



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – GEOLOGIA MARINHA E AMBIENTAL**

**DANIEL DANTAS MOREIRA GOMES**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À**  
**EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS – CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2011**

**DANIEL DANTAS MOREIRA GOMES**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À  
EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS – CEARÁ**

Dissertação apresentada no Mestrado em Geologia do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título Mestre em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo

Co-Orientadora: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte

**Fortaleza – CE  
Fevereiro / 2011**

G612g      Gomes, Daniel Dantas Moreira  
                 Geoprocessamento aplicado a análise da vulnerabilidade à erosão na  
                 bacia hidrográfica do Rio Jaibas – Ceará / Daniel Dantas Moreira Gomes.  
                 – Fortaleza, 2011.  
                 138 f. ; il. color. enc.

Orientador: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo  
Co-orientadora: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte  
Área de concentração: Geologia Marinha e Ambiental  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de  
Ciências, Depto. de Geologia, Fortaleza, 2011.

1. Técnica de geoprocessamento. 2. Solos – Erosão. 3. Rio Jaibas. I.  
Veríssimo, César Ulisses Vieira (Orient.). II. Dua, Cynthia Romariz (Co-  
orient.). III. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação  
em Geologia. IV. Título

CDD 551

**DANIEL DANTAS MOREIRA GOMES**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À  
EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS – CEARÁ**

**Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Geologia.**

**Aprovado em \_02 / \_02 / \_2011\_**

**Banca Examinadora**

---

Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte (Co-Orientadora)

Universidade Federal do Ceará

---

Profa. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia

Universidade Federal do Ceará

---

Profa. Dra. Maria Lúcia Brito da Cruz

Universidade Estadual do Ceará

## AGRADECIMENTO

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado luz, saúde e determinação para superar dificuldade e transpor obstáculos;

Aos meus pais, Miguel Gomes Filho e Zilma Dantas de Sousa e minha esposa Djenane, pelo apoio e incentivo que sempre me deram para os meus estudos;

Aos orientadores deste trabalho, Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo e Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte, que sempre estiveram dispostos a ensinar, tirar dúvidas e sugerir melhorias para o aprimoramento do trabalho;

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia;

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos;

A orientadora da graduação e amiga, Profa. Dra. Maria Lúcia Brito da Cruz, pelas oportunidades oferecidas durante a graduação e estímulos no campo profissional e intelectual;

Aos amigos, Marcus Vinícius, Cleyber Nascimento e Profa. Lúcia Mendes pelos estímulos no campo profissional e ensinamentos na área do Geoprocessamento;

Aos meus amigos e colegas do mestrado: Antonia, Pessoa, Diones, Jackson, Gabriela, João Paulo, Bosco, Martins, Eduardo, Jorge, Jefferson e Clistines, que diretamente ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho e pela amizade.

“A memória olha para o passado.  
A nova consciência olha para o futuro.  
O espaço é um dado fundamental nesta descoberta.”

Milton Santos

## RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Jaibas localiza-se na porção centro-norte do Estado do Ceará, banhando nove municípios, é uma importante subbacia da bacia hidrográfica do rio Acaraú. Para a análise dos recursos naturais foi considerado a bacia hidrográfica como unidade territorial para o desenvolvimento do estudo, fundamentando-se com base teórico-metodológica na teoria geral dos sistemas e na análise geossistêmica, onde foram avaliados seus processos de sua evolução, determinado a vulnerabilidade à erosão. Com a utilização técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento foi levado em consideração à dinâmica territorial, baseada nos processos de morfogênese e pedogênese. Com a análise de paisagem foram estabelecidas cinco categorias de meios morfodinâmicos, sendo considerando a cobertura vegetal como fator estabilizador da paisagem, possibilitando assim, determinar o grau da vulnerabilidade de cada subsistema. A bacia hidrográfica do rio Jaibas possui uma diversidade paisagística que refletem diretamente nas suas condições de uso e ocupação, essas diversidades foram compartimentadas em quatro sistemas ambientais, Depósitos Quaternários, Depressão Sertaneja, Maciços Residuais e Planalto Sedimentar de Ibiapaba, e esses sistemas foram subdivididos em dez subsistemas, cada um com suas características naturais que possuem certo grau de homogeneidade fisionômica, sendo observadas as condições de uso e ocupação, configurando os principais impactos ambientais na bacia.

Palavras Chave: Geoprocessamento, Erosão, Geossistemas.

## ABSTRACT

The river basin Jaibaras located in north-central portion of the state of Ceara, bathing nine municipalities, is an important subbasin of the river basin Acaraú. For the analysis of natural resources was considered a watershed as the basic unit for the development of the study, basing himself on the basis of theoretical and methodological in general systems theory and analysis Geosystems were evaluated in their processes of evolution, given the vulnerability erosion. By using remote sensing and GIS has been taken into consideration the territorial dynamics, based on the processes of morphogenesis and pedogenesis. With the analysis of landscape were established five categories of morphodynamic means, and considering the vegetation as a stabilizing factor of the landscape, making possible to determine the degree of vulnerability of each subsystem. The river basin has a diverse landscape Jaiba that directly reflect the conditions governing their use and occupation, these differences were compartmentalized into four environmental systems, Deposits Quaternários Depression Sertaneja, Solid Waste and Plateau sedimentary Ibiapaba, and these systems were subdivided into ten subsystems, each with its natural characteristics that have some degree of homogeneity of countenance, and observing the conditions of use and occupation, setting the main environmental impacts in the basin.

Keywords: GIS, Erosion, Geosystems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da bacia hidrográfica do rio Jaibaras / CE.....	16
Figura 02 - Geossistema, unidade físico territorial. Fonte: Bertrand, 1972.....	20
Figura 03 - Composição RGB 543 das Imagens TM/LANDSAT-5, datadas de 25/6/1985 (a), 11/09/1996 (b) e 02/11/2009 (c), com os limites da área em estudo.....	23
Figura 04 – Fluxograma das etapas metodológicas.....	26
Figura 05 – Esquema metodológico da montagem de banco de dados geográficos no programa SPRING 4.3.3.....	27
Figura 06 - Fluxo de processamento dos coeficientes de calibração. Fonte: Fluxograma para correção radiométrica gerada no ERDAS.....	30.
Figura 07 – Esquema metodológico usando o MNT para a variável ZN do TOPODATA.....	32
Figura 08 – Mapa das unidades litoestatigráficas.....	42
Figura 09 – Mapa de compartimentação do relevo.....	45
Figura 10 – Mapa da hipsometria da bacia.....	47
Figura 11 – Mapa declividade da bacia.....	49
Figura 12 - Precipitação média (mm) dos postos pluviométricos da FUNCEME para a Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras, no período de 1985, 1996 e 2009.....	51
Figura 13 - Mapa de solos.....	54
Figura 14 - Perfil de Argissolo utilizado para extração de areia vermelha.....	55
Figura 15 - Área recoberta por Luvisolos.....	56
Figura 16 - Perfil de Neossolos Litólicos.....	57
Figura 17 - Planossolos utilizados para a extração de argila (olarias).....	58
Figura 18 - Caatinga Arbustiva Aberta em seu estado natural. Fonte: Foto tirada em campo.....	62
Figura 19 – supressão da cobertura vegetal Caatinga Arbustiva Aberta. Fonte: Foto tirada em campo.....	62
Figura 20 – Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) em seu estado natural. Fonte: Foto tirada em campo.....	63
Figura 21 – Desatamento e a queima da cobertura vegetal. Fonte: Foto tirada em campo.....	63

Figura 22 – Mata Seca em forma conservada. Fonte: Foto tirada em campo.....	64
Figura 23 – Mata Seca suprimida. Fonte: Foto tirada em campo.....	65
Figura 24 – Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) na Escarpa da serra de Ibiapaba Fonte: Foto tirada em campo.....	66
Figura 25 – Área de mata úmida degradada. Fonte: Foto tirada em campo.....	66
Figura 26 – Mata Ciliar conservada próxima a parede do açude Aires de Souza. Fonte: Foto tirada em campo.....	67
Figura 27 – Mata ciliar bordejando o rio em terreno pouco profundo e bastante rochoso. Fonte: Foto tirada em campo.....	68
Figura 28 – Pecuária extensiva de caprinos. Fonte: Foto tirada em campo.....	69
Figura 29 – Área abandonada sem uso econômico. Fonte: Foto tirada em campo.....	69
Figura 30 – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1985.....	71
Figura 31 - Mapa das unidades fitoecológicas para o ano de 1985 .....	72
Figura 32 – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1996.....	73
Figura 34 – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 2009.....	75
Figura 35 – Mapa da classificação da cobertura vegetal .....	76
Figura 36 - Produção da lavoura temporária total da área plantada. ....	79
Figura 37 - Produção da lavoura temporária total de toneladas produzida. ....	79
Figura 38 - Produção da lavoura permanente total da área plantada.....	81
Figura 39 - Produção da lavoura permanente total de toneladas produzida.....	81
Figura 40 – Número total de cabeças.....	82
Figura 41 – Rebanho de asininos, bovinos e eqüinos por municípios.....	82
Figura 42 – Rebanho de caprinos, ovinos e suínos por municípios.....	83
Figura 43 – Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras no ano de 1985.....	84
Figura 45 – Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras no ano de 1996.....	85
Figura 46 – Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras no ano de 2009.....	86
Figura 47 – Mapa de uso e ocupação para o ano de 2009.....	87
Figura 48 – Mapa apresenta à realidade geoambiental da bacia hidrográfica do Jaibaras.....	88
Figura 49 - Nomograma de Wischemeier para a determinação do fator K.....	111
Figura 50 - Mapa de vulnerabilidade à erosão para o ano de 1985 na bacia hidrográfica do rio Jaibaras.....	121

Figura 51 - Mapa de vulnerabilidade à erosão para o ano de 1996 na bacia hidrográfica do rio Jaibaras.....	122
Figura 52 - Mapa de vulnerabilidade à erosão para o ano de 2009 na bacia hidrográfica do rio Jaibaras.....	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Municípios banhados pela bacia hidrográfica do Rio Jaibaras .....	15
Tabela 02 - Valores de Vulnerabilidade para a Declividade.....	33
Tabela 03- Médias pluviométricas da bacia hidrográfica do Jaibaras para os anos em estudo.....	50
Tabela 04 - Unidades fitoecológicas mapeadas.....	70
Tabela 05 - Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras.....	100
Tabela 06 - Total da Composição Granulométrica.....	107
Tabela 07 - Matéria Orgânica Presente nas amostras.....	108
Tabela 08 – Resultado da classificação estrutural do solo das amostras colhida em campo.....	109
Tabela 09– Determinação do valor de K.....	112
Tabela 10 - Valores de Vulnerabilidade Para a Compartimentação do Relevo. ....	113
Tabela 11 - Valores de Vulnerabilidade Para a Declividade.....	113
Tabela 12 - Vulnerabilidade Para Amplitude Altimétrica.....	113
Tabela 13 - Valores de Vulnerabilidade das Unidades Litoestatigráficas.....	114
Tabela 14 - Valores de Vulnerabilidade dos solos.....	115
Tabela 15 - Valores de Vulnerabilidade da Intensidade Pluviométrica.....	115
Tabela 16 - Valores de Vulnerabilidade da vegetação.....	115
Tabela 17 - Valores de Vulnerabilidade para o uso e ocupação.....	115
Tabela 18 - Áreas ocupada por cada grau de vulnerabilidade.....	116

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Ecodinâmica das paisagens, vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental.....	20
Quadro 02 – Classes de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão.....	36
Quadro 03 - Síntese das estruturas geológicas da bacia hidrográfica do rio Jaibaras.....	39
Quadro 04 - Unidades geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Jaibaras.....	44
Quadro 05 - Apresenta as principais culturas temporárias produzida na bacia, distribuída por municípios.....	78
Quadro 06 - apresenta as principais culturas permanentes produzida na bacia, distribuída por municípios.....	80
Quadro 07 - Sistemas e subsistemas da bacia hidrográfica do rio Jaibaras... ..	91
Quadro 08 – Subsistema ambiental Alvéolos.....	94
Quadro 09 - Subsistema ambiental da Planície Fluvial.. ..	95
Quadro 10 - Subsistema ambiental de Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada.....	96
Quadro 11 - Subsistema ambiental de Supercície Pediplanada Dissecada.....	98
Quadro 12 - Subsistema ambiental de Cristas Residuais.. ..	100
Quadro 13 - Subsistema ambiental Vertente Seca da Meruoca... ..	101
Quadro 14 - Subsistema ambiental Vertente Úmida da Meruoca.....	103
Quadro 15 - Subsistema ambiental Planalto Sedimentar da Ibiapaba.....	104
Quadro 16 - Subsistema ambiental de Escarpa de Ibiapaba.....	105
Quadro 17 - Subsistema ambiental Depressão Periférica de Ibiapaba.....	106
Quadro 18 – Classificação estrutural do solo.....	108
Quadro 19 - Classificação da Permeabilidade.....	109
Quadro 20 – Valores no ensaio de permeabilidade à carga variável.....	110
Quadro 21 – Grau do fator de Erodibilidade do solo.....	111
Quadro 22 – Classes de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão.....	112

## SUMÁRIO

Pág.

### RESUMO

### ABSTRACT

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### LISTA DE QUADROS

### SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Localização.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>17</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
<b>2 – FUNDAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 – Bacia Hidrográfica.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 – Análise Geossistêmica.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 – Sensoriamento e Geoprocessamento.....</b>	<b>21</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Material .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Imagens orbitais.....	23
3.1.2 Dados dos radares de relevo.....	23
3.1.3 Dados Cartográficos .....	24
3.1.4 Programas utilizados.....	25
<b>3.2 Métodos.....</b>	<b>25</b>
3.2.1 Fase I – Levantamento bibliográfico e geocartográfico.....	26
3.2.2 Fase II – Criação do banco de dados e integração da Base Cartográfica.....	27
3.2.3 Fase III – Processamento Digital de Imagens, ajuste da base cartográfica e Mapeamento Prévio.....	28
3.2.3.1 Pré-Processamento Digital da Imagem .....	28
3.2.3.2 Processamento Digital da Imagem.....	30
3.2.4 Fase IV – Trabalhos de campo e recolhimento das amostras.....	33
3.2.5 Fase V – Análise das amostras recolhidas no campo.....	34
3.2.6 Fase VI – Análise dos aspectos naturais da bacia hidrográfica.....	35

3.2.7 Fase VII – Análise Ecodinâmica e Vulnerabilidade a perda de solo.....	36
<b>4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Condições Climáticas e Hidrológicas.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3 Solos.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4 Vegetação.....</b>	<b>59</b>
<b>4.5 Uso e Ocupação.....</b>	<b>77</b>
4.5.1 Produção da lavoura temporária.....	77
4.5.2 Produção da lavoura Permanentes.....	79
4.5.3 Pecuária.....	81
<b>5 SISTEMAS AMBIENTAIS.....</b>	<b>90</b>
<b>6 SUSCEPTIBILIDADE DOS SOLOS À EROSÃO.....</b>	<b>107</b>
<b>6.1 Erodibilidade.....</b>	<b>107</b>
<b>6.2 Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão.....</b>	<b>112</b>
<b>7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>124</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>126</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Jaibaras apresenta uma diversidade paisagística, localizada em uma região de semi-aridez que contrasta com paisagem da serra subúmida da Meruoca e da serra de Ibiapaba, evidenciando os seus recursos naturais. O manejo inadequado desses recursos, acima de sua capacidade de suporte, tem propiciado condições de degradação ambiental.

