmaram, tendo a sub-bacia do Figueiredo apresentado grande extensão de sua superfície classificada com valores de vulnerabilidade superiores a 2,0. A ponderação das informações sobre vulnerabilidade do uso e cobertura vegetal está representada nas Figuras 28, 29 e 30.

Os altos valores de vulnerabilidade são encontrados extensivamente na Depressão Sertaneja, nas Planícies Fluviais e nas superfícies de exumação da Formação Açú, bem como nos *inselbergs* e cristas residuais. Justifica-se tal fato por serem esses setores recobertos naturalmente por vegetação arbustiva e herbácea, pouco densa (caatinga arbustiva), além da forte presença de atividades econômicas baseadas na agricultura e pecuária extensiva.

O Maciço do Pereiro apresenta uma menor vulnerabilidade quando observado em sua cobertura vegetal característica (caatinga arbórea densa). Em setores mais pontuais, onde se verificam usos com agricultura e pecuária, os valores de vulnerabilidade são expressivos.

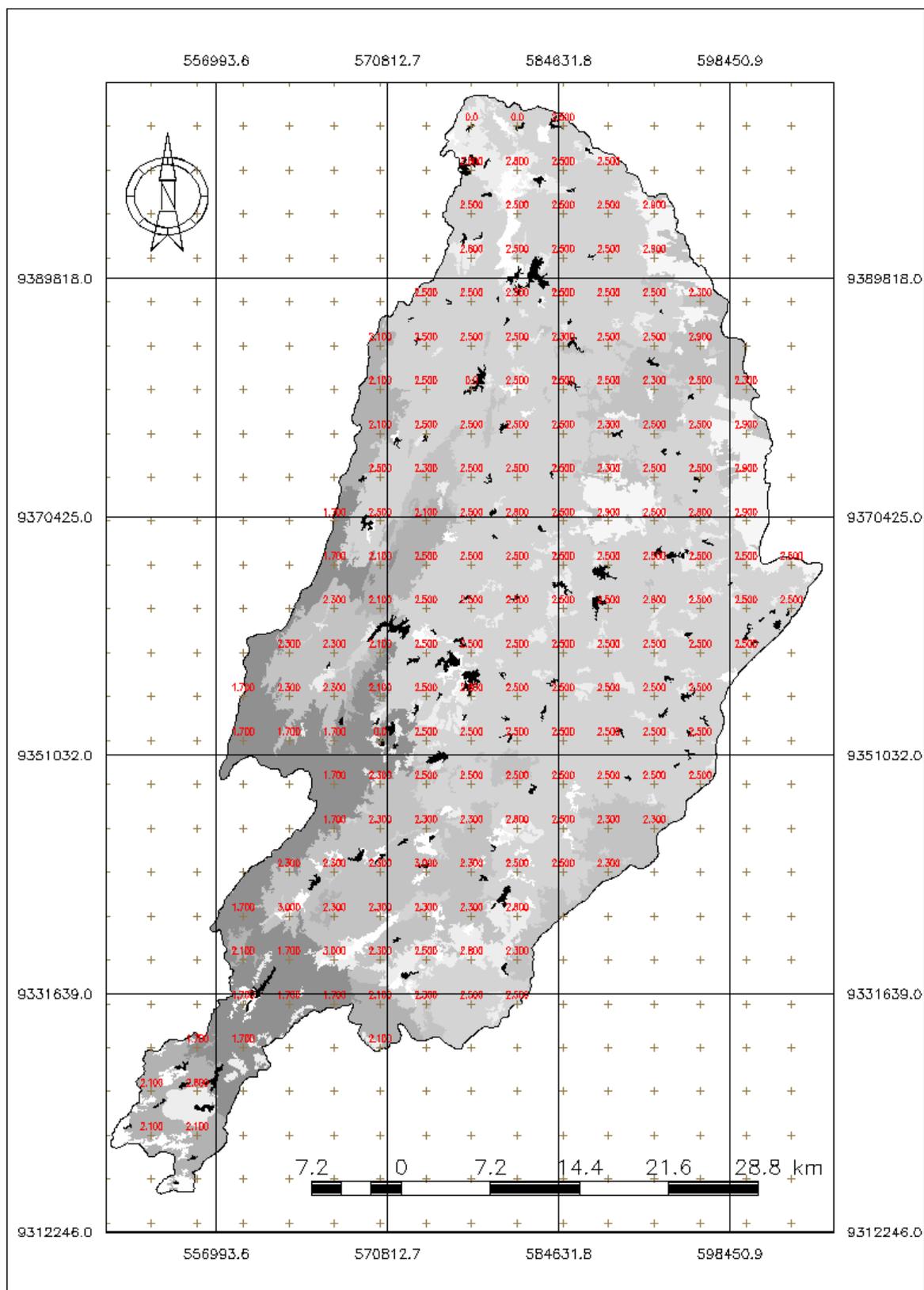
Quando considerados os dados temporais, verifica-se claramente o aumento da vulnerabilidade em direção às serras que compõem o Maciço do Pereiro, fato que resulta da pressão exercida pela sociedade humana sobre os recursos naturais, notadamente a vegetação.

Figura 28: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do uso e cobertura vegetal para o ano de 1989 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



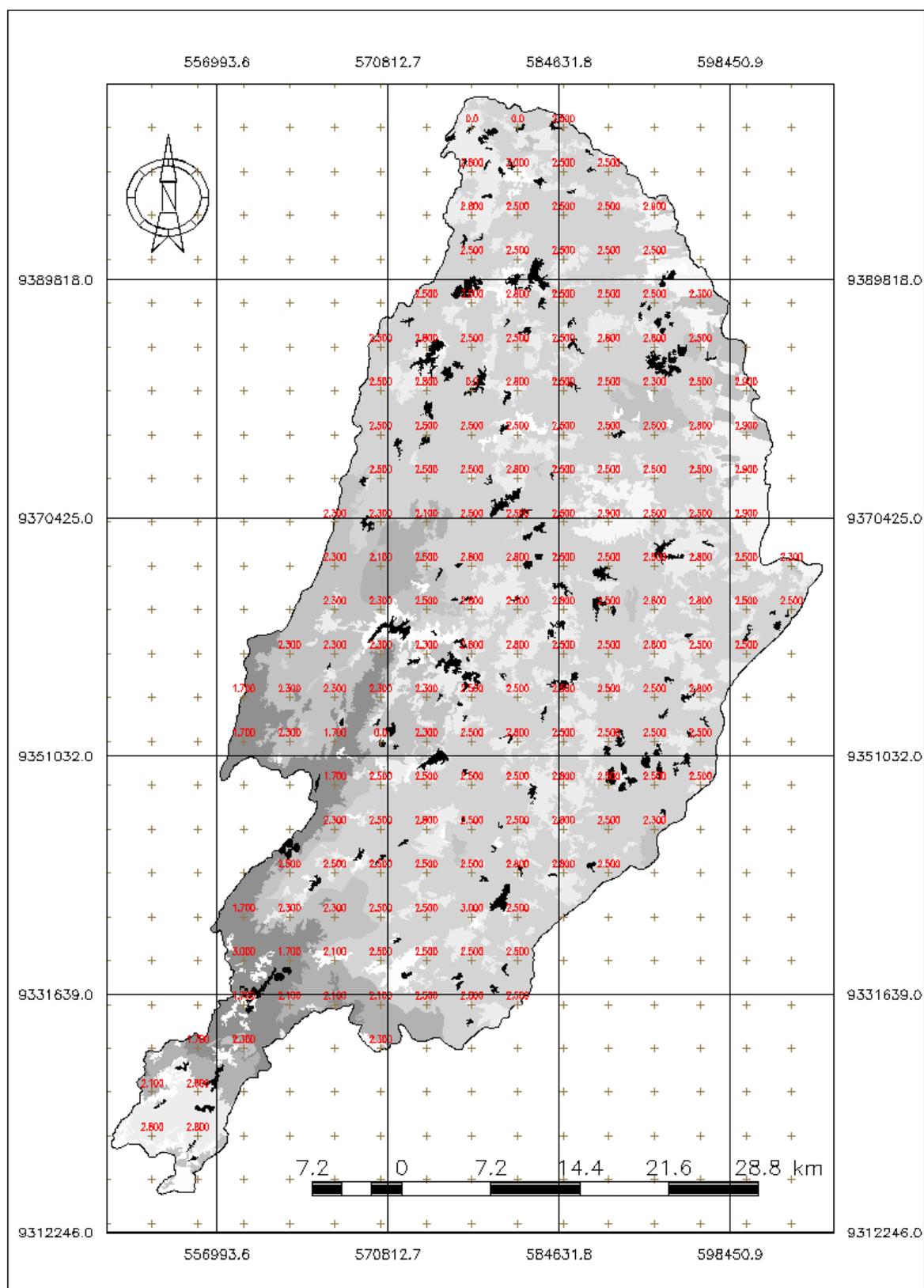
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 29: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do uso e cobertura vegetal para o ano de 2000 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 30: Ponderação dos valores de vulnerabilidade à erosão do uso e cobertura vegetal para o ano de 2011 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

6.2 VULNERABILIDADE POTENCIAL E EFETIVA À EROSÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO

6.2.1 Vulnerabilidade potencial à erosão (Vp)

A sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo apresenta condições de vulnerabilidade potencial (Vp) que variam de moderadamente estável a moderadamente vulnerável. A Vp apresenta uma distribuição espacial que reflete as características dos fatores condicionantes (geologia, geomorfologia, clima e solo).

Observando o Mapa 11, percebe-se um extenso setor classificado como moderadamente estável, que se estende desde o Maciço do Pereiro, prolongando-se por grande parte da Depressão Sertaneja. Nessa área, ocorrem distintas unidades morfopedológicas, com características bastante variadas quanto à geomorfologia e às associações de solos.

Nos setores referentes ao Maciço do Pereiro, a estabilidade moderada está condicionada principalmente aos solos, com a presença extensiva de Argissolos e, em setores mais planos, de Latossolos. Estes solos apresentam características de maturidade compatíveis com ambientes com tendência à estabilidade, onde há predominância da pedogênese sobre a morfogênese. As características físicas dos Latossolos e Argissolos, principalmente quanto à drenagem e profundidade, favorecem a componente vertical e a ocorrência de ambientes de maior estabilidade.

Quanto aos setores da Depressão Sertaneja, onde a estabilidade também se apresenta moderada, as condições de relevo (plano a suave ondulado), a litologia (gnaisses e granitos) e a intensidade pluviométrica subjugarão a elevada vulnerabilidade apresentada pela associação de solos composta por Luvisolo Crômico associado à Planossolo e Neossolo Litólico.

A ocorrência de Neossolo Litólico associado a Afloramento de Rocha, em relevos íngremes das cristas residuais e *inselbergs*, condiciona uma maior vulnerabilidade. Em decorrência das condições de baixa vulnerabilidade da litologia representada por gnaisses, granitos e por vezes quartzitos, esses setores classificam-se como medianamente estável/vulnerável.