Segundo Guerra e Cunha (1996) um dos principais fatores que a degradação e deterioração da qualidade ambiental têm provocado é o desenvolvimento de processos erosivos acelerados. A análise integrada de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitoecológicos, climatológicos e de uso e ocupação, juntamente com a interpretação de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, têm auxiliado na análise da degradação ambiental e facilitado na identificação de áreas mais propícias aos processos erosivos.

Para Tricart (1977) as modificações na cobertura vegetal, mesmo que esta, seja totalmente ou parcialmente removida, provoca modificações no equilíbrio do ambiente, onde essas modificações aceleram os processos de erosão, assoreamento dos rios, aumento da temperatura local, redução da recarga d'água de rios e aquíferos, aumento de incêndios, entre outros eventos, isso deve ser pela importância da cobertura vegetal na manutenção do equilíbrio ambiental.

A análise da vulnerabilidade ambiental do rio Jaibaras fundamentou-se com base teórico-metodológica, na teoria geral dos sistemas e na análise geosistêmica, desenvolvida por Bertrand (1972), já a análise da erosão foi através da metodologia desenvolvida por Crepani et al. (1996), baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), onde buscou-se determinar a vulnerabilidade/estabilidade aos processos erosivos, através da integração dos dados de geologia, geomorfologia, clima, solo, cobertura vegetal e uso da terra.

O estudo da bacia do Jaibaras foi facilitado pela utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e por técnicas de geoprocessamento, facilidade esta adquirida com uma visão sinóptica de toda a bacia e pela possibilidade de integração e cruzamento de dados e informações de diferentes fontes, executado pelos sistemas de informações geográficas.

## 1.1 Localização

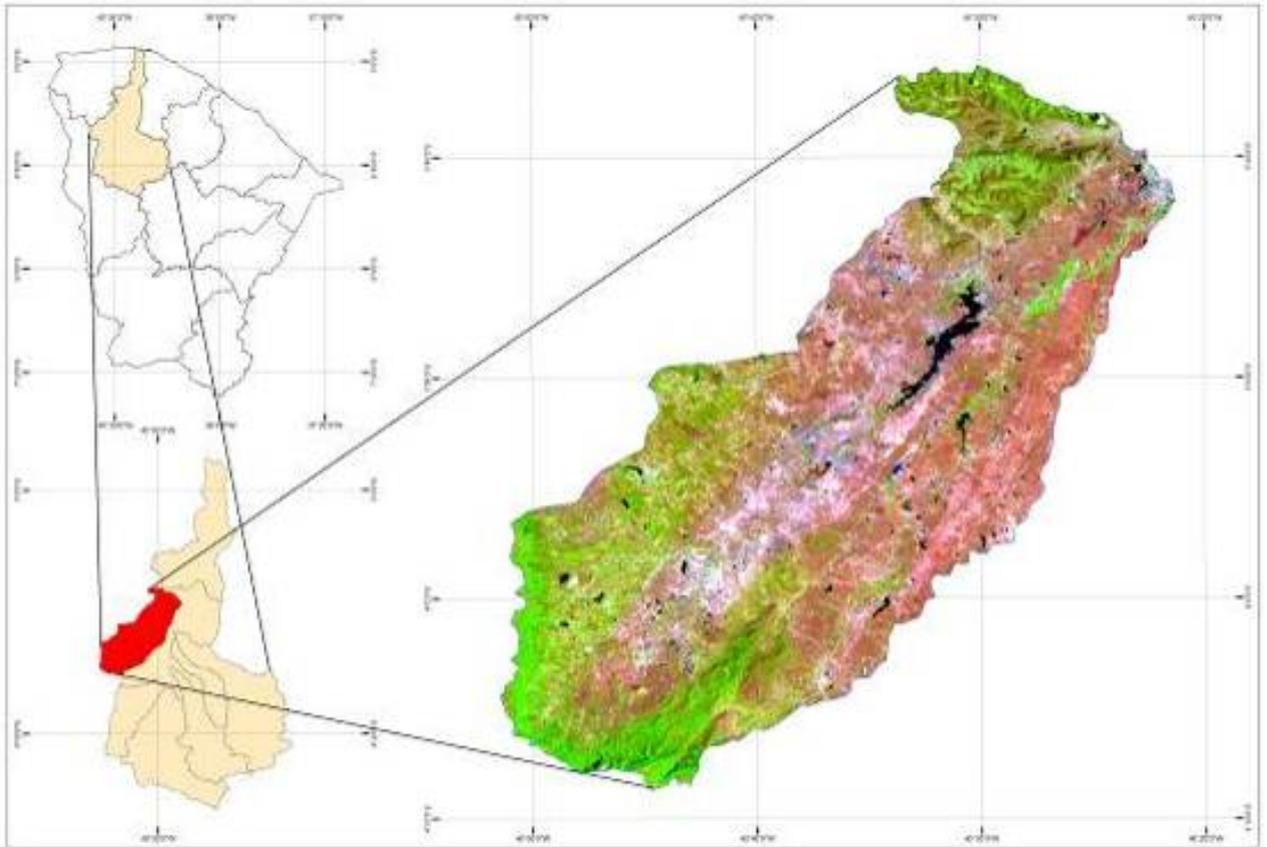
A bacia hidrográfica do rio Jaibaras localiza-se na porção centro-norte do Estado do Ceará, a uma distância de 257 km da capital Fortaleza, ocupa uma área de 1567 km<sup>2</sup>, situada entre as coordenadas 4°08'50,13'' e 3°35'41,96'' de latitude sul e 40°51'40,51'' e 40°21'09,92'' de longitude oeste, é um importante subbacia da bacia hidrográfica do rio Acaraú.

Para o desenvolvimento do trabalho a subbacia do rio Jaibaras será considerada uma bacia hidrográfica, sendo levado em conta somente sua unidade natural, cujo seus limites é determinado pelo escoamento das águas superficiais do rio Jaibaras e pela topografia que delimita o rio.

A bacia hidrográfica do rio Jaibaras banha nove municípios do Estado do Ceará, a tabela 01 apresenta a área dos municípios que são banhados pela bacia, dentre os quais destaca-se com maior percentual (31,6% da área total da bacia) o município de Sobral, este apresentando uma maior diversidade ambiental, caracterizado pela influência paisagística da Meruoca em contraste com o sertão central da Ibiapaba, formando uma grande rede de retalhos litológicos, pedológicos e vegetal. O município de Ibiapina não será levado em consideração no desenvolvimento do trabalho, pois este não chega a representar nem 1% da área total da pesquisa.

**Tabela 01** – Municípios banhados pela bacia hidrográfica do Rio Jaibaras

Municípios	Área do Total do Município (km <sup>2</sup> )	Área Banhada pelo Jaibaras (%)	Área representativa do Jaibaras (km <sup>2</sup> )	Porção em % da bacia
Alcântaras	138,60	19,28	26,73	1,70
Cariré	756,89	58,32	441,45	28,10
Graça	281,89	99,31	279,97	17,70
Ibiapina	414,90	2,00	8,30	0,52
Meruoca	144,94	14,98	21,72	1,38
Mucambo	190,54	71,37	135,99	8,70
Pacujá	76,10	100,00	76,71	4,90
Reriutaba	383,12	21,34	81,76	5,40
Sobral	2.122,98	23,31	494,93	31,60



**Figura 01** – Localização da bacia hidrográfica do rio Jaibaras / CE.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

A análise da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Jaibaras – Ceará, utilizando técnicas de geoprocessamento, buscando compreender o comportamento erosivo da bacia, levando em consideração a dinâmica territorial baseada nos processos de morfogênese e pedogênese.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar os aspectos ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras, a partir de pesquisas bibliográficas e de informações geocartográficas disponíveis;
- Caracterizar os sistemas ambientais, identificando as inter-relações dos componentes ambientais, possibilitando avaliar a vulnerabilidade do ambiente;
- Aplicar diferentes técnicas de processamento digital de imagens em dados do satélite TM LANDSAT 5, referentes aos anos de 1985, 1996 e 2009, para obtenção de informações dos aspectos naturais da bacia hidrográfica;
- Analisar a vulnerabilidade à erosão através de interpretação de produtos de sensoriamento remoto e análise de campo;
- Realizar ensaios de campo e laboratório, objetivando determinar a capacidade de infiltração e permeabilidade mostrando a susceptividade natural à erosão

## **2 – FUNDAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA**

### **2.1 – Bacia Hidrográfica**

A bacia hidrográfica é uma unidade territorial utilizada para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos brasileira (Brasil, 1997), onde se torna uma unidade territorial ideal para análise dos recursos naturais da superfície terrestre, por se configurar um sistema com características físicas e naturais homogêneas.

Levando em consideração Christofolletti (1980); Suguio e Bigarela (1990); Botelhos (1999); Cunha (2001 e 2003); Brigante e Espíndola (2003); e Araújo e Guerra (2005) a bacia hidrográfica corresponde a uma unidade natural, de uma determinada área da superfície terrestre, cujo os limites são criados pelo próprio escoamento das águas sobre a superfície, ao longo do tempo, resultando na interação da água com outros recursos naturais tais como material de origem da bacia, topografia, vegetação e clima.

Para Guerra et al. (1999) na bacia hidrográfica é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes em diversos elementos da paisagem e em diversas escalas de trabalho, tornando-se dessa forma a melhor unidade de investigação, pesquisa, planejamento e gestão dos recursos naturais.

Segundo Christofolletti (1980) a bacia hidrográfica é uma excelente opção de investigação, pois este ambiente é reconhecido como um sistema aberto, dinâmico, onde ocorrem trocas constantes de matéria e energia, sendo assim, um local que abrange todos os organismos funcionando em conjunto, agindo mutuamente numa dada área com os demais elementos.

Desta forma é importante considerar as características naturais da bacia hidrográfica, analisando-a de forma sistêmica e considerando-a como um todo, pois essas características refletem inúmeros processos de sua evolução e determinam sua capacidade de suporte a ocupação, possibilitando ou não o melhor aproveitamento dos recursos naturais, servindo assim como ferramenta para planejamento e gestão.

Neste sentido a bacia hidrográfica foi a unidade territorial escolhida para a análise da vulnerabilidade à erosão do rio Jaibaras, fundamentando-se com base teórico-metodológica, na teoria geral dos sistemas e na análise geosistêmica, desenvolvida por Bertrand (1972) e Sotchava (1976).

## 2.2 – Análise Geossistêmica

O estudo dos geossistemas nos fornece elementos para o conhecimento da estrutura e funcionamento da natureza, proporcionando, assim, o planejamento racional de uso e ocupação do solo.

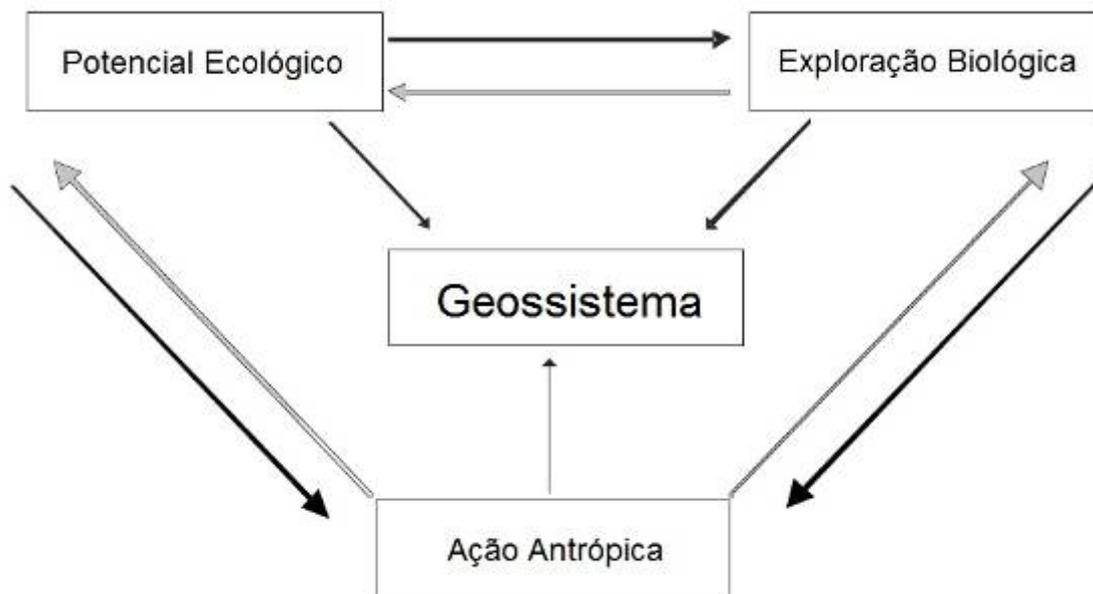
Bertrand (1972) considera a paisagem como o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que se inter-relacionam de forma dialética, formando, na paisagem um conjunto único e indissociável em constante evolução.

Sotchava (1976) descreve o geossistema com uma unidade dinâmica que possui uma organização geográfica própria, classificados em homogêneos ou diferenciados, hierarquizados em três níveis: planetário, regional e topológico, sendo todos chamados de geossistemas. Dentre as características do modelo proposto por Sothava (op. cit) ressalta-se:

- A utilização da análise integrada;
- Conexão entre a natureza e a sociedade;
- Além dos fenômenos naturais inclui os econômicos e sociais;
- A compreensão da qualidade ambiental.

Bertrand (op. cit) apresenta uma hierarquização dos geossistemas de seis níveis distribuídos em duas partes: unidades superiores – Zona, Domínio e Região; unidades inferiores – Geossistema, Geofácia e Geótopo. A pesquisa concentra-se nos níveis inferiores, utilizando a compartimentação dos geossistemas.

Os geossistemas, também chamados de unidades geoambientais, resulta da combinação do potencial ecológico, da exploração biológica e da ação antrópica, todos interagindo uns sobre os outros de forma dialética (figura 02).



**Figura 02** - Geossistema, unidade físico territorial. Fonte: Bertrand, 1972.

Analisando a importância da cobertura vegetal para o desenvolvimento da paisagem, Erhart (1966) elabora a teoria da Bio-resistasia, onde considera sua evolução, e dinâmica, criando assim os conceitos de Bioestasia e Resistasia. Atualizando os conceitos de Erhart (op. cit.), Ticart (1977) propôs a teoria da Ecodinâmica, que avalia o ambiente da superfície terrestre de acordo com o comportamento morfogenéticos, classificando o ambiente em Estável (prevalecendo a pedogênese), Intermediário (equilíbrio entre a pedogênese e morfogênese) e Instável (prevalecendo a morfogênese).

Avaliando a Ecodinâmia levando em consideração a realidade das condições naturais do estado do Ceará Souza et al. (1994) e Souza (2000) propõem um modelo de classificação do ambiente que possibilita avaliar as condições de sustentabilidade dos geossistemas, classificando a Ecodinâmia em ambientes estáveis, ambientes de transição e ambientes fortemente instáveis (quando 01).