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGPq
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGeo

MAPA 11 - VULNERABILIDADE POTENCIAL.
 TÍTULO:
 VULNERABILIDADE À EROÇÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

ESCALA: 1:350.000



Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

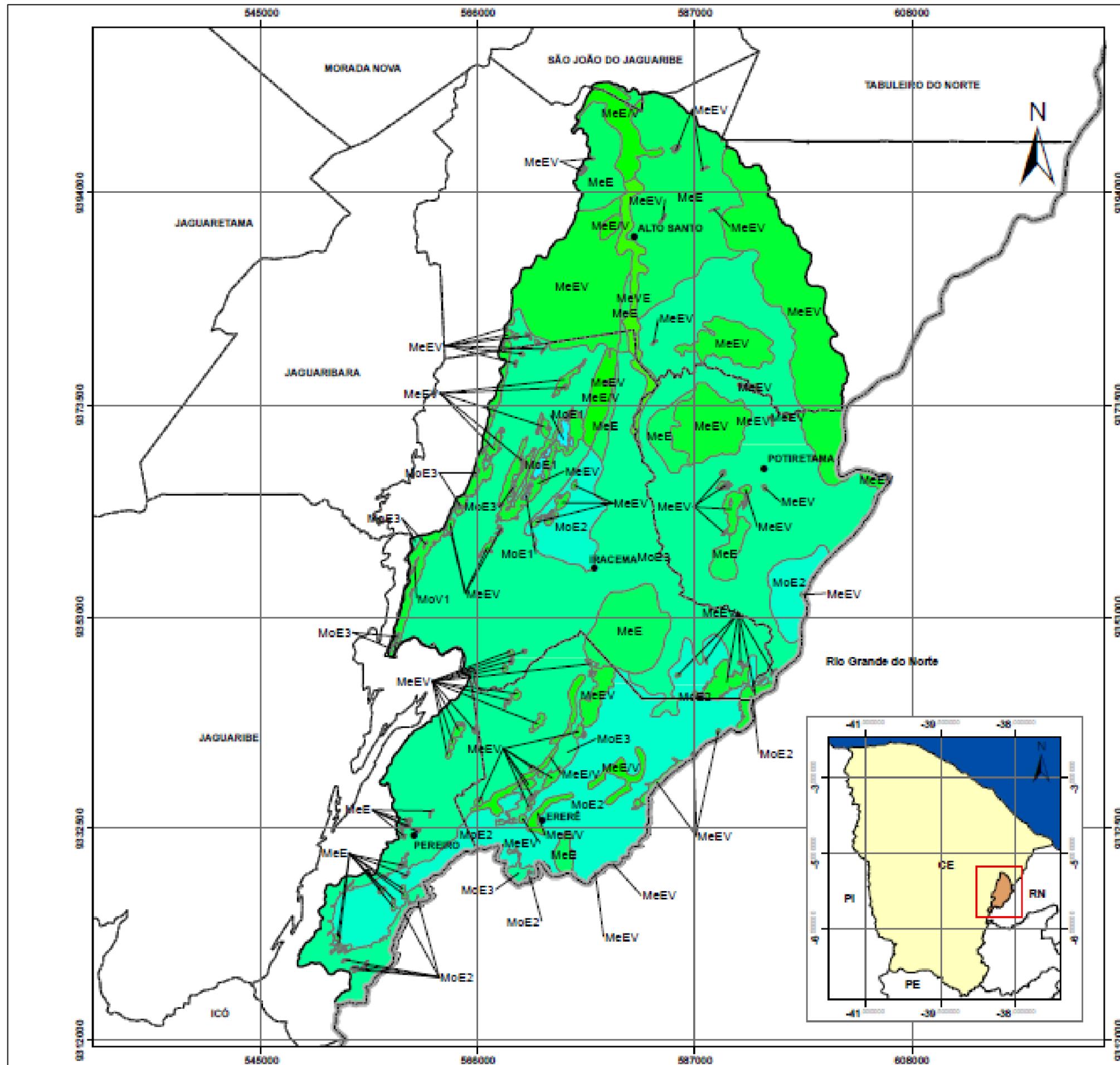
LIMITES

- Sedes Municipais
- Limites Estaduais
- Limites Municipais
- Área de Estudo

LEGENDA

MoV1	↑ VULNERABILIDADE ↓ ESTABILIDADE	Moderadamente Vulnerável 1
MeVE		Mediamente Vulnerável Estável
MeEV		Mediamente Estável e ou Vulnerável
MeEV		Mediamente Estável Vulnerável
MeE		Mediamente Estável
MoE3		Moderadamente Estável 3
MoE2		Moderadamente Estável 2
MoE1	Moderadamente Estável 1	

FONTE: O AUTOR



A condição de estabilidade/vulnerabilidade ocorre ainda em outros setores, havendo variações quanto à subclasse em que os mesmos se enquadram. Nesse sentido, percebe-se uma extensa área na porção que abrange o baixo curso do Rio Figueiredo, formada pelas unidades morfopedológicas UM1, UM2, UM5, UM6, UM30, UM31, em que as condições de vulnerabilidade potencial são fortemente influenciadas pelas características das associações de solos. O relevo plano a suave ondulado confere condição de baixa a média vulnerabilidade. Entretanto, o predomínio dos Neossolos Litólicos, associados por vezes a Luvisolos Crômicos ou a Afloramento de Rocha favorece o aumento da vulnerabilidade. Também se enquadra nessa condição a associação de Planossolos com Neossolos Regolíticos que caracterizam a unidade morfopedológica UM4.

Na unidade morfopedológica UM19, constituída pela superfície de exumação da Formação Açú, a condição de vulnerabilidade também é medianamente estável/vulnerável. Neste caso, a ocorrência de Neossolos Regolíticos da associação PVd9 (Argissolo + Neossolo Regolítico) e principalmente as condições litológicas, representadas por arenitos intercalados por folhelhos, siltitos e calcários, contribuem fortemente para a condição de vulnerabilidade intermediária apresentada.

O setor com o menor índice de vulnerabilidade potencial situa-se na unidade morfopedológica UM34. Esta unidade caracteriza-se por um relevo suave ondulado, de forma tabular, onde ocorre a associação de Argissolo com Neossolo Litólico. A litologia, formada predominantemente por granitos, contribui para a maior estabilidade da unidade, que está enquadrada na subclasse moderadamente estável¹, da classe de moderadamente estável.

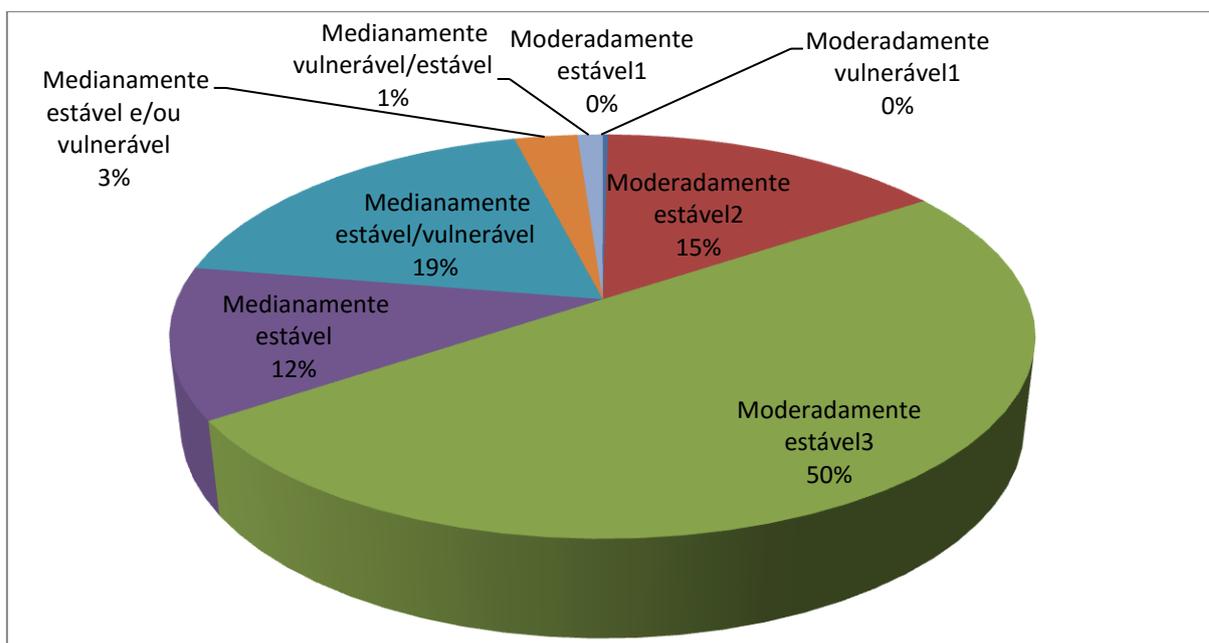
Uma pequena área representada pela unidade morfopedológica UM36 apresenta-se moderadamente vulnerável. Esta unidade compreende um relevo forte ondulado a montanhoso, com formas aguçadas, localizado nos limites ocidentais da bacia onde ocorrem linhas de *hog back*. Apresenta associação de Afloramento de Rocha com Neossolo Litólico. Em contrapartida aos aspectos geomorfológicos e pedológicos, que condicionam forte vulnerabilidade, a formação litológica favorece a um aumento da estabilidade em decorrência do predomínio de gnaisses.

A Figura 31 traz a distribuição das classes de vulnerabilidade potencial na sub-bacia do Figueiredo. Observa-se assim o franco predomínio de unidades

classificadas como moderadamente estáveis que representam aproximadamente 65% da sub-bacia, contra aproximadamente 35% da área representada pela classe medianamente estável/vulnerável.

Considerando os valores de vulnerabilidade encontrados para a intensidade pluviométrica, a variável climática não oferece grande contribuição ao aumento da vulnerabilidade potencial na sub-bacia do Figueiredo. Entretanto, há que se considerar que a cobertura vegetal tem interferência direta nesta dinâmica, potencializando ou reduzindo a ação da pluviometria através da função amortecedora oferecida pela vegetação. Assim, apesar de os valores de vulnerabilidade do clima estarem classificados como moderadamente estáveis, a cobertura vegetal pouco densa e com forte caducidade foliar contribui para a ação erosiva das chuvas.

Figura 31: Distribuição percentual das subclasses de vulnerabilidade potencial na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

6.2.2 Vulnerabilidade efetiva à erosão (Ve)

A diversidade de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo condicionam níveis de vulnerabilidade/estabilidade que diferem dos

encontrados quando considerados apenas os fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos e pedológicos.

O uso e a cobertura do solo podem aumentar ou reduzir a vulnerabilidade das unidades morfopedológicas. Esta interferência sobre a vulnerabilidade potencial à erosão é aqui denominada de vulnerabilidade efetiva, e fornece um indicativo da alteração do equilíbrio morfodinâmico em função da modificação da cobertura vegetal decorrente da atividade humana.

Na busca de uma visão espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura do solo para sub-bacia do Figueiredo, foi determinada a vulnerabilidade efetiva em três anos: 1989, 2000 e 2011.