**Quadro 01** - Ecodinâmica das paisagens, vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental.

<b>Ecodinâmica</b>	<b>Condições de Balanço entre Morfogênese e Pedogênese</b>
<b>Ambientes Estáveis</b>	Apresentam uma estabilidade morfogenética antiga; os solos são geralmente espessos e bem evoluídos; há forte predominância dos processos pedogenéticos sobre os processos morfogenéticos; a cobertura vegetal tem características climáticas, estando em equilíbrio com o ambiente físico.
<b>Ambientes de Transição ou Intergrades</b>	Têm ação simultânea dos processos morfogenéticos e dos processos pedogenéticos; há incidência moderada das ações areolares; predominância dos processos pedogenéticos indica tendência à estabilidade; predominância dos processos morfogenéticos demonstra tendência à instabilidade.
<b>Ambientes Fortemente Instáveis</b>	Pedogênese praticamente nula; ausência ou grande rarefação de cobertura vegetal; incidência muito forte dos processos morfogenéticos, especialmente das ações eólicas.

Fonte: Adaptado de Tricart (1977) e Souza (2000).

Para subsidiar análise da vulnerabilidade ambiental à erosão do rio Jaibaras, a utilização de ferramentas como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto tiveram destaque no levantamento, armazenamento, cruzamento e análise dos dados e informações sobre os componentes ambientais e de uso da terra da bacia hidrográfica, possibilitando a classificação das unidades geossistêmicas tomando como base a proposta de Souza (2000) adaptado a metodologia de Crepani et al. (1996).

### **2.3 – Sensoriamento e Geoprocessamento**

Segundo Crepani et al. (op. cit.) conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977) é potencializado por auxílio de imagens de satélite, pois esse permitem uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem. Nos últimos anos o sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta poderosa para análise espacial do território, possibilitando um maior controle e conhecimento sobre a utilização dos recursos naturais, viabilizando ações de planejamento, ordenamento e gestão desses recursos. Devido ao aspecto multitemporal, as imagens de satélite, nos permitem avaliar e monitorar as modificações da paisagem, facilitando o estudo de bacias hidrográficas.

Florenzano (2002) ressalta a importância das imagens de satélite e o uso do sensoriamento remoto, pois este nos possibilita identificar, calcular e monitorar ambientes construídos ou transformados pelo homem, no crescimento de áreas desmatadas, atingidas pelo fogo, implantação de pastagens e cultivo, na construção de estradas, portos, aeroportos, represas, áreas susceptíveis à erosão e tudo mais que modifique a paisagem.

Samizava (2009) considera a importância das imagens de sensoriamento remoto e de processos de classificação em estudos de bacia hidrográfica, onde a análise de imagens multiespectrais classificadas possibilita a detecção de mudanças nas áreas susceptíveis à erosão, alteração nos tipos de usos antrópicos, possibilitando a caracterização e entendimento de alguns acontecimentos históricos, como grandes enchentes, construção de barragens hidroelétricas e criação de unidades de conservação.

Já o geoprocessamento teve como objetivo principal “fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos.” (ASSAD e SANO, 1998).

Segundo Câmara Neto (1996):

“O geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, possuindo como seu objetivo principal, fornecer ferramentas computacionais para análise e determinação da evolução espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos.”

Com uma enorme quantidade de sensores remotos orbitais disponíveis no mercado, sendo eles das mais variadas resoluções e aplicações nos depararmos com a necessidade de um refino e aprimoramentos da qualidade de análises e extrações das informações, para que esta seja bem aplicada as nossas necessidades de forma rápida e precisa, onde os dados gerados sejam convertidos em informações confiáveis, proporcionando instrumentos para análise espacial e sendo empregadas no planejamento e gestão do território e de bacias hidrográficas.

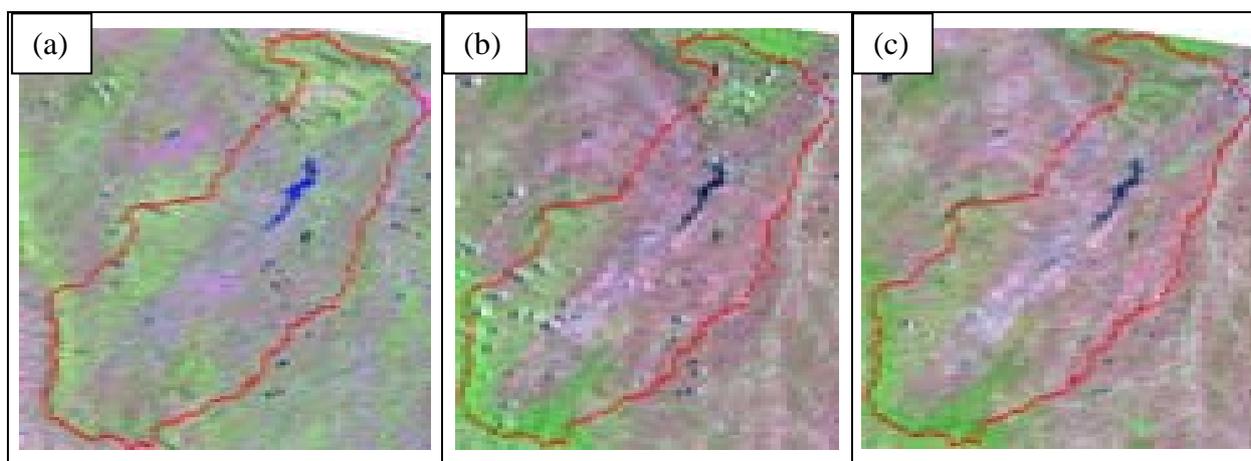
Para isso emprego de sistemas de informação geográfica e de técnicas de processamento digital de imagens orbitais torna-se indispensável para a extração, manipulação e integração de informações geoespaciais, sendo utilizados por diversos profissionais de várias áreas do conhecimento.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Imagens orbitais

Foram empregadas as imagens do satélite LANDSAT 5, sensor TM, órbita ponto 218/63, que apresenta um pixel de 30 metros nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e recobrem a área de estudo, datadas de 25/6/1985, 11/09/1996 e 02/11/2009, foram obtidas no catálogo de imagens do INPE-Brasil (2009), podem ser visualizadas na Figura 03.



**Figura 03** - Composição RGB 543 das Imagens TM/LANDSAT-5, datadas de 25/6/1985 (a), 11/09/1996 (b) e 02/11/2009 (c), com os limites da área em estudo.

Foram adquiridos no site da NASA - *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica, <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>), duas imagens “geocover” no formato Mrsid, que serviram como referência para registrar/georreferenciar as imagens orbitais da área em estudo. As cenas “geocover” possuem um pixel de 14,5 metros e são ortorretificadas, possibilitando assim referência espacial e precisão planimétrica de até 1:100.000 na execução do registrar/georreferenciar das cenas LANDSAT 5.

##### 3.1.2 Dados dos radares de relevo

Foram adquiridos no site INPE – *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>, cenas *SRTM - Shuttle Radar Topography Mission* com o objetivo de recolher referências altimétricas da bacia em estudo, foram utilizadas as cartas, 03\_42\_ZN, 04\_42\_ZN, 03\_405\_ZN, 04\_405\_ZN.

Para auxílio do desenvolvimento e atualização dos dados geológicos e geomorfológicos foram adquiridos no site do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <<http://www.ibge.gov.br/home/>>, *cenos satélite japonês ALOS (Advanced Land Observing Satellite)*, no sensor *PALSAR*, que é um radar imageador, que funciona com um sistema de abertura sintética operando na banda L, sendo utilizadas as seguintes cenas: ALPSRP129967100, ALPSRP129967110 e ALPSRP140177110, com resolução de 30 metros

### 3.1.3 Dados Cartográficos

- Base cartográfica no formato *shapefile* contendo os limites municipais do estado do Ceará, na escala 1:100.000, projeção UTM, zona 24 sul, disponível pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará – IPECE.
- Base cartográfica no formato *shapefile* com a delimitação das bacias hidrográficas do estado do Ceará, na escala 1:100.000, projeção UTM, zona 24 sul, disponível pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH.
- Cartas topográficas folhas de Frecheirinha SA.24-Y-C-VI, Sobral SA.24-X-D-IV, IPU SB.24-V-A-III e Santa Quitéria SB.24-V-B-I, em formato analógico e digital, na escala de 1:100.000, elaboradas pelo Ministério do Exército – Divisão de Serviço Geográfico – DSG em parceria com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, do período de 1978 e 1980, disponibilizado pelo IPECE.
- Mapa geológico folha de Fortaleza SA.24, folha Jaguaribe/Natal SB.24/25, em formato digital, na escala de 1:1.000.000, projeção Cônica Conforme de Lambert, elaborada pelo Departamento de Cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE no projeto RADAMBRASIL em 1977.
- Mapa geológico do Estado do Ceará, no formato *shapefile*, na escala de 1:500.000, da CPRM, 2003.
- Mapa geomorfológico folha de Fortaleza SA.24, folha Jaguaribe/Natal SB.24/25, em formato digital, na escala de 1:1.000.000, projeção Cônica Conforme de Lambert, elaborada pelo Departamento de Cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE no projeto RADAMBRASIL em 1979.

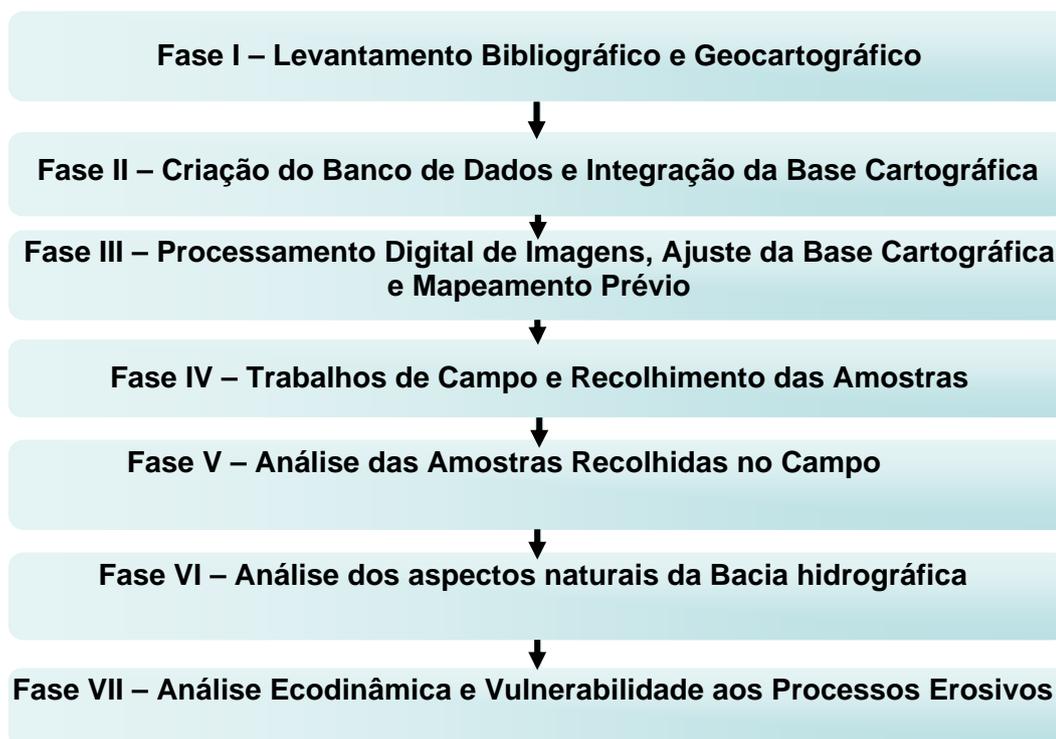
### 3.1.4 Programas utilizados

Foi feita uma pesquisa em busca dos melhores softwares que atendessem os objetivos propostos, encontramos alguns livres e outros proprietários, os que foram utilizados foram:

- ERDAS IMAGINE 9.0 – Desenvolvido pela *Leica Geosystems Geospatial Imaging* que é um software proprietário, mais disponibilizado para teste durante um mês pelo site <<http://www.erdas.com/>>.
- Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING 4.3 e 5.1.3 - Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, software livre, onde pode ser baixado pelo site <[www.inpe.br](http://www.inpe.br)>.
- ARCGIS 9.3 - Desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute- ESRI*, software proprietário, sendo utilizada a licença do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE.

## 3.2 Métodos

Para o melhor desenvolvimento da dissertação os procedimentos metodológicos utilizados foram divididos em sete fases sequenciais (figura 04), de forma a dar maior integridade e facilitar na análise dos resultados obtidos.



**Figura 04** – Fluxograma das etapas metodológicas.

### 3.2.1 Fase I – Levantamento bibliográfico e geocartográfico

A pesquisa teve início com o levantamento de material bibliográfico e de dados geocartográficos e de imagens de satélite da área de estudo em diversas instituições com atividades voltadas ao meio ambiente, no Estado do Ceará, tais como:

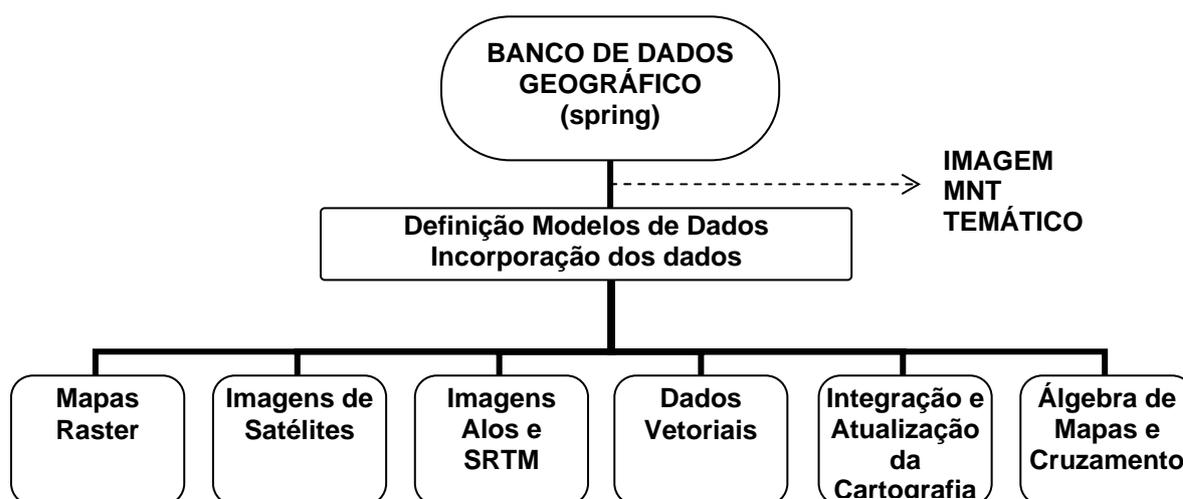
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA;
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE;
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME;
- Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará – SRH;
- Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH;
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE;
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA;
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Ceará – DER;
- Universidade Estadual do Ceará – UECE;
- Universidade Federal do Ceará – UFC;
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM;
- Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM.

Foram consultados artigos, livros, monografias, dissertações, teses e trabalhos técnicos, para dar sustentação teórica da pesquisa e empregadas bases de dados primários que colaboraram na montagem do banco de dados geográfico e na caracterização da área de estudos.

### 3.2.2 Fase II – Criação do banco de dados e integração da Base Cartográfica

O material geocartográfico foi organizado num banco de dados geográfico no programa SPRING 4.3.3 que permite a integração, o armazenamento, e as operações em SIG destes dados. O banco de dados criado permite criar vários projetos distintos e independentes, podendo ser integrados quando necessário. Como padrão para todos os projetos foi escolhido o sistema de gerenciamento de banco de dados dBASE, devido a grande quantidade de dados, chegando a ultrapassar os 4 GB que é o limite de outros gerenciadores.

Foi criado assim o banco de dados **Jaibaras\_DB\_Mestrado**, com seis projetos, conforme representação apresentada na figura 05, um para cada tipo de fonte de dados, o primeiro para integrar os dados de mapas raster, o segundo para tratamento e manipulação das imagens de satélite, o terceiro para integração das imagens de radar e altimétrica, o quarto para integração e manipulação dos dados vetoriais, o quinto para integração e atualização da base cartográfica e finalmente o sexto para a análise e álgebra de mapas, a escolha da divisão do banco de dados por projetos foi devido a grande quantidade de dados residuais que é gerado durante a manipulação, atualização e padronização da base cartográfica.



**Figura 05** – Esquema metodológico da montagem de banco de dados geográficos no programa SPRING 4.3.3.

Foi determinando o sistema de projeção Universal Transverso de Mercador (UTM) no Datum SAD 69, como padrão para todos os projetos, antecedendo as entradas de dados foram criados modelos de dados, nas seguintes categorias: IMG\_25\_06\_1985, IMG\_11\_09\_1996, IMG\_02\_11\_2009, IMG\_PALSAR e IMG\_RELEVO para as imagens raster, MNT e DECLIVIDADE para os modelos numéricos dos terrenos, Limite\_TM para os limites das bacias e os limites municipais, GEOLOGIA, GEMORFOLOGIA, DECLIVIDADE e VEGETAÇÃO.

### 3.2.3 Fase III – Processamento Digital de Imagens, ajuste da base cartográfica e Mapeamento Prévio

Para a adequação dos documentos cartográficos adquiridos no levantamento geocartográfico da pesquisa, foi levado em consideração o efeito limitante do fator de escala, onde foi observado diversas escalas distintas em todas as classes temáticas da cartografia, objetivando a adequação e a padronização da base cartográfica, foi determinado para a pesquisa a escala de 1:100.000, esses dados que não se adequaram a escala determinada, tiveram que ser reinterpretados e adequados a escala, tendo como auxílio as imagens de satélite do sensor Landsat 5, as imagens SRTM, do radar PALSAR e trabalhos de campo.

As técnicas do PDI foram aplicadas para facilitar a extração de informações contidas nas imagens em estudo. As técnicas dividiram-se em atividades de pré-processamento e processamento. O pré-processamento foi aplicado nas imagens para recorte da área, correção geométrica e calibração radiométrica (MARKHAM E BARKER, 1987) e o processamento foram aplicados visando realçar as informações relativas a estrutura, fraturas, compartimentação geológica, geomorfológica e vegetação

#### 3.2.3.1 Pré-Processamento Digital da Imagem

No pré-processamento todas as cenas foram arquivadas em pastas distintas, variando por data de imageamento, onde foram descompactadas, ficando assim em cada pasta seis bandas espectrais distintas. Todo o pré-processamento da imagem foi realizado no programa ERDAS IMAGINE 9.0 com o objetivo de padronizar os dados e possibilitar, assim, a composição de todas as bandas em uma única cena, sendo submetidas posteriormente ao georreferenciamento e a calibração radiométrica.

Com o georreferenciamento buscou-se corrigir geometricamente as imagens LANDSAT 5, determinando o sistema de projeção Universal Transverso de Mercador (UTM)

no Datum SAD 69, como padrão para todas as cenas do estudo, utilizando como referência a Geocover 2000 para correção. As LANDSAT estão com o sistema de projeção UTM com Datum WGS84 norte e o Datum adotado neste trabalho é o SAD69, assim, antes de iniciar o processo de georreferenciamento foi necessário reprojeter essa imagem no ERDAS IMAGINE 9.0.

As imagens do satélite LANDSAT 5 do sensor TM foram compostas respectivamente pelas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 no ERDAS IMAGINE 9.0, a composição de todas as cenas objetivaram a integração dos dados para possibilitar a correção radiométrica. A composição em RGB nas bandas 321, 543, 742 auxiliaram no reconhecimento e interpretação da geologia, geomorfologia e hidrografia, as bandas 4 e 3 auxiliaram no mapeamento da vegetação e possibilitaram a utilização do NDVI.

A correção radiométrica é uma das mais importantes fases do PDI que visa reduzir as distorções acarretadas por possíveis problemas no sensor ou pela defasagem dos imageadores acarretada pelo desgaste do instrumento óptico do sensor, possibilitando assim, obter valores físicos de refletância dos objetos nas imagens de forma mais próxima da realidade, dando maior precisão e veracidade aos dados interpretados. A correção radiométrica foi realizada no programa ERDAS IMAGINE 9.0, utilizando-se o Model Maker, foram feitos dois modelos de dados (figura 06), um para cada período de correção radiométrica, contendo o fluxo do processamento, daí foi inserida uma imagem de entrada, já pré-processada, o algoritmo proposto por Markham e Barker (1987) como função principal, como resultado foi gerada uma imagem de saída corrigida radiometricamente.

A correção foi realizada com base na conversão dos números digitais (ND) para valores de radiância empregando-se a equação 01 proposta por Markham e Barker (1987).

$$L_{\lambda} = a + \frac{(b-a)}{255} \cdot ND \quad (01)$$

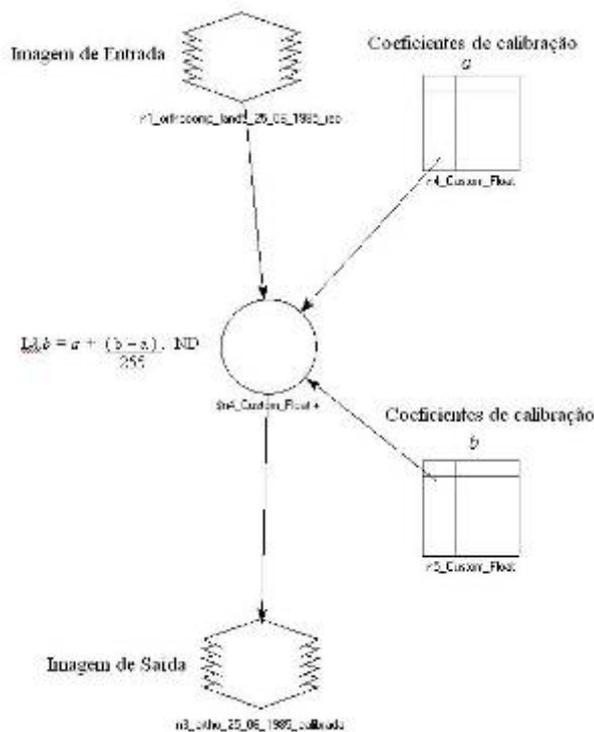
Onde:

$L_{\lambda}$  → É a radiância espectral;

$a$  → É a radiância espectral correspondente ao ND mínimo;

$b$  → É a radiância espectral correspondente ao ND máximo;

$ND$  → É o número digital do pixel considerado.



**Figura 06** - Fluxo de processamento dos coeficientes de calibração. Fonte: Fluxograma para correção radiométrica gerada no ERDAS.

### 3.2.3.2 Processamento Digital da Imagem

As imagens corrigidas radiometricamente foram integralizadas no projeto Imagens de satélite, onde foram submetidas a operações de melhoria de contraste, filtragem, operação entre bandas, segmentação, classificação, e fatiamento que será detalhado a seguir.

Com o objetivo de melhorar a qualidade visual das imagens e facilitar nas interpretações, elas foram submetidas ao realce de contraste linear, onde a manipulação dos histogramas possibilitou a discriminação visual entre as feições geológicas e geomorfológicas.

A aplicação das técnicas de filtragem passa-alta, serviram para realçar os valores de alta frequência das imagens, onde as feições identificadas com esses filtros resultam da modificação dos níveis de cinza, valorizando os detalhes e características de geológicas, como lineamentos, falhas, fraturas.

Após a correção geométrica e a calibração radiométrica foram calculados os índices de vegetação, pelo método da diferença normalizada, através da ferramenta “Operações Aritméticas” SPRING 4.3.3 (Câmara e Medeiros, 1996).

O NDVI é sensível em captar resposta espectral da vegetação, que possui alta reflectância na banda do infravermelho próximo. Este índice foi gerado a partir da imagem

LANDSAT TM 5, utilizando-se da equação 02 e dos valores de ganho e offset 185 e 125 respectivamente.

$$\text{NDVI} = \text{ganho} * [(B_4 - B_3) / (B_4 + B_3)] + \text{offset} \quad (02)$$

Onde:

$B_4$  é a reflectância no infravermelho próximo e

$B_3$  é a reflectância no vermelho

A ferramenta “operação aritmética” do SPRING cria um novo plano de informação contendo o resultado da operação algébrica, esse NDVI recebe o nome de NDVI-(OP5), sendo criado um para cada ano 25/6/1985, 11/09/1996 e 02/11/2009, permitindo assim caracterizar sua distribuição espacial e avaliar sua evolução ao longo do tempo.

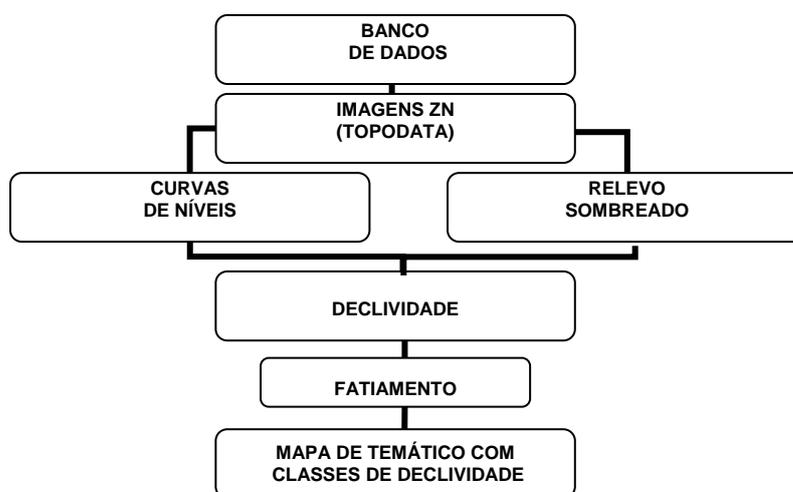
A elaboração da base cartográfica teve como fonte primária as imagens geradas no processamento digital de imagens, as imagens de radar e altimétrica, onde estas passaram por dois tipos de classificação; a primeira referenciada como análise visual, onde foram considerados uma série de elementos de interpretação: tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização, sendo possível a identificação e determinação dos limites e feições geológicas e geomorfológica. A segunda classificação foi executada levando em consideração a natureza multiespectral da imagem, onde está foi submetida algoritmos de classificação.

As imagens processadas foram submetidas à segmentação no SPRING 4.3.3. O método escolhido foi o de crescimento de regiões. Nesse processo a imagem é dividida em regiões levando em consideração uma análise pontual para cada pixel. A partir daí os pixels foram agrupados com valores de similaridade inferiores ao limiar igual a 10 para todas as imagens compostas que foram fragmentadas em sub-imagens, e reagrupadas em seguida, com o limiar de agregação para uma área mínima igual a 10 pixel. De varias aproximações testadas os valores de similaridade 10 e de área mínima de 10 pixel foi o resultado que mais se mostrou homogêneo. A composição em RGB das bandas 543, 742, 753, 321 e 453 facilitaram na homogeneização da reflectância do espectro eletromagnético, possibilitando uma melhor separação dos segmentos, melhorando a precisão do mapeamento e a divisão entre as classes.

Efetou-se uma classificação supervisionada por região baseada na definição de áreas de treinamento para as classes temáticas, definidas no modelo de dados. Para realizar a classificação usou-se o algoritmo classificador por histograma, implementado no programa SPRING 4.3.3, que adquire amostras do treinamento para estimar os agrupamentos

(clustering) de probabilidade para as 8 classes determinadas pelo analista, que ao final, todas as regiões ficaram associadas a uma classe definida pelo classificador.

O mapa temático de declividade foi gerado a partir do MNT de altimetria da variável ZN do TOPODATA (Valeriano, 2008). As cartas 03\_42\_ZN, 04\_42\_ZN, 03\_405\_ZN, 04\_405\_ZN foram mosaicados cobrindo toda à área da bacia, que se encontra na interseção das quatro cartas, mantendo a integridade correta para os processamentos de geração dos produtos (figura 07).



**Figura 07** – Esquema metodológico usando o MNT para a variável ZN do TOPODATA

A imagem de relevo sombreado foi gerada a partir de uma grade regular sobre a qual foi aplicado um modelo de iluminação, a grade utilizada foi a variável ZN do TOPODATA, sendo executado esse procedimento no SPRING 4.3.3. Foi utilizada a ferramenta geração de imagens no menu MNT, e foram geradas três opções de relevo sombreado, sendo utilizados como parâmetros de iluminação 135°, 120° e 90° graus de azimute, 45°, 20° e 90° graus de elevação e 10, 10 e 50 metros de exagero de relevo, possibilitando uma visão próxima da realidade criando uma superfície tridimensional a partir de uma exibição bidimensional da mesma, essas imagens geradas foram determinantes para compartimentação do relevo e para o auxílio do desenvolvimento de toda a cartografia da área em estudo.

As isolinhas são curvas que unem entre si pontos da superfície que tenham o mesmo valor de cota isovalor, possibilitando analisar as variações de cota, elas foram geradas levando em consideração a SRTM TOPODATA, na aba MNT, utilizado a ferramenta geração de isolinha, foi escolhido a função gerar em arquivo, sendo a entrada dos dados do tipo grade

estabelecendo um passo fixo, possuindo uma variação de equidistância de cota de 50 em 50 metros, cota padrão de mapeamento de 1:100.000.

A declividade objetiva avaliar a inclinação da superfície do terreno levando em consideração um plano horizontal, é baseado em cima de um modelo numérico do terreno (MNT) da SRTM TOPODATA, foi processada na forma de gradiente sendo a taxa máxima de variação do valor de elevação calculada em graus ( $^{\circ}$ ), para determinar as classes de declividade foi utilizado a metodologia proposta por Crepani (2008), servindo para o mapeamento na escala de 1:100.000. Foi gerada no SPRING utilizando a aba MNT com a ferramenta Declividade, onde o dado de entrada foi o formato grade, a saída declividade e a unidade de medida foi em graus, foi preciso modificar da categoria no modelo de dado de MNT e salvar em Declividade.

O fatiamento consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma imagem declividade, onde são levados em consideração os intervalos de valores de cotas, pré-estabelecidas no sistema pelo usuário, para a pesquisa foi criado no modelo de dados, junto a categoria temática de DECLIVIDADE, 21 classes distintas classificadas (tabela 02), levando em consideração a vulnerabilidade a erosão, conforme a tabela . Posteriormente ao fatiamento, a nova imagem, no formato raster, passa por um processo na aba temática onde a matriz é convertida em vetor.