A vulnerabilidade efetiva para o ano de 1989 apresentou variações entre moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável. As unidades UM12, UM15 e UM27 apresentaram os menores valores de vulnerabilidade (moderadamente estável³). Nessas unidades há o predomínio de coberturas de caatinga arbórea aberta ou densa.

Pequenas planícies fluviais representadas pelas unidades morfopedológicas UM2 e UM3 apresentaram os maiores valores de vulnerabilidade, posicionando-se na classe moderadamente vulnerável, subclasse moderadamente vulnerável¹. O de uso com atividades agrícolas de cultura cíclica e agropecuária extensiva com pastagem natural favoreceram a condição de vulnerabilidade observada.

Uma extensa superfície da sub-bacia, representada primordialmente pelo setor da Depressão Sertaneja, classifica-se como medianamente estável/vulnerável, posicionando-se na subclasse medianamente estável e/ou vulnerável. Este setor compreende as unidades morfopedológicas UM18 e UM22, dentre outras espacialmente menos expressivas. A pecuária extensiva com uso de pastagem natural e a cobertura de caatinga arbustiva aberta e eventualmente de caatinga arbustiva densa condicionaram fortemente a vulnerabilidade à erosão, tornando a V_e em 1989 significativamente maior que a V_p .

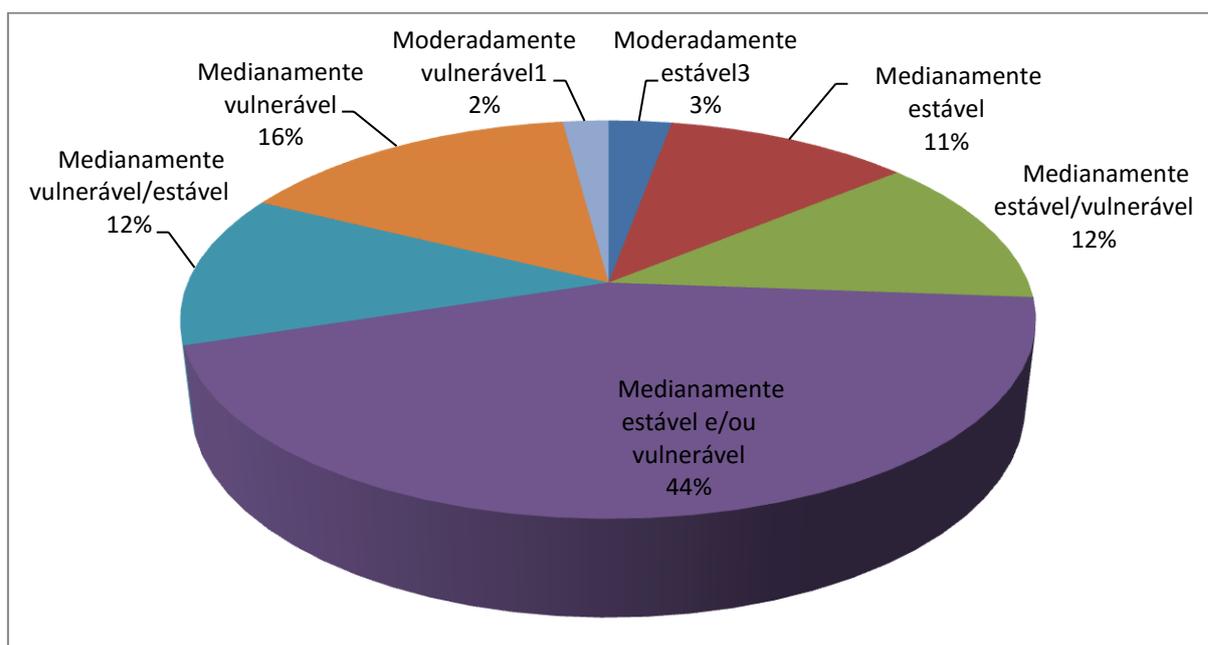
Os setores que compreendem a unidade morfopedológica UM19 apresentaram também uma V_e com classificação superior a V_p . O aumento da vulnerabilidade é justificado pelo uso agrícola com culturas permanentes, notadamente de cajueiro e carnaúba, bem como pela presença de cobertura de

caatinga arbustiva densa. Esses usos e coberturas fornecem de média a baixa proteção aos solos contra processos erosivos.

No cálculo da vulnerabilidade efetiva para o período de 1989 (Figura 32), as unidades classificadas como moderadamente estável representaram apenas 3% da área da sub-bacia do Figueiredo. As áreas classificadas como medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável representaram respectivamente 95% e 2% da superfície da sub-bacia.

De um modo geral, as condições de uso do solo e cobertura vegetal observadas no ano de 1989 na sub-bacia do rio Figueiredo não contribuíram para o aumento da estabilidade das unidades morfopedológicas. Houve sim um aumento generalizado da vulnerabilidade à erosão, quando tomados por referência os valores de vulnerabilidade potencial.

Figura 32: Distribuição percentual das subclasses de vulnerabilidade efetiva no período de 1989 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

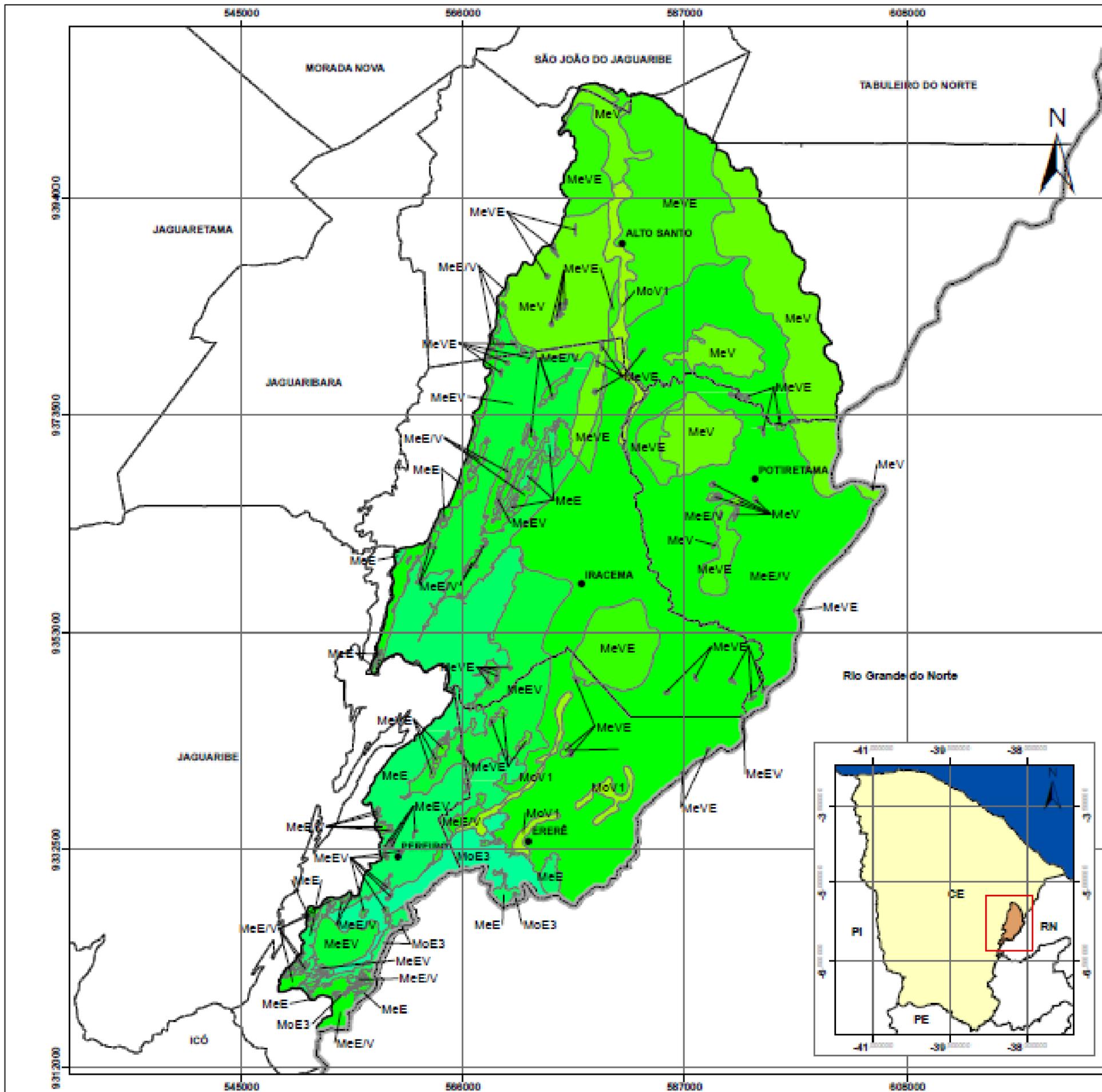


Fonte: elaborado pelo autor.

Mesmo as áreas com cobertura vegetal de caatinga arbórea densa apresentaram uma V_e superior a V_p . Este fato contribui para caracterizar a Caatinga como cobertura vegetal de baixo poder de estabilização dos ambientes em razão da sua pequena capacidade protetora contra a ação pluvial. A condição se agrava no

período de pré-estação, devido à caducidade foliar da caatinga. Na ocasião, as primeiras chuvas atingem os solos desprotegidos da cobertura proveniente da vegetação, seja no seu extrato arbóreo, arbustivo ou herbáceo. Promove-se desta feita uma destruição dos agregados do solo e o carreamento deste em direção ao fundo dos vales. Este processo é facilmente constatado pela turbidez das águas fluviais nos primeiros eventos chuvosos anuais.

No Mapa 12 se observa a distribuição espacial da vulnerabilidade efetiva à erosão na sub-bacia do rio Figueiredo para o período de 1989.



Universidade Estadual do Ceará - UEECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPPG/Pq
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGeo

MAPA 12 – VULNERABILIDADE EFETIVA EM 1988.
 TÍTULO:
 VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

ESCALA: 1:350.000



Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

- LIMITES
- Sedes Municipais
 - Limites Estaduais
 - Limites Municipais
 - Área de Estudo

LEGENDA

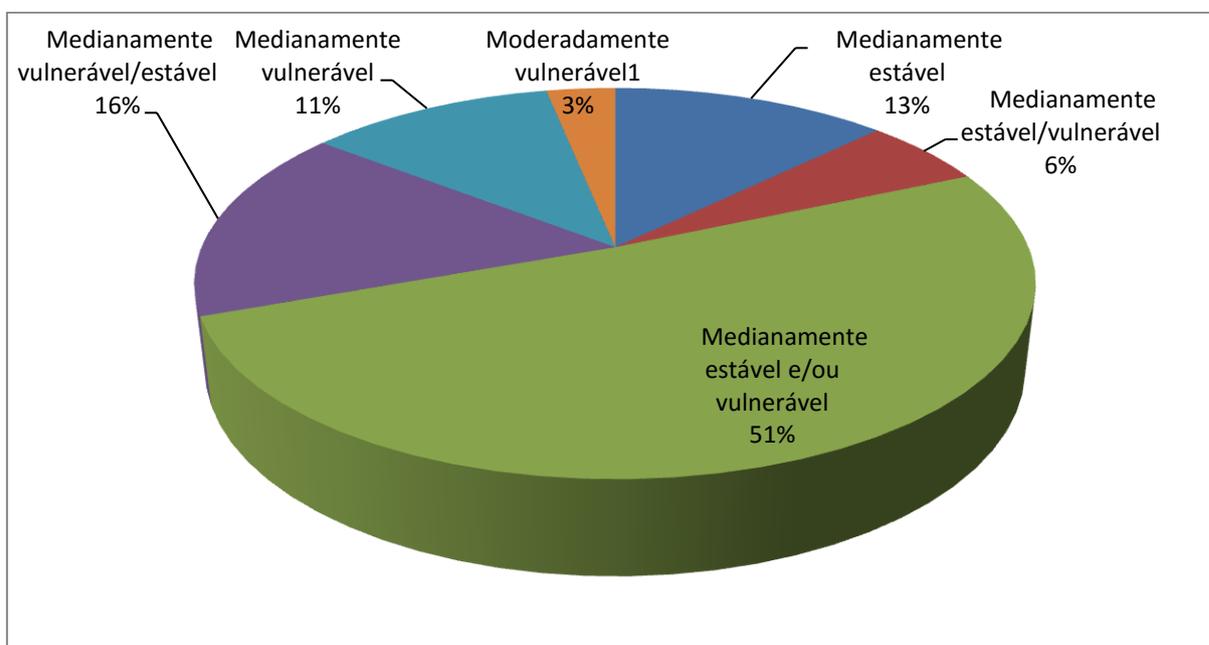
MoV1	↑ VULNERABILIDADE	Moderadamente Vulnerável 1
MeV		Medianamente Vulnerável
MeVE	↓ ESTABILIDADE	Medianamente Vulnerável Estável
MeEV		Medianamente Estável e ou Vulnerável
MeE	Medianamente Estável Vulnerável	
MeE3		Medianamente Estável
		Moderadamente Estável 3

FONTE: O AUTOR

Para o período referente ao ano 2000, a vulnerabilidade efetiva manteve o predomínio da classe medianamente estável/vulnerável com 97% da superfície da sub-bacia (Figura 33). Essa condição ocorreu predominantemente em unidades morfopedológicas com forte uso agrícola e pecuário, bem como associadas à cobertura de caatinga arbustiva. Tais unidades estão localizadas principalmente no setor da Depressão Sertaneja e Tabuleiros Costeiros, este último representado pelas superfícies exumadas da Formação Açú.

No setor de Planície Fluvial, a vulnerabilidade efetiva manteve-se elevada, com classificação de moderadamente vulnerável. Esta classe de vulnerabilidade apresentou um crescimento percentual em comparação ao ano de 1989, vindo a ocupar uma área aproximada de 3% da sub-bacia. Merece destaque a unidade UM1, que apresentou um aumento da vulnerabilidade em comparação ao ano de 1989, passando de medianamente vulnerável para moderadamente vulnerável¹. Essa redução das condições de estabilidade se deu pela supressão de mata ciliar para implantação de culturas cíclicas e pastagens.

Figura 33: Distribuição percentual das subclasses de vulnerabilidade efetiva para o período de 2000 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

Na porção oeste da sub-bacia, a vulnerabilidade sofreu aumento em decorrência do avanço da caatinga arbustiva e da redução de cobertura de caatinga arbórea. Situação semelhante ocorreu na unidade UM15, onde a cobertura vegetal sofreu modificação de densidade pela substituição de caatinga arbórea densa por caatinga arbórea aberta bem como por caatinga arbustiva (Mapa 13).



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPPGp
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGEO

MAPA 13 – VULNERABILIDADE EFETIVA EM 2000.
 TÍTULO:
 VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sérgio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

ESCALA: 1:350.000



Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

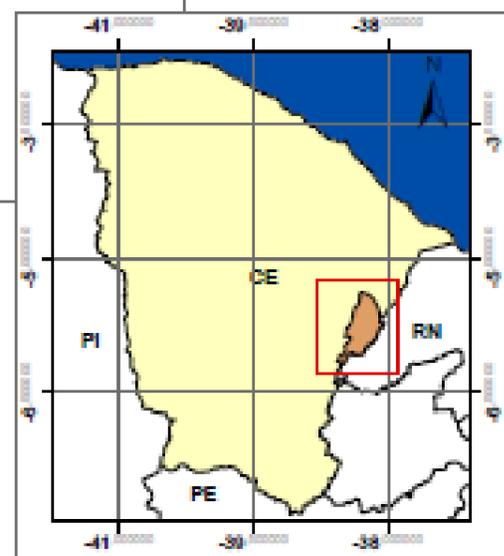
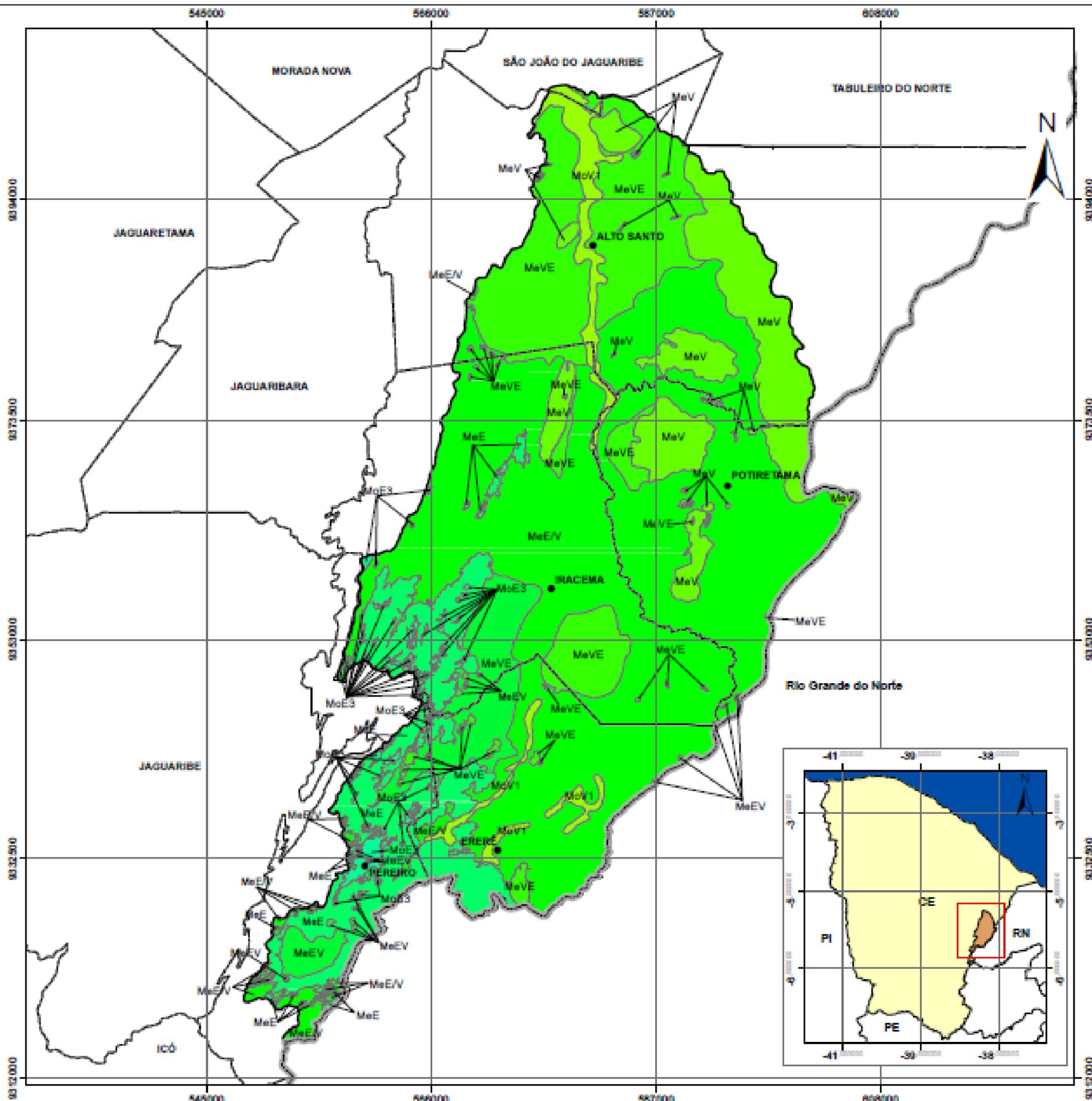
LIMITES

- Sedes Municipais
- Limites Estaduais
- Limites Municipais
- Área de Estudo

LEGENDA

MoV1	↑ VULNERABILIDADE ↓ ESTABILIDADE	Moderadamente Vulnerável 1
MeV		Medianamente Vulnerável
MeVE		Medianamente Vulnerável Estável
MeEV		Medianamente Estável e ou Vulnerável
MeEV		Medianamente Estável Vulnerável
MeE		Medianamente Estável
MoE3		Moderadamente Estável 3

FONTE: O AUTOR

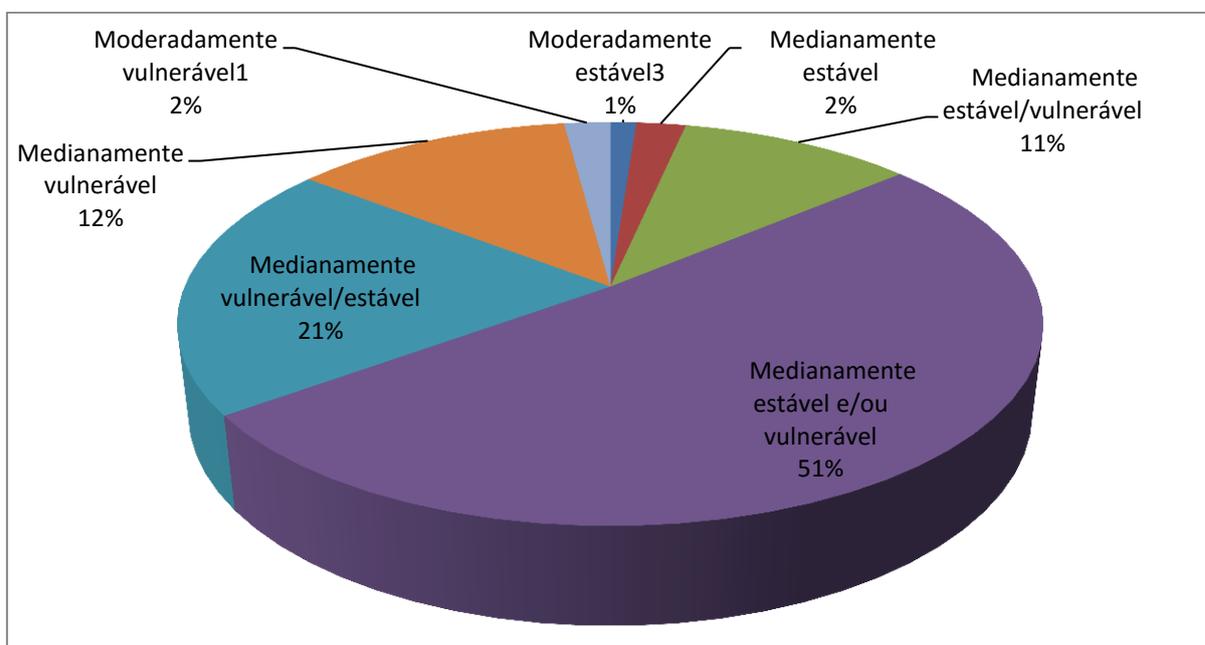


O período relativo ao ano de 2011 apresentou condições de vulnerabilidade efetiva intensificadas no setor do Maciço do Pereiro (Mapa 14). Essa alteração foi representada pela redução de cobertura de caatinga arbórea densa em consequência do avanço de coberturas de caatinga arbórea aberta, caatinga arbustiva densa e aberta, além do aumento de atividades de culturas cíclicas.