**Tabela 02 - Valores de Vulnerabilidade para a Declividade**

Declividade		Declividade	
Graus ( $^{\circ}$ )	Vulnerabilidade	Graus ( $^{\circ}$ )	Vulnerabilidade
< 2	1,0	15,2 – 16,5	2,1
2 – 3,3	1,1	16,5 – 17,8	2,2
3,3 – 4,6	1,2	17,8 – 19,1	2,3
4,6 – 5,9	1,3	19,1 – 20,4	2,4
5,9 – 7,3	1,4	20,4 – 21,7	2,5
7,3 – 8,6	1,5	21,7 – 23,0	2,6
8,6 – 9,9	1,6	23,0 – 24,4	2,7
9,9 – 11,2	1,7	24,4 – 25,7	2,8
11,2 – 12,5	1,8	25,7 – 27,0	2,9
12,5 – 13,8	1,9	> 27	3,0
13,8 – 15,2	2,0		

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

### 3.2.4 Fase IV – Trabalhos de campo e recolhimento das amostras

Nos trabalhos de campo foi percorrido a bacia em estudo, com o apoio de um GPS, de uma câmera fotográfica, com o auxílio das imagens LANDSAT 5 sensor TM, mapas altimétricos, facilitando assim a análise e levantamento das classes geológica,

geomorfológica, perfis de alteração e determinação dos locais de recolhimento das amostras a serem retiradas para os ensaios em laboratório de granulometria, matéria orgânica e permeabilidade.

Para o levantamento geológico foi levada em consideração a base cartográfica da CPRM (2003), imagens tratadas na fase III, onde buscou-se o reconhecimento e atualização das principais unidades litoestratigráficas, determinando os limites entre as unidades, a existência de afloramentos, presença de fraturas e coleta das amostras inderformadas de solo.

As amostras de solo foram coletadas em diferentes áreas da bacia, com o auxílio de pás, martelo geológico, amostradores, sacos plásticos e um pequeno batistaca, servindo, essas amostras, para a realização de ensaios de granulometria, matéria orgânica e de solo inderfomado.

### 3.2.5 Fase V – Análise das amostras recolhidas no campo

As 16 amostras colhidas em campo foram submetidas à análise granulométrica, sendo utilizado as normas da ABNT – Solo (Análise Granulométrica) NBR 7181, NBR 6457 e NBR 5734, de forma que as amostras foram pesadas, posteriormente peneiradas e colocadas em estufa para secar a uma temperatura de 45°C por um período de 24 horas. As amostras foram classificadas em areia grossa de 4,8 – 2,00 mm, areia média de 2,00 - 0,42 mm, areia fina de 0,42 – 0,074 mm, silte 0,074 – 0,005 mm e argila < 0,005 mm.

As 16 amostras também foram submetidas as determinação de quantidade de matéria orgânica, que foram realizadas no laboratório de Solos e Água da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos em parceria com a UFC, esse método consiste em secar a amostra a uma temperatura de 45°C, durante 24 horas, posteriormente desagregar e peneirar em uma malha de 2 mm, em seguida material é pesado e recolhido o pesar 0,5g e adicionar 10ml de solução de bicromato de potássio (0,4N) e de sulfato de prata. Leva-se a mostra para um condensador cheio d'água sobre uma placa aquecedora. Ao levantar a fervura, após contar 5 minutos, adiciona-se mais 80ml de água destilada, 2ml ácido ortofosfórico, 3 gotas do indicador difenelamina, titular com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1N até que a cor azul desapareça, cedendo lugar a verde, anotar o número de ml gastos e proceder a uma prova em branco com 10ml da solução do bicromato de potássio e anotar o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto, depois é só calcular a percentagem de carbono orgânico existente na amostra.

Visando determinar o coeficiente de permeabilidade do solo, com a água percolando através do solo, as 16 amostras foram submetidas ao ensaio de permeabilidade com carga variável (NBR 14.545), sendo executado no Laboratório de Geotécnica do curso de Engenharia Civil da UFC. O coeficiente de permeabilidade é calculado a partir da seguinte equação (equação 02):

$$K = 2,3.(aL/At).\log(ho/ hf) \quad (02)$$

Onde:

a = seção do tubo piezométrico

L = espessura do corpo de prova

A = seção da amostra

t = tempo decorrido do ensaio

ho = altura inicial do nível d'água

hf = altura final do nível d'água

K = coeficiente de permeabilidade

Visando determinar a susceptibilidade à erosão dos diferentes tipos de solos, foi aplicado o momograma de Wischemeier *et. al.*, 1978 (Erodibilidade), onde buscou-se através das propriedades físicas e químicas do solo, representar à erosão, submetidos às mesmas condições de chuva, declive, manejo e práticas conservacionistas. Seguindo os Seguintes procedimentos:

- Análise da declividade e altimetria;
- Cálculo do fator K de acordo com o nomograma de Wischmeier *et al.* (1978), o qual considera as seguintes características de solo: granulometria, porcentagem de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade.

### 3.2.6 Fase VI – Análise dos aspectos naturais da bacia hidrográfica

Com o levantamento feito pela bibliografia, geocartográfico, atualização da base cartográfica, imagens de sensoriamento remoto e trabalhos em campo, foi possível analisar de forma qualitativa as características da bacia hidrográfica em estudo, considerando seus aspectos naturais e elaborando a caracterização dos sistemas ambientais.

Com a caracterização dos sistemas ambientais, buscou-se identificar as inter-relações dos componentes geoambientais de forma hierarquizadas, objetivando determinar suas particularidades, indicando assim, sendo possível avaliar a capacidade de suporte do uso e ocupação da terra.

### 3.2.7 Fase VII – Análise Ecodinâmica e Vulnerabilidade a perda de solo

Para a análise Ecodinâmica e vulnerabilidade a perda de solo foi adaptado, para a realidade da bacia hidrográfica, a metodologia desenvolvida pelo INPE em convênio com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (Crepani *et al.* 1996, 2001, 2008), onde buscou-se determinar o grau de vulnerabilidade à erosão baseada nos processos de morfogênese e pedogênese (Tricart, 1977).

A vulnerabilidade foi determinada a valores variando de 1,0 a 3,0, possuindo um total de 21 valores, onde a variação desses valores foi determinante para determinação de cinco classes de vulnerabilidade ambiental e a erosão (Quadro 02). Com este procedimento metodológico é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo a partir de um banco de dados contendo as informações básicas do meio físico e de uso da terra de uma determinada região.

Quadro 02 – Classes de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão.

<b>Grau de Vulnerabilidade</b>	<b>Relação Pedogênese/Morfogênese</b>	<b>Valor</b>
Ambiente Estável	Prevalece a Pedogênese	<b>1,0 a 1,3</b>
Estabilidade Moderada	Modificações na Estabilidade inicial	<b>1,4 a 1,7</b>
Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	<b>1,8 a 2,2</b>
Vulnerabilidade Moderada	Transição do equilíbrio para Morfogênese	<b>2,3 a 2,6</b>
Altamente Vulnerável	Prevalece a Morfogênese	<b>2,7 a 3,0</b>

Fonte: Modificado de Crepani et al. (1996)

Com a elaboração do grau de vulnerabilidade busca-se determinar a classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre situações que há predominância de processo pedogenéticos, passando por situações intermediárias até chegar ao predomínio dos processos morfogenéticos para cada tema e dentro de uma unidade geoambiental.

Esses valores de vulnerabilidade são aplicados aos temas que foram cartografados (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação, Clima e Uso e Ocupação) de acordo cada classe, recebendo posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores

individuais (equação 03), que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$V = (G + R + S + Vg + C + U) / 6 \quad (03)$$

onde:

$V$  = Vulnerabilidade

$G$  = vulnerabilidade para o tema Geologia

$R$  = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

$S$  = vulnerabilidade para o tema Solos

$Vg$  = vulnerabilidade para o tema Vegetação

$C$  = vulnerabilidade para o tema Clima

$U$  = vulnerabilidade para o tema Uso e Ocupação

Dentro desta escala de vulnerabilidade as unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0 enquanto que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0.

A vulnerabilidade geomorfologia é calculada levando em consideração os valores de vulnerabilidade da altimetria, declividade e compartimentação geomorfológica (equação 04).

$$R = (A + D + C) / 3 \quad (04)$$

onde:

$R$  = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

$A$  = vulnerabilidade para o tema Altimetria

$D$  = vulnerabilidade para o tema Declividade

$C$  = vulnerabilidade para o tema Compartimentação Geomorfológica

## **4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO**

As características físico-geográficas da bacia foram realizadas a partir de leituras bibliográficas e análise dos fatores geoambientais disponíveis em produtos cartográficos, utilizando-se técnicas de geoprocessamento e trabalhos de campo.

### **4.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos**

Os aspectos geológicos e geomorfológicos são muito importantes, pois permitem conhecer a área de estudo levando em consideração a sua estrutura, os fatores de formação endógenos, e os fatores exógenos, determinando assim o modelado do relevo e a dinâmica da superfície.

A bacia hidrográfica do rio Jaibaras está inserida no Graben de Jaibaras, pertencendo ao extremo noroeste da província Borborema, limitando-se ao oeste com a bacia paleozóica do Parnaíba e ao sul, com o Craton do São Francisco, fazendo parte assim, do arcabouço estrutural do domínio noroeste do Ceará, compreendendo uma arquitetura de Horts e Grabens separadas por zonas de cisalhamento antigos e profundos (Torquato e Nogueira Neto, 1996). Possui em seus processos de formação e extensão associados à fissão do Panotia (LIMA e FONTES, 1999), sendo assim, responsável pela formação de bacia intracratônicas e pela ocorrência de atividades plutônicas intensas, formando rochas extrusivas e corpos graníticos diversos.

Segundo Schobbernhau et al. (1984) a Província da Borborema possui uma gênese relacionada à orogênese Brasileira, sendo um importante evento tectônico na evolução geológica do Brasil. Para Brito Neves et al. (1995) o lineamento transbrasiliano corta o Brasil do Centro-oeste ao Nordeste, sendo uma larga zona de cisalhamento que possui direção SW-NE, na bacia hidrográfica do rio Jaibaras o lineamento transbrasiliano recebe o nome de falha Sobral-Pedro II.

O quadro 03 e o mapa da figura 08 apresenta a síntese das estruturas geológicas da bacia hidrográfica do Rio Jaibaras, que serão descritas logo abaixo as principais unidades litoestratigráficas (CPRM, 2003):

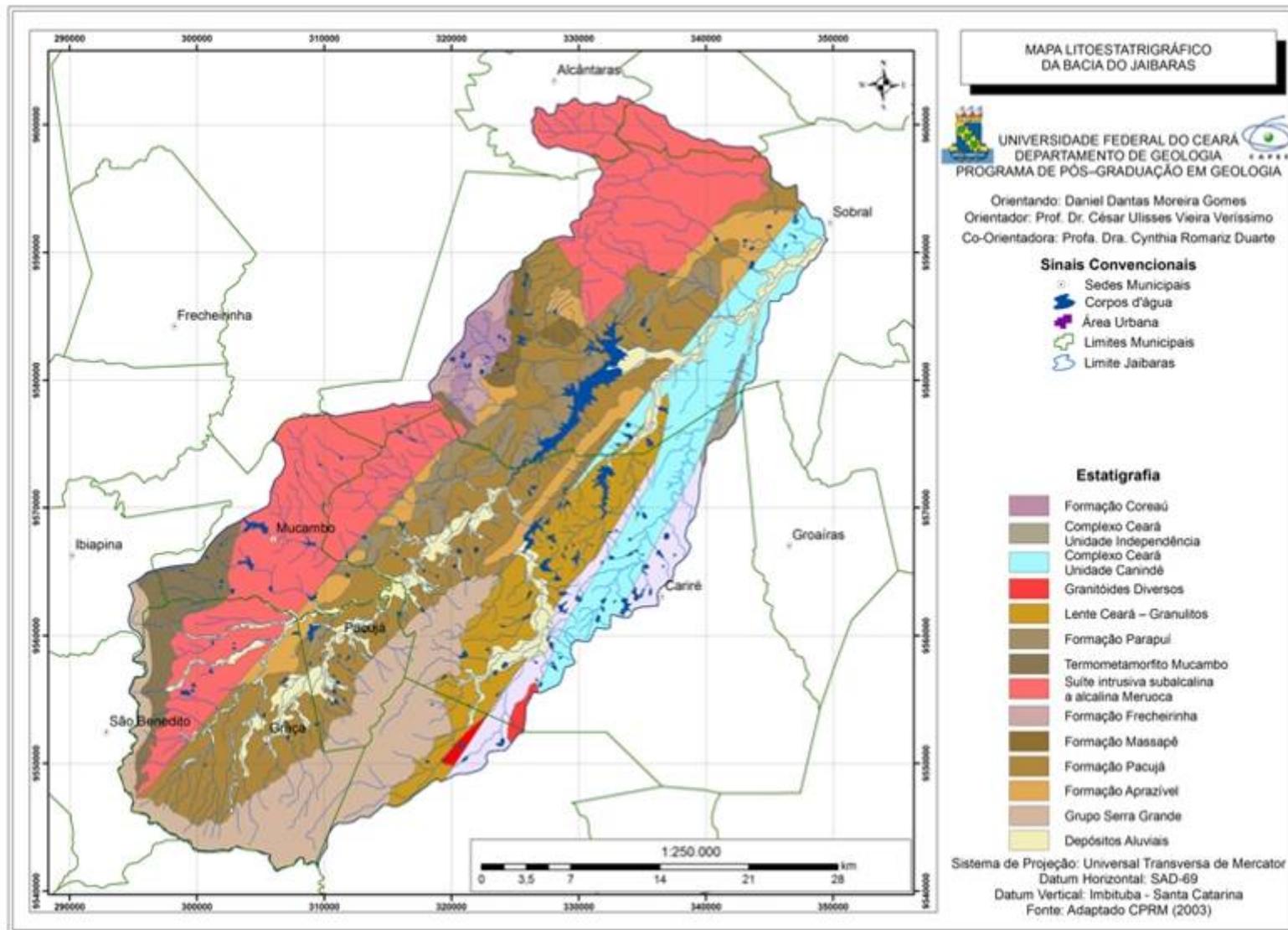
**Quadro 03 - Síntese das estruturas geológicas da bacia hidrográfica do rio Jaibas**

<b>Era</b>	<b>Período</b>	<b>Domínios Morfoestruturais</b>	<b>Grupos Estruturais</b>	<b>Formações</b>	<b>Unidades</b>	
<b>Pré – Cambriano</b>	Médio-Superior	Escudos e Maciços Antigos	Complexo Ceará		Unidade Independência	
				Formação Coreaú	Unidade Canindé	
						Corpo - Granitóides diversos
						Lente Ceará
<b>Paleozóico</b>	Cambriano			Formação Parapuí		
					Termometamorfito Mucambo	
					Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca	
	Cambro-Ordoviciano	Bacias Paleo-Mesozóicas	Grupo Ubajara	Formação Frecheirinha		
			Grupo Jaibas	Formação Massapê		
				Formação Pacujá		
	Formação Aprazível					
Siluriano		Grupo Serra Grande				
<b>Cenozóica</b>	Quaternário (Holoceno)	Depósitos Sedimentares Cenozóicos		Depósitos aluviais do Rio Jaibas		

- Formação Coreaú – datada da era Neoproterozóico no período Criogeniano, de idade variando de 850 a 651 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de arenito subarcóseos e arcóseos de tonalidades cinzentas e cremes, e grauvas conglomeráticas.
- Complexo Ceará - Unidade Independência – datado da era Paleoproterozóico a Neoproterozóico no período Sideriano a Ediacarano, de idade variando de 2500 a 542,1 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de paragneisses e micaxistos pelíticos (biotita, mais ou menos: granada, sillimanita, cianita), em parte migmatíticos (metatexitos de estrutura bandada ou bandada-dobrada), com nódulos ricos em sillimanita (fibrolita), além de fácies facoidais e miloníticas; incluem-se rochas carbonáticas, quartzíticas, rochas calcissilicáticas e anfíbolíticas (mais ou menos granada).