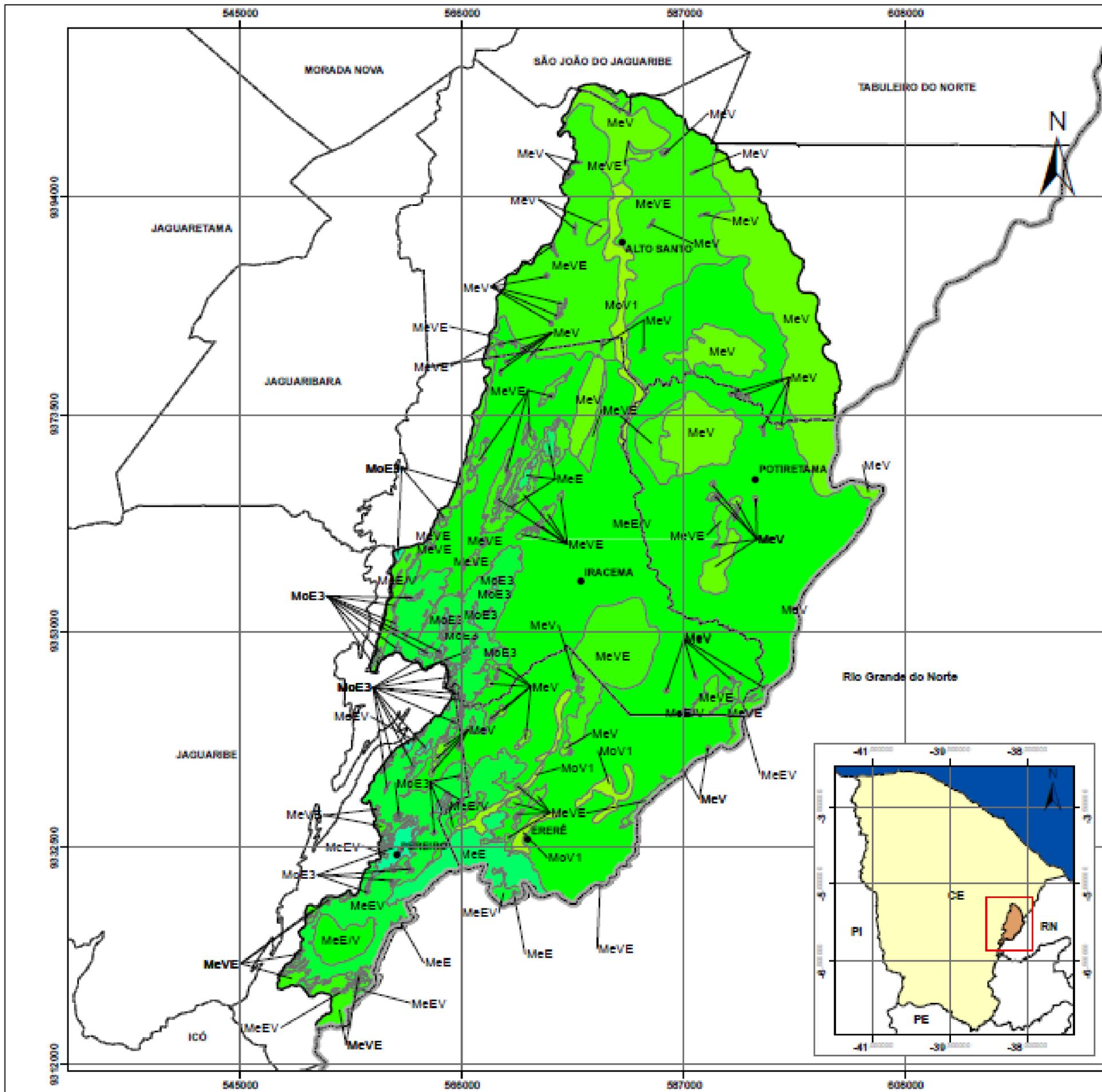
Nas unidades morfoedológicas inseridas na Depressão Sertaneja, as modificações de uso e cobertura não representaram alterações significativas de estabilidade do ambiente, fato que se observou também na superfície de exumação da formação Açú (Tabuleiros Costeiros).

A classe medianamente estável/vulnerável apresentou um pequeno aumento em 2011 quando comparado aos períodos anteriores. Um total de 97% da sub-bacia do Figueiredo foi enquadrado nessa classe para o período em questão (Figura 34). A classe moderadamente estável apareceu com 1% da área, enquanto a moderadamente vulnerável sofreu pequena redução, vindo a ocupar 2% da área da sub-bacia.

Figura 34: Distribuição espacial das subclasses de vulnerabilidade efetiva para o período de 2011 na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.



Universidade Estadual do Ceará - UEGE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPGPq
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGE

MAPA 14 – VULNERABILIDADE EFETIVA EM 2011.
 TÍTULO:
 VULNERABILIDADE À EROSIÃO E MORFODINÂMICA
 NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

ESCALA: 1:350.000



Sistema de Projecção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

- LIMITES
- Sedes Municipais
 - Limites Estaduais
 - Limites Municipais
 - Área de Estudo

LEGENDA

MoV1	↑ VULNERABILIDADE ↓ ESTABILIDADE	Moderadamente Vulnerável 1
MeV		Medianamente Vulnerável
MeVE		Medianamente Vulnerável Estável
MeEV		Medianamente Estável e ou Vulnerável
MeE		Medianamente Estável Vulnerável
MeE		Medianamente Estável
MoE3		Moderadamente Estável 3

FONTE: O AUTOR

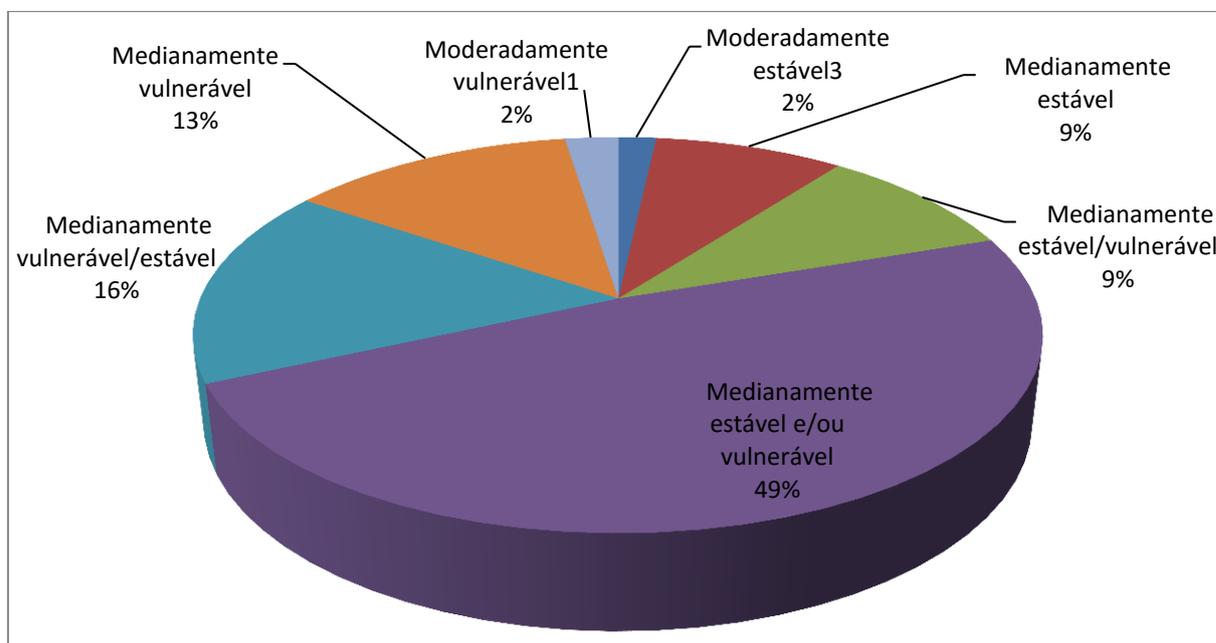
6.2.3 Vulnerabilidade média à erosão.

Com base nas informações de vulnerabilidade à erosão, geradas para os anos de 1989, 2000 e 2011, foi possível determinar a vulnerabilidade média da sub-bacia do Figueiredo aos processos erosivos no período.

A exemplo das condições de vulnerabilidade já observadas ao longo dos anos de 1989, 2000 e 2011, a vulnerabilidade média observada na sub-bacia do Figueiredo apresenta valores classificados entre moderadamente estável e moderadamente vulnerável (Figura 35).

As unidades morfopedológicas enquadradas na classe medianamente estável/vulnerável compuseram 2.212,56 km², o que representa aproximadamente 95% da superfície da sub-bacia. Dentro dessa classe, a maior área correspondeu à subclasse medianamente estável e/ou vulnerável, com 49% da superfície da sub-bacia.

Figura 35: Distribuição percentual das classes de vulnerabilidade efetiva média na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



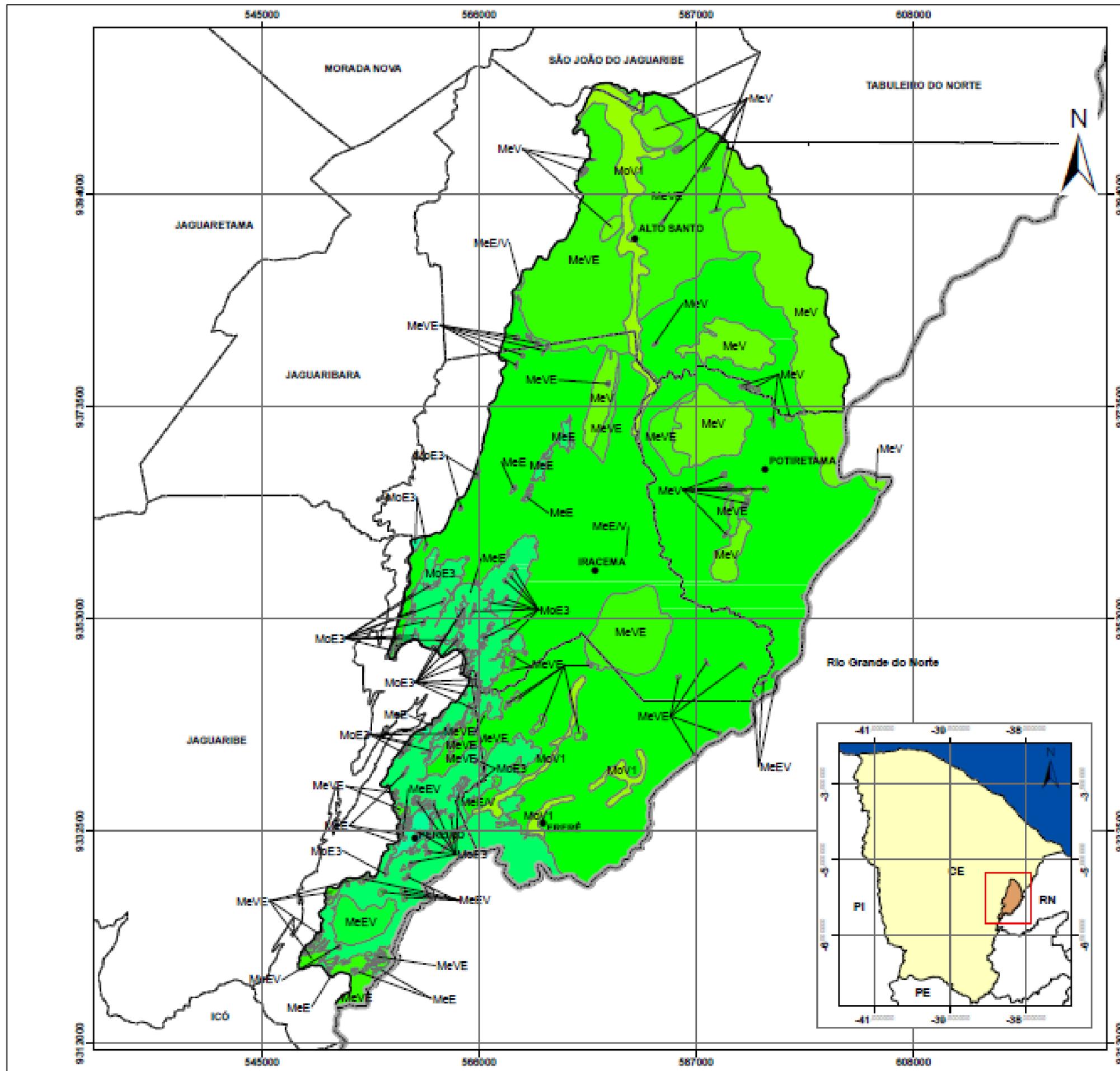
Fonte: elaborado pelo autor.

A classe moderadamente estável e a classe moderadamente vulnerável representaram, cada uma, aproximadamente 2% da superfície da sub-bacia.

As maiores médias de vulnerabilidade à erosão foram observadas nos setores de planície fluvial. Os valores ficaram classificados em moderadamente vulnerável, refletindo as condições de uso intenso típicas da região semiárida, onde as limitações de ordem hidroclimática impõem a exploração de setores com maior potencial hídrico.

Os menores valores de vulnerabilidade foram observados em superfícies planas das Serras do Pereiro e Bastiões, onde as condições de V_p associadas a formas de usos menos intensos e coberturas de Caatinga arbórea favoreceram a estabilidade do meio.

A determinação da vulnerabilidade média à erosão possibilitou uma percepção histórica das condições de estabilidade/vulnerabilidade as quais as unidades morfopedológicas da sub-bacia do Figueiredo estão submetidas, permitindo um melhor entendimento da dinâmica dos processos de degradação ocorrentes, bem como de sua distribuição espacial (Mapa 15), sendo possível inferir sobre a persistência ou não das condições de morfogênese/pedogênese na área.



Universidade Estadual do Ceará - UECE
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PROPPGq
 Centro de Ciência e Tecnologia - CCT
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - PROPGeo

MAPA 16 – VULNERABILIDADE EFETIVA MÉDIA.
TÍTULO:
VULNERABILIDADE À EROÇÃO E MORFODINÂMICA
NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO, CE.

Autor: Francisco Sergio de Almeida Pinheiro
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

ESCALA: 1:350.000

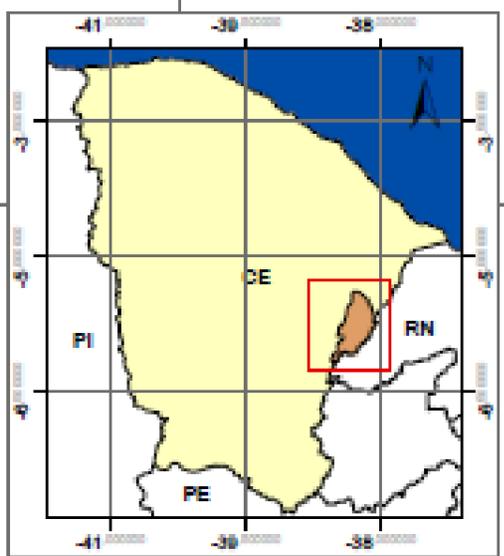
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona: 24 S

SINAIS CONVENCIONAIS

- LIMITES**
- Sedes Municipais
 - Limites Estaduais
 - Limites Municipais
 - Área de Estudo

LEGENDA

MoV1	↑ VULNERABILIDADE ↓ ESTABILIDADE	Moderadamente Vulnerável 1
MeV		Medianamente Vulnerável
MeVE		Mediamente Vulnerável Estável
MeEV		Medianamente Estável e ou Vulnerável
MeE		Medianamente Estável Vulnerável
MeE		Medianamente Estável
MoE3		Moderadamente Estável 3



FONTE: O AUTOR

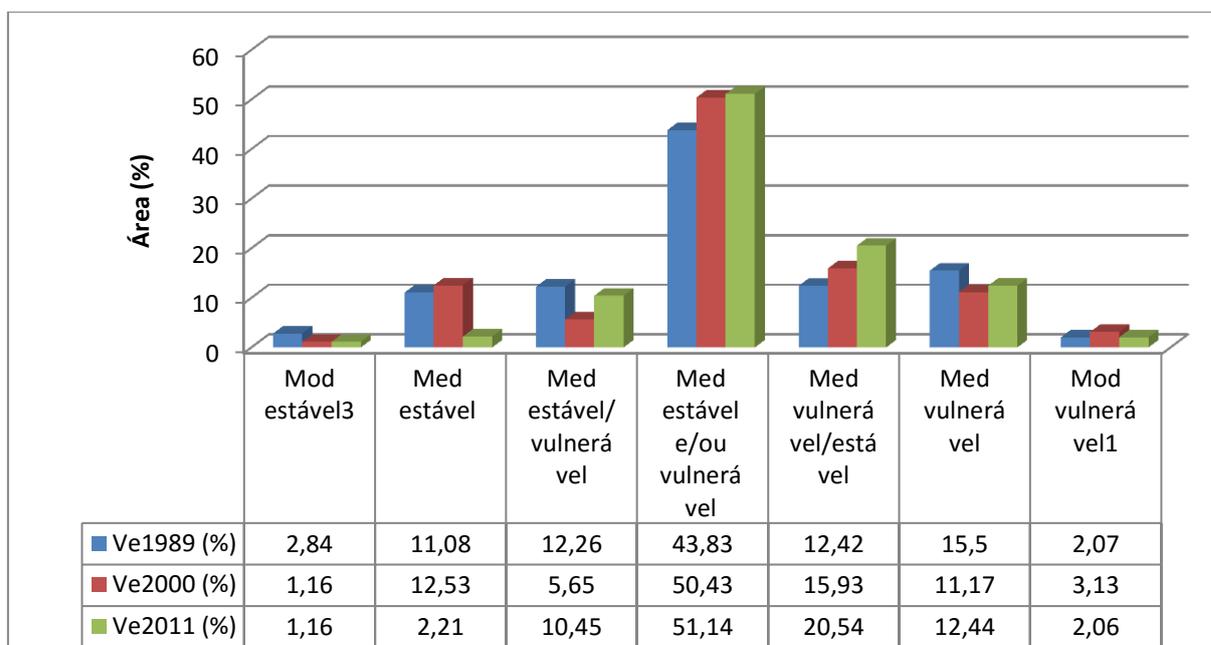
6.2.4 Dinâmica espaço-temporal da vulnerabilidade efetiva à erosão e a relação morfogênese/pedogênese na sub-bacia do rio Figueiredo

As condições de estabilidade/vulnerabilidade na sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, consideradas em um recorte temporal de 22 anos (1989, 2000 e 2011), apresentam aspectos de uma dinâmica capaz de conduzir à degradação do meio.

Partindo das condições de vulnerabilidade potencial observadas para a sub-bacia em questão, e os resultados obtidos para a vulnerabilidade efetiva, é notória a perda de estabilidade no balanço morfogênese/pedogênese, fato que inspira atenção quando considerada a possibilidade de planejamento e ordenamento territorial.

A evolução e a dinâmica espaço-temporal da vulnerabilidade efetiva à erosão na sub-bacia do Figueiredo mostra uma tendência de manutenção, e por vezes de intensificação do grau de vulnerabilidade, como pode ser observado na Figura 36.

Figura 36: Dinâmica espaço-temporal da vulnerabilidade efetiva (Ve) na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo



Fonte: elaborado pelo autor.

Há uma predominância de áreas inseridas na classe medianamente estável/vulnerável. Nesse cenário, as subclasses medianamente estável e/ou vulnerável e medianamente vulnerável/estável apresentaram ampliação das áreas ao longo do tempo considerado.

As áreas classificadas como moderadamente estável³ sofreram inicialmente um retraimento, passando de 2,84% no ano de 1989 para 1,16% no ano 2000. Para o ano de 2011, os percentuais de áreas classificadas como moderadamente estável³ mantiveram-se os mesmos do período anterior. No outro extremo, as áreas classificadas como moderadamente vulnerável¹ apresentaram inicialmente um crescimento, saindo de 2,07% para 3,13% da área total. Em seguida houve uma redução para valores próximos aos iniciais (2,6%).

Comparando as informações obtidas a partir da aplicação do modelo de determinação da vulnerabilidade com as condições de estabilidade/vulnerabilidade verificadas *in loco*, percebe-se entre essas uma forte relação de compatibilidade.

Em levantamentos de campo foi possível identificar marcas de processos morfodinâmicos em diferentes unidades morfopedológicas, desde aquelas com vulnerabilidade potencial baixa até as que apresentaram Vp mais elevada. Esta ocorrência indiscriminada de processos morfogenéticos pode ser explicada pela incompatibilidade entre as formas de ocupação do solo e o nível de estabilidade/vulnerabilidade do meio.

Foram observadas ocorrências de erosão laminar em setores da Serra do Pereiro, em vertentes de forte declive com ocorrência de associação de Argissolos e Neossolos Litólicos. A cobertura vegetal primária de caatinga arbórea e mata seca foi suprimida para o desenvolvimento de cultura cíclica (Figura 37), fato que desencadeou a instalação de erosão acelerada por ação pluvial.