- Complexo Ceará - Unidade Canindé – data do Proterozóico, apresenta uma litologia composta de Paragneisses associados a jazimentos estratóides e diqueiformes de granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não e, em parte, facoidais.
- Corpo - Granitóides diversos – apresenta uma litologia composta de Biotita-granitos, monzogranitos, sienitos, quartzomonzonitos e granitos porfiríticos.
- Lente Ceará - Granulitos – apresenta uma litologia composta de granulitos máficos, enderbitos e leptinitos.
- Formação Parapuí – datada da era do Paleozóico no período Cambriano a Ordoviciano, de idade variando de 540 a 436 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de Basaltos, andesitos, riolitos, gabros, diabásios e dacitos, com seções marcadas por associações vulcano-vulcanoclástica e piroclástica.
- Zona Termometamorfito Mucambo – apresenta uma litologia composta de Quartzitos conglomeráticos, arenitos grossos epimetamórficos, mal classificados, metarenitos finos a médios, com matriz síltico-argilosa de tonalidade cinza-clara.
- Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca – datada da era do Paleozóico no período Cambriano, de idade variando de 532 a 523 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de monzonitos, granodioritos e sienitos com predomínio da fácies equigranular; granulação média a grossa.
- Formação Frecheirinha – datada da era Neoproterozóico no período Criogeniano, de idade variando de 850 a 651 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de metacalcários pretos, cinza-escuros e cinza-azulados, raramente cremes e rosados, de granulação fina, bastante impuros e com intercalações eventuais de delgados leitos de margas, metassiltitos e quartzitos.
- Formação Massapé – datada da era Paleozóica no período Cambriano a Ordoviciano, de idade variando de 542 a 433,8 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de ortoconglomerados brechóides, de matriz areno-arcoseana cinzenta e ortoconglomerado polimítico com seixos de gnaisses e granitóides e brecha (fluvial), possuindo uma declividade variando de plana a suave ondulado.

- Formação Pacujá – datada da era Paleozóica no período Cambriano a Ordoviciano, de idade variando de 542 a 433,8 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de arenitos líticos e arcoseanos, folhelhos e siltitos vermelhos, leitos conglomeráticos, possuindo uma declividade variando de plana a suave ondulado.
- Formação Aprazível – datada da era Paleozóica no período Cambriano a Ordoviciano, de idade variando de 540 a 436 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de Ortoconglomerados grossos e polimíticos, com matriz arcoseana, abrangendo o centro da bacia e o sopé do maciço da Meruoca, possuindo uma declividade variando de plana a suave ondulado, sua formação origina-se de um ambiente deposicional continental, de um sistema fluvial entrelaçada em um depósito de barras conglomeráticas: cascalheira.
- Grupo Serra Grande – datada da era do Paleozóico no período Siluriano, de idade variando de 435 a 411 milhões de anos, apresenta uma litologia composta de Conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos (fluvial entrelaçado, marinho raso e glacial), possuindo uma declividade variando de fortemente ondulado a escarpado.
- Depósitos Aluviais – apresentam sedimentos Cenozóicos em terrenos do período quaternário, apresentando assim, uma litologia composta de argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos argilas orgânicas, transportados pela dinâmica do sistema fluvial.



**Figura 08** – Mapa das unidades litoestratigráficas.

A Geomorfologia funciona como principal critério para a caracterização geoambiental e delimitação de Sistemas Ambientais, já que possui um caráter de síntese das particularidades e interações peculiares do ambiente. Além disso, o relevo é também um relevante condicionante do uso e da ocupação do espaço.

Cassetti (1995) considera o relevo um componente do estrato geográfico no qual o homem vive como suporte das interações naturais e sociais. É um produto do antagonismo entre as forças endógenas e exógenas, de grande interesse da Geografia como objeto de estudo, por ser no relevo que se refletem as interações naturais e culturais.

Para se analisar as mudanças ambientais impetradas pelo homem, é preciso entender que tudo começa a partir da necessidade dele (o homem) ocupar certo espaço, este explícito pelo relevo. A ocupação dessa parcela do relevo, tanto como suporte, quanto como recurso, conseqüentemente, culminará em modificações do estado inicial ou primitivo (desmatamento, poluição, manejo inadequado do solo, entre outros), gerando alterações da exploração biológica, as quais se refletirão diretamente no potencial ecológico.

Ab'Saber (1969) apresenta os níveis de integração da análise geomorfológica fundamentado em exaustivas atividades de pesquisa de campo e gabinete e propõe como subsídio metodológico, os seguintes níveis de abordagem:

- a compartimentação topográfica: consiste na caracterização precisa das formas de relevo de cada compartimento analisado; refere-se à identificação de unidades geomorfológicas (análise horizontal);

- estrutura superficial da paisagem: análise das formações superficiais derivadas dos processos paleoclimáticos e morfoclimáticos que atuaram na formação dos compartimentos topográficos, proporcionando o entendimento cronogeomorfológico dessas unidades;

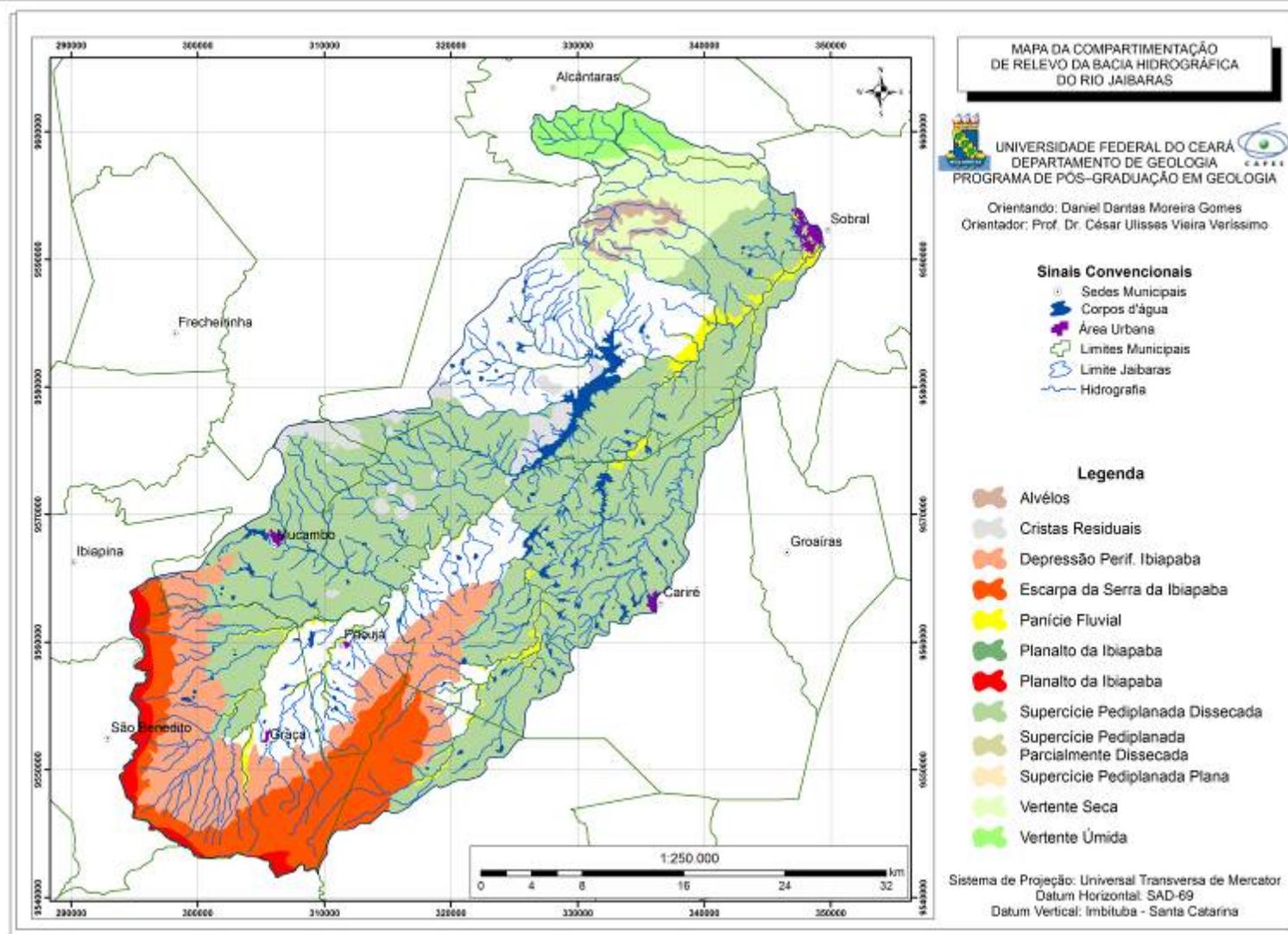
- fisiologia da paisagem: trata dos processos morfoclimáticos em atuação, estabelecendo a funcionalidade da paisagem como um todo, baseada no comportamento dos elementos do clima, motores da morfodinâmica atual; nesse nível insere-se o homem como sujeito que se apropria da paisagem, modificando as relações entre as forças de ação (processos morfodinâmicos) e reação do substrato (comportamento das vertentes).

Souza (2000) estabeleceu as unidades geomorfológicas para o Estado do Ceará (subcompartimentação regional do relevo), analisando os fatores que colaboraram para a sua formação, como a estrutura geológica, as diferenciações petrográficas (quanto à origem e transformações das rochas), a evolução paleogeográfica, além das derivações locais de clima e vegetação que incidem na evolução morfogenética, levando em consideração os critérios de classificação das unidades geomorfológicas para os estado e as imagens LANDSAT 5, a bacia

hidrográfica do Jaibaras foi subcompartimentada em: Alvéolos, Planícies Fluviais, Supercície Pediplanada Parcialmente Dissecada, Supercície Pediplanada Parcialmente Dissecada, Cristas Residuais, Vertente Seca da Meruoca, Vertente Úmida da Meruoca, Planalto da Ibiapaba, Depressão Periférica da Ibiapaba / Superfície Dissecada Escarpa de Ibiapaba como pode ser observado no quadro 04 e no mapa de compartimentação do relevo representado na figura 09.

**Quadro 04** - Unidades geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Jaibaras.

<b>MACRO COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO</b>	<b>UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAS</b>
Depósitos Quaternários	Alvéolos	Superfícies de acumulação
	Planícies Fluviais	Superfícies de acumulação
Depressão Sertaneja	Supercície Pediplanada Parcialmente Dissecada	Superfície de erosão
	Supercície Pediplanada Dissecada	Superfície de erosão
Maciços Residuais	Cristas Residuais	Superfícies de dissecação
	Vertente Seca da Meruoca	Superfícies de dissecação
	Vertente Úmida da Meruoca	Superfícies de dissecação
Planalto Sedimentar da Ibiapaba	Planalto da Ibiapaba	Superfície de erosão
	Depressão Periférica de Ibiapaba / Superfície Dissecada	Superfícies de dissecação
	Escarpa de Ibiapaba	Superfícies de dissecação



**Figura 09** – Mapa de compartimentação do relevo.

A compartimentação geomorfológica foi elaborada segundo adaptação da metodologia aplicada ao tema Geomorfologia pelo Projeto Radambrasil (1981), levando em consideração a evolução das formas, podendo assim classificar em superfícies de acumulação, de dissecação e erosivas.

As *Planícies Fluviais* são áreas planas resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, bordejando as calhas dos rios. Possuem dimensões expressivas a partir do médio e baixo curso dos rios, quando os sedimentos aluviais têm menor calibre.

Essas planícies são fortemente utilizadas nas atividades agroextrativistas, pois significam áreas de diferenciação geoambiental por apresentarem condições melhores quanto às características edafopedológicas e hidrológicas em relação ao domínio das depressões sertanejas.

Os maciços residuais e o Planalto Sedimentar da Ibiapaba são áreas serranas dispersas pelas depressões sertanejas com extensões variadas, onde o relevo assume topografias onduladas até formas escarpadas e as altitudes oscilam entre 650 – 900 metros, podendo ser observadas no mapa altimétrico da bacia (figura 10). Tais formas de relevo modificam o contexto das superfícies rebaixadas dos sertões, as quais se constituem de formas fortemente dissecadas em feições de cristas em rochas do embasamento cristalino.

Apesar do contraste existente entre as serras e os sertões não apenas no tocante à topografia do relevo, mas também às conotações mais amplas do ponto de vista ecológico e do uso da terra, as características morfoclimáticas das serras não se assemelham às condições predominantes nos sertões.

Pela disposição das vertentes da Serra da Meruoca, a topografia do relevo é marcada por declives íngremes e com intensas limitações geoambientais ao uso agrícola, em função do relevo dissecado, dos solos rasos como os Neossolos Litólicos e afloramentos de rochas, além da pobreza relativa das condições hidrológicas de superfícies e sub-superfície.