Na Depressão Sertaneja, onde a vulnerabilidade evoluiu positivamente ao longo do período considerado, a ocorrência de processos erosivos e de degradação dos solos é relativamente comum. Apesar do predomínio de condições de média vulnerabilidade para a área, a ocupação histórica com pecuária extensiva e agricultura cíclica com base na produção de feijão e milho promoveram a degradação da cobertura vegetal e dos solos, e condicionaram a redução da estabilidade do ambiente e aumento dos processos morfogenéticos.

Figura 37: Área susceptível à erosão laminar em Associação de Argissolo e Neossolo Litólico. Relevo forte ondulado – Município de Pereiro (9324756 N / 0555811 E)



Fonte: O Autor.

A presença de processos erosivos areolares e lineares foi constatada em setores de relevo suave ondulado da Depressão Sertaneja. As condições de degradação da vegetação de caatinga promoveu a exposição do solo aos agentes erosivos, causando a formação de sulcos de erosão (Figura 38).

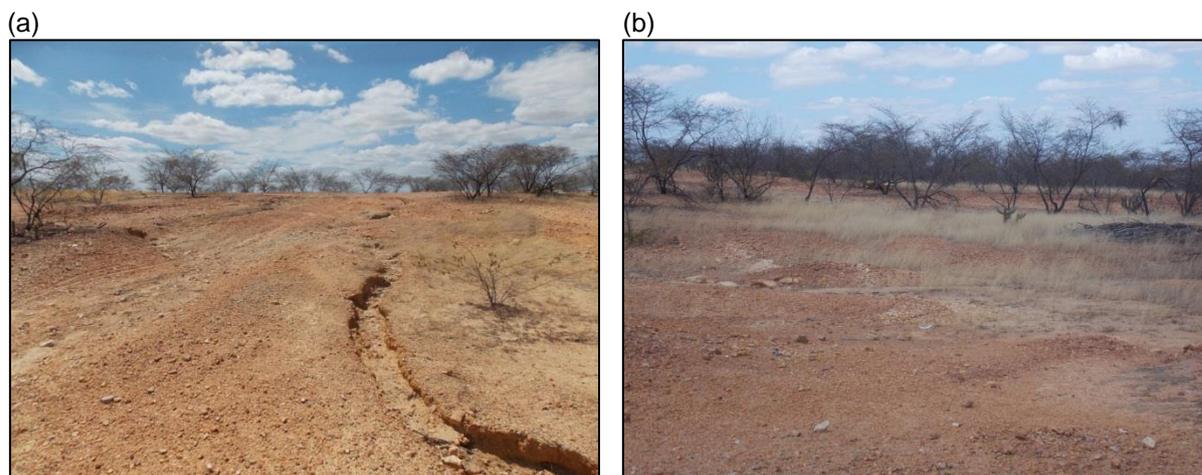
As condições descritas acima tendem a se repetir em outras áreas da Depressão Sertaneja, onde a ocupação com pecuária extensiva se faz presente. O manejo inadequado, com pastagem natural e sobrepastoreio, promove a degradação da cobertura vegetal e a compactação do solo, intensificando a erosão.

As unidades morfopedológicas localizadas na Depressão Sertaneja apresentam valores de vulnerabilidade dentre os mais altos da sub-bacia. Merecem destaque as unidades UM1, UM2, UM3, UM4, UM5, UM6, UM10, UM11, UM19, UM30 e UM31, por apresentarem vulnerabilidade superior a 2,0 (medianamente estável / vulnerável). Essas unidades, que apresentam um equilíbrio com tendência à morfogênese, representam juntas 28,68% da área da sub-bacia.

Classificadas como medianamente estável/vulnerável e medianamente estável e/ou vulnerável, as unidades morfopedológicas UM22, UM32, UM16, UM18 e UM13 apresentam importância significativa para a caracterização das condições

de estabilidade/vulnerabilidade na sub-bacia do Figueiredo, pois possuem grande extensão territorial, representando juntas 49,95% de sua superfície.

Figura 38: Erosão em sulco (a) e laminar (b) em vertente com caatinga degradada – Município de Alto Santo (9400495 N / 0586234 E)



Fonte: O Autor.

Ao longo do período analisado, foi percebido um crescimento da vulnerabilidade em direção às serras, onde a modificação da cobertura vegetal tem-se intensificado, com a redução do porte e da densidade da vegetação. Esse fato contribuiu para o aumento da vulnerabilidade nas unidades morfoedológicas localizadas nas áreas serranas e a instalação de processos erosivos acelerados.

As unidades morfoedológicas localizadas na Depressão Sertaneja mostraram menor variação nos índices de vulnerabilidade efetiva ao longo do tempo. Entretanto, essa vulnerabilidade em níveis médios, mantida de forma persistente ao longo de décadas, pode justificar a prevalência da morfogênese com a instalação de processos morfodinâmicos acelerados.

Comparando a vulnerabilidade potencial com a vulnerabilidade média obtida com base nos anos de 1989, 2000 e 2011, verificou-se que, dentre as unidades morfoedológicas da sub-bacia do Figueiredo, as ocorrentes na Depressão Sertaneja apresentaram a maior intensificação nos níveis de vulnerabilidade. A explicação está na reduzida capacidade protetora da cobertura de caatinga arbustiva, associada a um uso intenso com pecuária extensiva e culturas cíclicas. Esta pequena capacidade estabilizadora das caatingas e o grau de vulnerabilidade à erosão em que se encontra a sub-bacia do Figueiredo condizem com as afirmações

formuladas por Guerra (1998), quando atribuiu uma maior susceptibilidade à degradação dos solos, em função do aumento da componente horizontal, e às áreas com cobertura vegetal inferior a 70%, como as que ocorrem nas regiões semiáridas e de intenso pastoreio e atividade agrícola.

7 CONCLUSÕES

Considerando os resultados alcançados pela pesquisa, e estando ciente de que tais resultados refletem uma face dentre as múltiplas faces que compõem o real, pôde-se chegar às conclusões que se seguem, não como verdades irrefutáveis, mas como uma interpretação lógica balizada nos fatos observados.

As condições de vulnerabilidade/estabilidade à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo apresentaram, ao longo do período estudado, variações espaço-temporais que conduziram a sub-bacia em questão a uma condição de alteração do equilíbrio morfopedogenético, com tendência à morfogênese e a instalação de processos morfodinâmicos acelerados, notadamente no seu baixo curso.

A vulnerabilidade potencial apresentada pela sub-bacia do rio Figueiredo foi fortemente alterada pelas formas de uso e cobertura vegetal, mostrando uma incapacidade da cobertura de caatinga, em suas diversas tipologias, bem como das tipologias de uso, em aumentar a estabilidade do ambiente. Este fato condiz com as afirmações de Guerra (1998) e Souza (2006) acerca da capacidade protetora da cobertura vegetal em áreas semiáridas, agrícolas e de superpastoreio.

A atividade agrícola baseada principalmente na produção de feijão e milho, bem como a pecuária extensiva implementada em pastagem natural com supressão das espécies arbustivas e arbóreas, colaboraram, ao longo dos anos, com o aumento da vulnerabilidade na sub-bacia do Figueiredo. Os setores da sub-bacia mais afetados pelas atividades produtivas citadas estão na Depressão Sertaneja, onde se verificam as unidades morfopedológicas mais instáveis, com ocorrência disseminada de morfodinâmica acelerada. Nos setores de serras como Pereiro e Bastiões, sinais de morfodinâmica acelerada se apresentam pontualmente associados à supressão de vegetação de caatinga arbórea para implantação de culturas cíclicas e pastagem. O relevo íngreme se apresenta como restrições topográficas a uma ocupação mais extensiva das atividades produtivas primárias.

As condições de vulnerabilidade encontradas para a sub-bacia do Figueiredo, notadamente no seu baixo curso, onde os valores de vulnerabilidade se mostram mais elevados, apresenta compatibilidade com a ocorrência de processos

associados à degradação dos solos e de surgimento de áreas susceptíveis à desertificação relatados por FUNCEME (2009).

Quanto às adaptações propostas por esta pesquisa e aplicadas ao método de determinação da vulnerabilidade à erosão desenvolvido por Crepani *et al.* (2001), estas se mostraram satisfatórias, sendo os resultados alcançados compatíveis com a situação observada em campo. A utilização de dados relativos ao uso e cobertura vegetal em uma perspectiva espaço-temporal proporcionou uma percepção das mudanças ocorridas na sub-bacia do Figueiredo ao longo do tempo considerado, contribuindo para o entendimento da dinâmica da paisagem.

O modelo de determinação de vulnerabilidade à erosão, na forma aqui aplicada, pode ser aperfeiçoado a partir de dados mais detalhados. Entretanto, como se trata de um levantamento de menor detalhe espacial, os resultados alcançados a partir da utilização de informações disponibilizadas pelo projeto RADAMBRASIL se mostraram satisfatórios, visto não apresentarem divergências significativas quando comparados às observações em campo.

A geração das bases de geologia, geomorfologia, solos e clima a partir da aplicação de criação automatizada de vetores, com apoio nas informações de SRTM, possibilitaram o aperfeiçoamento das informações contidas nas bases cartográficas do projeto RADAMBRASIL, permitindo uma melhor delimitação dos polígonos e corrigindo distorções existentes nos mapeamentos originais.

No que concerne aos parâmetros de classificação da vulnerabilidade dos elementos mapeáveis, se faz necessário estabelecer critérios para enquadramento de informações referentes aos espelhos d'água em relação aos níveis de vulnerabilidade das formas de uso. Justifica-se tal afirmação por serem estes ambientes partes integrantes da dinâmica das paisagens, principalmente em regiões semiáridas, onde a açudagem é prática comum entre as populações e faz parte das ferramentas de planejamento das políticas públicas no combate aos efeitos da estiagem. Quanto aos parâmetros relativos à intensidade pluviométrica, estes necessitam de melhor tratamento, buscando adequar o modelo à realidade do semiárido, visto ser esse ambiente sujeito às irregularidades e eventos extremos de precipitação. Há ainda uma forte irregularidade na distribuição espaço-temporal da precipitação, o que dificulta a determinação da intensidade pluviométrica com base nos parâmetros propostos por Crepani *et al.* (2001).

Os resultados obtidos nesta pesquisa podem subsidiar o direcionamento de estudos mais detalhados, em escala compatível, visando à elaboração de políticas de planejamento capazes de intervir nas formas de exploração dos recursos naturais, buscando compatibilizar as atividades econômicas com as potencialidades e principalmente com as fragilidades de cada ambiente na sub-bacia do rio Figueiredo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AB'SABER, A. N. Sertões e Sertanejos: uma geografia humana sofrida. In: **Dossiê Nordeste seco**. São Paulo. IEA/USP, 13 (36), 1999. pp. 7-59.

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. In: **Geomorfologia**. São Paulo, Igeog-USP p. 18, 1969.

ANDRADE, E. M. et al. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. **Revista Agrônômica**, v. 37, n. 03, pp. 279-286, 2006.