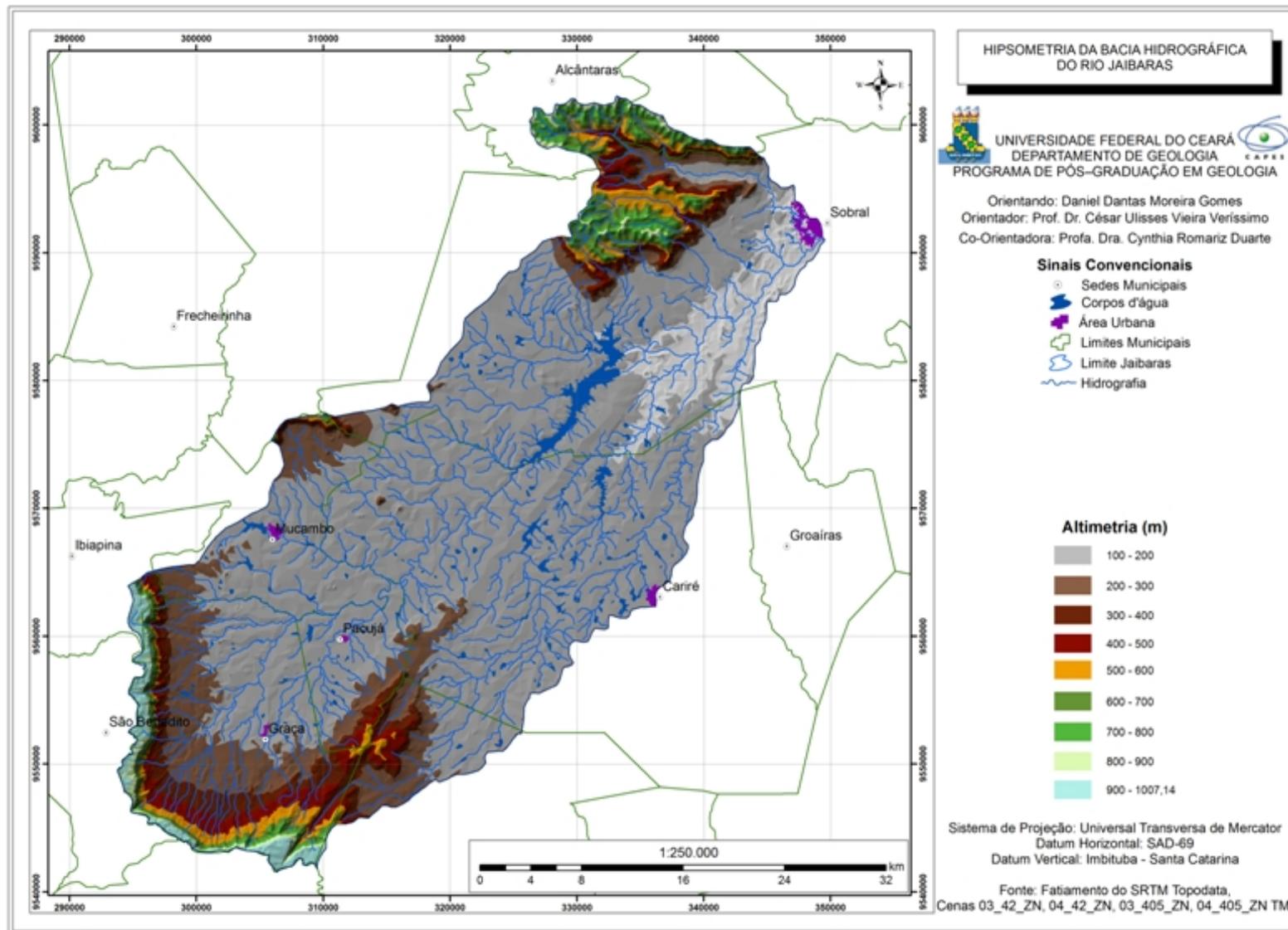


Figura 10 – Mapa da hipsometria da bacia.

Embutidos nas encostas da Serra da Meruoca, na forma de secções alargadas de fundo de vale, verificam-se a existência de *Alvéolos*, originados pelo entulhamento de sedimentos aluviais e coberturas coluviais.

Na base das escarpas, os sedimentos coluviais transportados pela erosão em lençol do escoamento superficial, ou por efeito da gravidade, normalmente encontram-se acumulados, formando os *Alvéolos*.

As *Depressões Sertanejas Semi-Áridas* abrangem a maior parcela do território da bacia hidrográfica do rio Jaibaras. Envolvem terrenos de topografia variada, podendo ser visualizadas espacialmente no mapa de declividade representado na figura 12, compartimentados de acordo com o índice de dissecação do relevo em superfícies pediplanadas parcialmente dissecadas e dissecadas. Possuem altimetria modesta que, normalmente, não ultrapassa os 400 metros. Ocorrem com frequência embutidas entre maciços residuais e os planaltos sedimentares. Apresenta acentuadas diversificações litológicas (predomínio do Pré-Cambriano Superior), amplamente submetidas às condições semi-áridas quentes, com forte irregularidade pluviométrica.

São vastas as superfícies de aplainamento, onde o trabalho erosivo truncou as diversas rochas constituintes, ora dissecando, ou rebaixando os setores de litologias mais fracas. Atribuí-se a esse processo a origem de *Cristas Residuais*, em formas alongadas e isoladas em meio à depressão sertaneja.

Apresenta mosaico de solos com grande variedade em associação de Planossolos, Vertissolos, Neossolos Litólicos e Argissolos, sendo comuns os solos rasos, afloramentos rochosos, chãos pedregosos e campos de *inselbergs*, extensivamente recobertos por diversos padrões fisionômicos e florísticos de Caatingas fortemente degradadas.

Há o predomínio das atividades agropecuárias, mas há uma alta vulnerabilidade às secas periódicas devido ao potencial de recursos hídricos deficitários durante quase todo o ano e o estado atual de conservação dos solos e da vegetação, onde os efeitos da degradação generalizada podem conduzir a casos evidentes de desertificação.

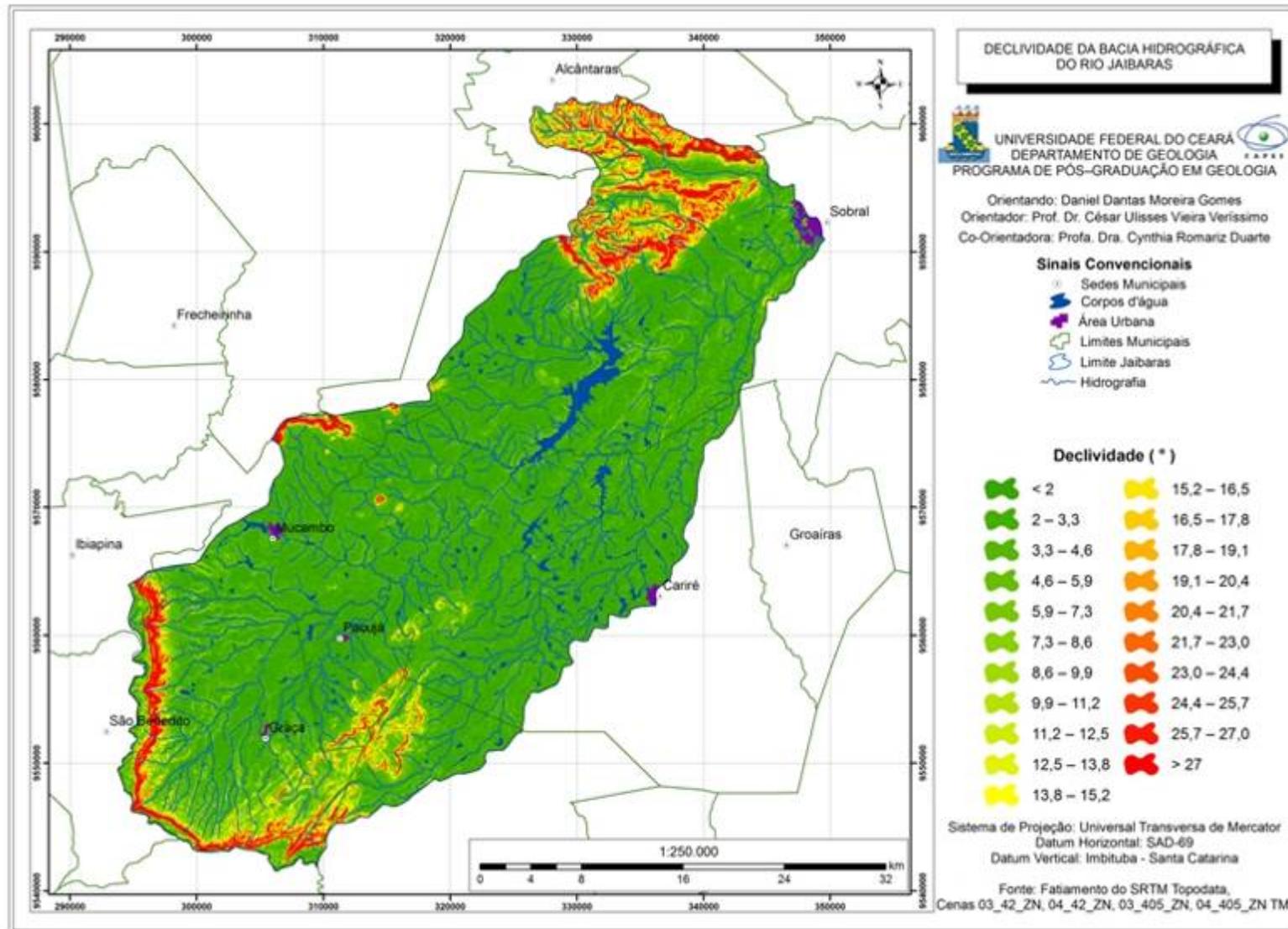


Figura 11 – Mapa declividade da bacia.

## 4.2 Condições Climáticas e Hidrológicas

Apesar de não ser um componente materializável e visível do ambiente, assim como a topografia, a vegetação e os solos, o clima é considerado por Christofolletti (1990) como fator fundamental, fornecedor de energia, repercutindo na quantidade disponível de calor e água, e como controlador dos processos e da dinâmica do geossistema.

Levando em consideração as condições climáticas do Estado do Ceará, onde as maiores médias pluviométricas concentram-se em quatro meses consecutivos do ano – fevereiro a maio - apresentando grande variabilidade interanual, têmporo-espacial, e até da própria estação chuvosa (Souza, 1994), a Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras encontra-se nesse contexto.

As médias térmicas ficam em torno de 26 a 30°C, havendo variações significativas na Serra da Meruoca e no Planalto de Ibiapaba devido ao aumento da altitude, onde há uma amenização da temperatura, variando entre 24 a 28°C.

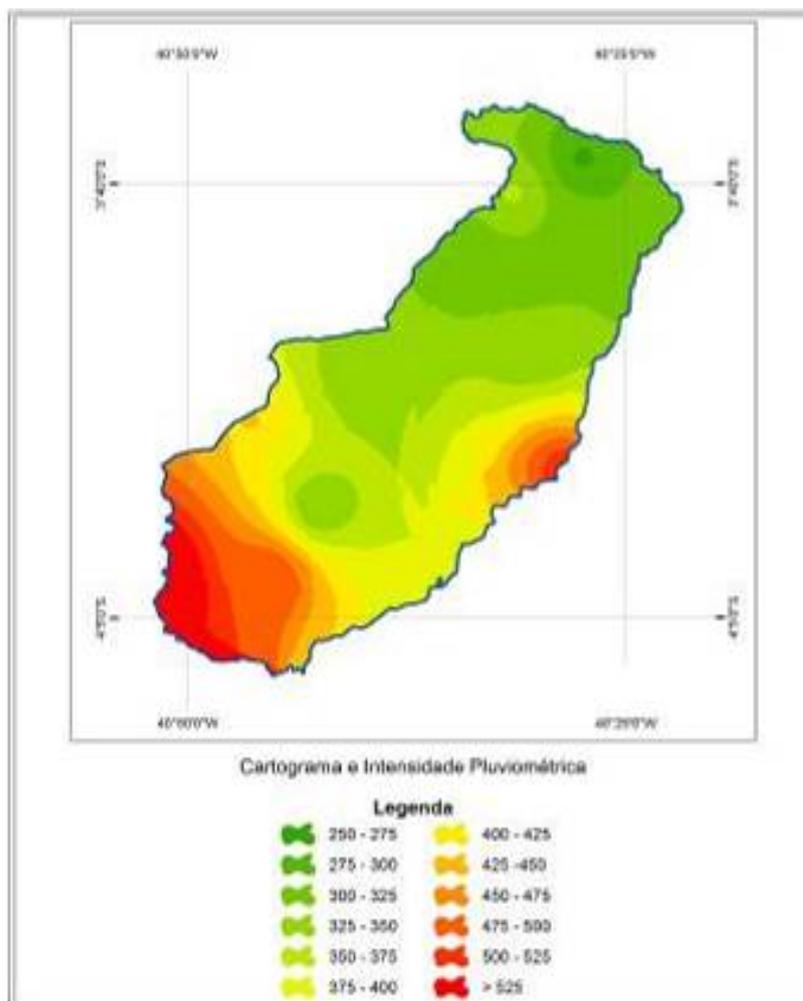
O tipo climático predominante da bacia hidrográfica é o Tropical Semi-árido, que apresenta variação apenas no número de meses secos. Desse modo, tem-se o Tropical Semi-árido de 6 (seis) meses secos, que abrange a maior parte da serra da Meruoca e do planalto de ibiapaba; o clima Tropical Semi-árido de 7 a 8 meses secos, nos sertões circunjacentes à serra e o Tropical Semi-árido de 9 a 10 meses secos nos demais setores da depressão sertaneja.

A série histórica climatológica dos 09 postos pluviométricos da FUNCEME para a Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras, listados na tabela 03, podemos observar na figura 12 uma notável variação têmporo-espacial da precipitação pluviométrica na área da bacia, onde o município de Ibiapina o de menor área banhada pelo Rio Jaibaras apresenta maior precipitação, nos anos em estudo.

**Tabela 03-** Médias pluviométricas da bacia hidrográfica do Jaibaras para os anos em estudo.

Municípios	1985	1996	2009
ALCANTÁRAS	-	974.50	1438.00
CARIRÉ	1658.00	881.00	2081.00
GRAÇA	-	1334.00	1980.00
IBIAPINA	3230.40	1893.00	2372.00
MERUOCA	2899.00	1824.70	2512.00
MUCAMBO	2065.20	1208.10	1697.00
PACUJÁ	2090.4	1082.2	1320.5
RERIUTABA	2182.00	1136.7	1496.8
SOBRAL	1815.10	891.20	1266.50

Fonte: <http://www3.funceme.br/plone/monitoramento/DownloadChuvvasPublico.php>



**Figura 12** - Precipitação média (mm) dos postos pluviométricos da FUNCEME para a Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras, no período de 1985, 1996 e 2009.

Esses aspectos climáticos condicionam tanto no modelado do relevo quanto as características hidrológicas típicas: rede de drenagem densa, fraca ou medianamente entalhada na superfície, com canais intermitentes sazonais. Daí a evolução da paisagem ser evidenciada em superfícies aplainadas, e ainda a ocorrência de vales abertos, em função da pouca capacidade de entalhe dos cursos d'água.

A análise das características hidrológicas reflete a avaliação do potencial de recursos hídricos de determinada área, sendo importante, já que depende diretamente das condições climáticas locais e estas, por sua vez, definem os regimes fluviais, a permanência do escoamento superficial e a recarga dos aquíferos (fluxo subterrâneo).

Analisando as características hidrológicas, a bacia hidrográfica do rio Jaibaras, apresenta um sistema hidrográfico regional, possuindo uma drenagem intermitente sazonalmente, sendo uma bacia hidrográfica endorréica a bacia do Acaraú, apresentando um padrão de drenagem dendrítica

A bacia é fortemente influenciada pela série histórica pluviométrica da região, sua sazonalidade se torna evidente, tornando-se necessária a presença de açudes para o abastecimento, onde são construídos na rede de drenagem complementando os recursos hídricos superficiais e desempenhando importante papel no que diz respeito à segurança hídrica dos municípios que banha.

Entre os açudes destacam-se os açude Aires de Souza e o Taquara que se encontra em fase final de sua construção, mas existem dezenas de outras pequenas represas e lagoas que pontuam a bacia.

### 4.3 Solos

Os solos possuem como agentes formadores, o clima, a biosfera, a rocha matriz, o relevo e o tempo, sendo representada pela função  $S = f \{ \text{clima, biosfera, rocha, relevo, tempo} \}$ . Ou seja, o solo é o produto resultante da ação integrada dos agentes intempéricos sobre os materiais pré-existentes de natureza mineral e orgânica (VIEIRA, 1975).