ARRUDA, Wanderley da Costa; DIAS, Ricardo Ribeiro; PEREIRA, Eduardo Quirino. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Fátima – TO. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, **Anais**. Florianópolis, 2007. INPE, pp. 5083-5089.

BARBOSA, C.C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 150p. (INPE-7115-TDI/667) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília: SAE: MMA, 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. Equação de perdas de solo. **Boletim Técnico 21**. Instituto Agrônômico, Campinas, SP. 1975. 25 p.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do Solo**. Ícone editora, 2008, 6ª ed. São Paulo.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. In: **Caderno de Ciências da Terra**, v. 13, São Paulo, 1972, pp. 1-27.

BOTELHO, Rosângela Garrido Machado; SILVA, Antônio Soares da. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, Antônio Carlos; GUERRA, Antônio José Teixeira (org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Bertrand Brasil, 2007. 2ª ed. Rio de Janeiro. pp. 153-192.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Agenda 21**: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Brasília, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório-reconhecimento dos solos do Estado do Ceará**. Recife, 2v. (Boletim Técnico, 28), (Brasil, SUDENE – DRN. Divisão de Agrologia – Série Pedologia, 16). 1973.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Levantamento de Recursos Naturais. v. 23, Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; Rio de Janeiro, 1981. 744 p.

BRASIL. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República. **Projeto Áridas: GT1 – Recursos Naturais e Meio Ambiente**. Brasília, 1994.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 29 de junho de 2008.

CEARÁ. **Panorama da Desertificação no Estado do Ceará**: Estado Atual de Conhecimento. S.N.T.

CEARÁ. Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária. **Mapa de solos**. Fortaleza, 1988.

CEARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Caderno regional da sub-bacia do médio Jaguaribe. V. 6. INESP, Fortaleza, 2009. 101p.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará**. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/> Acesso em 20 de agosto de 2012.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará**. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/> Acesso em 9 de julho de 2015.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE – CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 372p.

CRANDALL, R. **Geographia, geologia, suprimento d'água, transporte e açudagem nos Estados orientais do norte do Brasil, Ceará, Rio Grande do Norte e Parahyba – 2ª Ed.** Rio de Janeiro, Inspectoria de Obras Contra as Secas, 1923. 132p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.; BARBOSA, C. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

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

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Criação automática de vetores para mapeamentos temáticos e espacialização de aspectos da legislação ambiental a partir de grades

refinadas do SRTM. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais Florianópolis**, 2007, INPE, pp. 2501-2508.

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

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. pp. 337-379.

DANTAS, J. R. A. Texto explicativo. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Carta Geológica do Brasil ao milionésimo**; Folha Jaguaribe (SB. 24), Folha Fortaleza (SA. 24). Brasília, 1974. 95p.

DYLIK, J. Notion du versant en geomorphologie. Bull. Aca. Pol. Sci. **Série des Sc. Geol. Geogr.**, 16(2); 125-132, 1968.

FALKENHEIM, F. V. F. et al. **Relatório Geológico de Progresso da Bacia Potiguar**, s.1. PETROBRAS – DEXPRO, DIVEX, 1977. (Relatório Interno).

FERREIRA, Antonio Geraldo; MELLO, Namir Giovanni da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. In: **Revista Brasileira de Climatologia**. N.1, V.1. Presidente Prudente, 2005, pp. 15-27.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. pp. 11-30.

FUNCEME. **Degradação ambiental e susceptibilidade aos processos de desertificação na microrregião do Médio Jaguaribe e parte das microrregiões do Baixo Jaguaribe e Serra do Pereiro**. Fortaleza, 2009.

FUNCEME. **Índice de aridez para o Ceará**. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/17-mapas-tematicos/542-indice-de-aridez-para-o-ceara> Acesso em: 22 de junho de 2015.

FUNCEME. **Séries Históricas de Precipitação**. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas> Acesso em 27 de fevereiro de 2013.

GILBERT, G. K. **The geology of the Henry Mountains**. Washington, United States Geographical and Geological Survey, 1877.

GREENLAND, D. J.; RIMMER, D.; PAYNE, D. **Determination of the structural stability class of English and Welsh soils using a water coherence test**. Journal of Soil Science, 26. 1975 pp. 294-303.

GUERRA, Antônio José Teixeira. Processos Erosivos nas Encostas. In: **Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos**. Bertrand Brasil, 1998. 3ª ed. Rio de Janeiro. pp. 149-209.

GUERRA, Antônio José Teixeira; MENDONÇA, Jane Karina Silva. Erosão dos Solos e Qualidade Ambiental. In: VITTE, Antônio Carlos; GUERRA, Antônio José Teixeira (org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Bertrand Brasil, 2007. 2ª ed. Rio de Janeiro. pp. 225-256.

GUERRA, J. A. T. e CUNHA, S. B. Degradação Ambiental. In: GUERRA, J. A. T. e CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. pp. 337-379.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico – Geomorfológico**. IBGE, 1989. 7ª ed. Rio de Janeiro.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Termos de Referência para uma Proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil**. Rio de Janeiro. Diretoria de Geociências DGEO-IBGE. 1986.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 1991**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censodem/default_censo1991.shtm Acesso em 15 de outubro de 2013.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/> Acesso em 15 de outubro de 2013.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/default.shtm> Acesso em 4 de abril de 2011.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm> Acesso em 15 de outubro de 2013.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2011**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/> Acesso em 1.º de outubro de 2014.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados agregados**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/> Acesso em 1.º de outubro de 2014.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2008. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/128x.htm> Acesso em: 20 de novembro de 2008.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo. 2ª ed. Oficina de textos. 2010.

LIMA, M. A. O. **Análise das Unidades Geoambientais da Bacia do Rio Figueiredo Utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza. 2001, 96 p.

MAYER, E. **Estratigrafia preliminar dos Carbonatos da Formação Jandaíra da Bacia Potiguar**. s.l. PETROBRAS, 1974. (Relatório Interno).

MEDEIROS, J. S. **Bancos de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território**. Tese (Doutorado em Geografia Física) Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999, 236 p.

MELLO, Pitt de; VALLADARES, Gustavo de Souza. Mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos no Polo da Transamazônica no Estado do Pará. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais**. Natal, 2009. INPE, pp. 4069-4076.

MENEZES, J. B.; ARAÚJO, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CORRÊA, A. C. B. Índice de Vulnerabilidade à Erosão para uma Bacia na Mesorregião do São Francisco Pernambucano, a partir das Relações entre Morfogênese e Pedogênese. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 8, n.º 2, 2007 pp. 45-56.

MESQUITA, C.; ASSIS, A. Q. S.; SOUZA, R. M. Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sagrado – Morretes/PR. In: **Revista de Geografia**, n.º 2, v. especial VIII SINAGEO. Recife, UFPE – DCG/NAPA Set. 2010 pp. 249-264.

MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à Degradação dos Solos da Bacia do Acaraú, Ceará. In: **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n.º 1. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, jan-mar 2011. pp. 39-50.

NASCIMENTO, F. R. Desertificação em Bacias Hidrográficas Semi-Áridas no Nordeste Brasileiro – Estado do Ceará. In: BEZERRA, A. C. A.; et al. (Org.) **Itinerários Geográficos**. Niteroi, EdUFF, 2007 pp. 281-310.

_____, F. R. Conceitos e Teorias sobre Desertificação em Bacias Hidrográficas – Subsídios para abordagens metodológicas. In: IV Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. **Anais**. Universidade de Coimbra, maio de 2010.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara, 1983.

PARANHAS FILHO, A. C., et al. Avaliação Multitemporal das Perdas de Solos na Bacia do Rio Taquarizinho-MS. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 52, Editora UFPR, 2003. pp. 49-59. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/geociencias/article/viewfile/4200/3397> Acesso em: 10 de outubro de 2008.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro, IBGE. 1974.

PRADO, J. P. B. do.; NÓBREGA, M. T. de. Determinação de Perdas de Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). **Acta Sci. Technol.**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 33-42, Jan/Jun, 2005. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewArticle/1496#> Acesso em: 10 de outubro de 2008.

RIOS, M. L. **Vulnerabilidade à erosão nos compartimentos morfopedológicos da microbacia do Córrego do Coxo / Jacobina-BA**. Dissertação (Programa de pós-graduação em Geografia) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011, 159p.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**. N.º 8, FFLCH – USP, São Paulo, 1994.

SANTOS, Patrícia Azevedo dos; MARÓN, José Ramiro Lamadrid. Análise da vulnerabilidade à perda de solo do Parque Estadual do Jalapão – TO. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**. Natal, 2009, INPE, pp. 4347-4354.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise da Fragilidade e Vulnerabilidade Natural dos Terrenos aos Processos Erosivos como Base para o Ordenamento Territorial: O Caso das Bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçã e Ribeirão Carioca na Região do Alto Rio das Velhas – MG. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V.9, N.º 1, pp. 65-73, 2008.

SANTOS, V. S. dos., et al. Análise e Espacialização das Perdas Médias de Solo por Erosão Hídrica Laminar na Bacia Hidrográfica do Tenente Amaral em Jaciara, Mato Grosso, Brasil. In: I Simpósio de Geotecnologia no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11 a 15 de novembro de 2006. **Anais**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 247-256. Disponível em: <http://mtc-m7.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.12.11.23/doc/p76.pdf> Acesso em: 23 de setembro de 2008.

SILVA, Marcos Vinícius Chagas da. **Análise geoambiental: subsídios ao planejamento agrícola da Serra de Uruburetama – Ce.** 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) UECE. Fortaleza. 191 p.

SOUZA, C. J. S. **Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999. INPE-7030-TDI/662.

SOUZA, M. J. N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, L. C.; MORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará.** Ed. Funece. Fortaleza. 2000. pp. 6-104.

_____, Panorama da degradação ambiental, desertificação e entraves ao desenvolvimento sustentável do Ceará, In: PINHEIRO, D. R. de C. (org.). **Desenvolvimento sustentável: desafios e discussões.** Fortaleza: ABC Editora, 2006, pp. 33-55.

SOUZA, M. J. N. et al. Diagnóstico Geoambiental do Baixo Jaguaribe. In: ROSA, M. de F. et al. **Gestão Sustentável no Baixo Jaguaribe, Ceará.** Fortaleza: Embrapa, 2006 pp. 25-45.

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata.** Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001, 165 p.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia do Rio Jirau. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, N.º 57/03, 2005, pp. 235-244. Disponível em: http://www.rbc.ufrj.br/pdf_57_2005/57_3_07.pdf Acesso em: 8 de junho de 2011.

TOMAZONI, J. C., et al. A Sistematização dos Fatores da EUPS em SIG para Quantificação da Erosão Laminar na Bacia do Rio Anta Gorda (PR). In: **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 3(1): pp. 1-21, jan/jun 2005. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm> Acesso em: 20 de julho de 2008.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro, IBEG, 1977.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. Erosion and sediment yield: global and regional perspectives. In: WALLING, D. E.; WEBB, B. W. (Eds.) **Erosion and sediment yield: global and regional perspectives.** Proc. Exeter Symp., IAHS Publ. vol. 236, pp. 3-19.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA. (Agricultural Handbook 537). 1978, 58p.