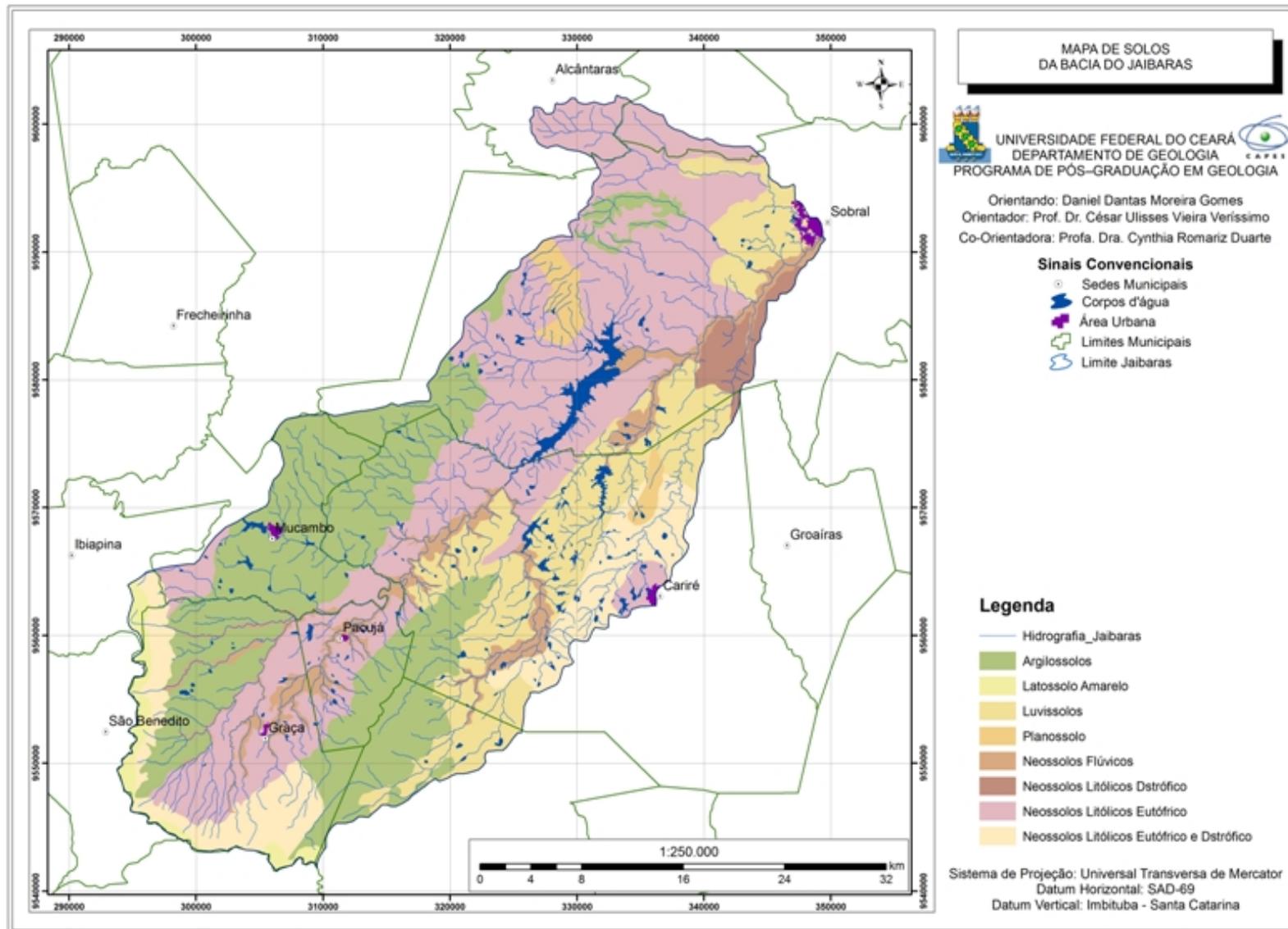
No estudo dos solos, a sua distribuição espacial está associada a outras condições ambientais, notadamente às de natureza geológico-geomorfológica e fitoecológica. Avaliam-se as características das classes de solos em função de seu potencial de utilização e suas condições atuais de conservação (SOUZA, 2000).

Além disso, o conhecimento dos solos constitui um dos principais atributos para a realização de programas de planejamento territorial. Para Brandão (1995), é a partir dos estudos das características edafo-pedológicas que “se torna possível a implementação de ações voltadas para projetos de aumento de produtividade agrícola, irrigação, desenvolvimento de técnicas de manejo e conservação do solo etc.”

É através também da análise das estruturas dos solos (teor de matéria orgânica, estabilidade dos agregados, porosidade, textura, pH, entre outros) que se pode estabelecer seu potencial de uso, bem como sua susceptibilidade à erosão, por exemplo.

Estas propriedades assumem grande importância na indicação das propostas de uso de cada subsistema ambiental, pois evidenciam o tipo de manejo dado a cada tipo de solo.

As classes de solos foram identificadas e descritas, segundo suas principais propriedades físicas e químicas, potencialidades e restrições de uso, com taxonomia proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). No entanto, o mosaico de solos apresentado no mapa de solos (figura 13) apresenta as classes de solos em associações, expostas no final deste tópico, tornando mais rica a análise dos sistemas ambientais.



**Figura 13** - Mapa de solos.

Desse modo, o mosaico de solos da bacia hidrográfica do rio Jaibaras é composto pela associação das seguintes classes: *Argissolos*, *Luvissolos*, *Neossolos Litólicos*, *Neossolos Flúvicos* e *Planossolos*.

Os *Argissolos* (figura 14) são relativamente profundos, bem desenvolvidos, com horizontes B em cores Vermelho-Amarelo a Vermelho, com textura média a argilosa abaixo de um horizonte A ou E de cores cinzentas ou claras e de textura arenosa a média.

A característica predominante é o horizonte B textural com argila de atividade baixa, espelhando na maioria dos casos solos de caráter eutrófico. Apresenta evolução avançada com processos de ferratização incompletos, ferros carregados por processos de eluviação (EMBRAPA, 1999).

Encontram-se nos Alvéolos, na Superfície Pediplanada Dissecada e na Depressão Periférica Subúmida de Ibiapaba, formando o mosaico de solos dos municípios de Graça, Mucambo, Cariré, Pacujá e Reitaba.



**Figura 14** - Perfil de Argissolo utilizado para extração de areia vermelha.

Os *Luvissolos* são pouco profundos a rasos, com horizonte A de coloração clara de pequena espessura sobre o horizonte B mais argiloso e de cores avermelhadas. Possuem alta fertilidade natural e elevada quantidade de minerais primários intemperizáveis que se tornam fontes de nutrientes para as plantas.

Os *Luvissolos* são solos típicos dos sertões cearenses, com freqüente pedregosidade superficial, como pode ser observado na figura 15, sob condições de semi-aridez e recoberto por vegetação de Caatingas.



**Figura 15** - Área recoberta por Luvissolos

A alta saturação por bases adquirida na sua evolução, segundo a atuação de processos de bissialitização, conjugada a produção de óxidos de ferro e mobilização de argila da parte mais superficial com acúmulos em horizontes superficial foi que caracterizou seu caráter eutrófico (EMBRAPA, 1999).

Os *Neossolos Litólicos* (figura 16) localizam-se nas vertentes secas da Serra da Meruoca e se estende por grande parte da depressão sertaneja.

Apresentam-se muito pouco desenvolvidos e rasos, com horizonte A sobre um horizonte C de pequena espessura ou mesmo sobre a rocha-matriz. São solos jovens, normalmente pedregosos e com textura média, com fortes variações de fertilidade natural.



**Figura 16** - Perfil de *Neossolos Litólicos*.

Já os *Neossolos Flúvicos* são solos encontrados ao longo da planície fluviais, com orientação norte-sul se estendendo desde Graça até Sobral. São solos pouco desenvolvidos, geralmente profundos, apresentando corriqueiramente um horizonte A sobre uma sucessão de camadas estratificadas sem nenhuma relação pedogenética entre si, com textura desde arenosa a argilosa sendo mais corriqueiro fases argilosas. Sua formação se deve a deposições de sedimentos de natureza e granulometria variadas desenvolvidas pelos rios em épocas recentes.

Os *Planossolos* (figura 17) são encontrados nas proximidades do açude Aires de Souza associado aos Neossolos Flúvicos ao longo do rio Jaibaras, na porção central.

Em função da associação com a deposição fluvial, esses solos apresentam alta fertilidade natural e grande potencial ao uso agrícola. Caracterizam-se por ser pouco profundos a rasos, com horizonte A de cores claras e textura arenosa a média, contrastando com a nitidez do horizonte B, que é mais argiloso, de baixa permeabilidade e com estrutura colunar. Apresentam elevados teores de sódio nos horizontes mais profundos.

Situam-se em posições mais rebaixadas da paisagem em áreas planas ou suave onduladas onde o relevo permite o excesso de água no período chuvoso e a forte concentração de sais (EMBRAPA, 1999).



**Figura 17** - Planossolos utilizados para a extração de argila (olarias).

#### 4.4 Vegetação

A vegetação é de extrema importância para a manutenção da biodiversidade e proteção dos solos, pois essa, além de realizar a fotossíntese, servindo como produtor primário, produzindo oxigênio e celulose, acaba protegendo o solo, pela interceptação da chuva, interrompendo o carreamento do solo, minimizando assim o efeito da erosão.

No que se refere às características fitoecológicas a bacia hidrográfica do rio Jaibas apresenta uma diversificação bastante acentuada em toda sua extensão, isto se dá por uma forte inter-relação que o clima, os solos, altimetria, topográfica e uso e ocupação exercem sobre a vegetação determinando seus aspectos naturais. Entre as principais unidades tipologias das vegetações identificadas e mapeadas na bacia, destacam-se as Caatingas, divididas em Caatinga Arbustiva Aberta e Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea), a *Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial* (Mata Seca), a *Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) e a Mata Ciliar, podendo todas estar em seu estado natural ou encontrar-se degradada devido ao uso antrópico.

A cobertura vegetal das Caatingas ocupa a maior parte da depressão sertaneja da bacia, sendo influenciada pela predominância do clima semi-árido na região, onde são adaptadas às condições severas da semi-aridez, caracterizada pela relevante irregularidade das precipitações, bem como sua escassez no tempo e no espaço, as elevadas temperaturas e os altos índices de evapotranspiração.

Analisando as principais espécies que dominam a Caatinga Fernandes (1990 e 1998), as espécies dominantes na Caatinga são: carnaúba (*Copernicia prunifera*), catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), pinhão bravo (*Jatropha molissima*), juazeiro (*Ziziphus juazeiro*), oiticica (*Licania rígida*), marmeleiro preto (*Croton sonderianus*), jurema preta (*Mimosa tenuifolia*), jurema branca (*Piptadenia stipulacea*), velame (*Croton sp*), coronha (*Acácia farnesiana*), jucá (*Ceasalpinia ferrea*), *sabiá* (*Mimosa caesalpiniaefolia Benth*), mofumbo (*Combretum leprosum*), pau-branco (*Auxemma oncocalyx*) e as cactáceas: xiquexique (*Ploceurus gounelli*), mandacaru (*Cereus jamacaru*), facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), entre outras.

A cobertura vegetal da *Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial* (Mata Seca) apresenta características de transição entre a *Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) e as Caatingas, normalmente ocupando os níveis inferiores e médios do maciço residual da Meruoca e do Planalto de Ibiapaba, possuindo variação altimétrica de

330 a 500 metros, normalmente a declividade é superior a 25° de declive, possui maior porte quando comparado com a Caatinga Arbórea, mesmo ocupando áreas de solos rasos.

De acordo com Fernandes (1998) as principais espécies que caracterizam a vegetal da *Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Mata Seca)* são: o pau d'arco (*Tabebuia serratifolia*), o angico (*Anadenanthera macrocarpa*), imburana (*Amburana cearensis*), a aroeira (*Myracrodruon urundeva*), pitomba (*Talisia esculenta*), barriguda (*Ceiba glaziovii*).

A cobertura vegetal da *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida)* é uma vegetação que necessita de uma maior umidade, típica de terrenos de maior altitude, superiores 500 metros, característicos de ambientes serranos, na bacia do Jaibaras tem sua principal representação no Planalto de Ibiapaba e na vertente úmida da serra da Meruoca. É uma vegetação com características perenifólias, onde permanecem cerca de 75% a 100% de sua folhagem o ano todo.

Segundo Figueiredo (1997) a fisionomia da cobertura vegetal da *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida)* é semelhante, tanto para as serras cristalinas, quanto para as sedimentares, mas sua composição florística possui diferenças significativas. Árvores de caules retílineos, espeços, coberto muita vezes por línques, orquídeas, samambaias e bromélias, alcançam 30 metros.

Para Figueiredo (op cit) as principais as principais espécies que caracterizam a vegetal *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida)* são: sambacuim (*Didymopanax morototoni*), pau-darco-amarelo (*Tabebuia serrafolia*), almécega (*Protium heptaphyllum*), mamoeiro-bravo (*Jaracatia spinosa*), orelha-de-burro (*Clusia nemorosa*), amarelão (*Ateleia ovata*), potumuju (*Centrolobium microchaete*), Bálsamo (*Myroxylon peruiferum*), abacate-bravo (*Phoebe brasiliensis*), murici-da-serra (*Byrsonima cripa*), pé-de-anjo (*Norantea guianensis*), ingá (*Inga bahiensis*), canafistula-da-serra (*Pithecellobium traoezifolium*), cajueiro-bravo (*Rapanea guianensis*), guabiraba (*Campomanesia dichotoma*), folha-miuda (*Myrcia rostra*), João-mole (*Guapira oppoita*), pinheiro (*Podocarpus sellowii*), erva-de-rato (*Palicourea aenveofusca*), cocão (*Esenbeckia grangiflora*), limãozinho (*Zanthoylum rhoifolium*), Paraíba (*Simarouba amata*), piroá (*Basiloxylon brasiliensis*), entre outras.

A cobertura vegetal de mata ciliar é uma vegetação que possui melhores condições hídricas e com solos mais férteis, por recobrirem a planície fluvial do rio Jaibaras, apresentando assim uma vegetação que se diferencia da caatinga, normalmente está associada a culturas extrativista, como a extração da folha de carnaúba, ou associado ao cultivo agrícola, favorecido por solos mais férteis e a maior disponibilidade hídrica.

Para Figueiredo (1997) as mata ciliares por estarem em áreas com pouca declividade, onde os processos de sedimentação se sobrepõem aos da erosão, encontram terrenos propícios ao seu desenvolvimento. Dentre as principais espécies encontradas nas matas ciliares destaca-se a carnaúba (*Copernicia prunifera*), o mulungu (*Erythrina velutina*), juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), oiticica (*Licania rígida*) e ingá-brava (*Lochocarpus serius*), além de outras espécies arbustivas e trepadeiras.

Através do uso de técnicas de classificação, tratamento digital de imagens e trabalho de campo foram elaborados os mapas temáticos contendo a classificação da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Jaibaras, levando em consideração as características fitoecológicas da vegetação, sendo visitados em campo, dentre as unidades fitoecológicas encontradas estão: Caatinga Arbustiva Aberta e Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea), a *Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial* (Mata Seca), a *Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida), Mata Ciliar, além de áreas de solos expostos associado com vegetação rasteira, vale chamar atenção que em algumas cenas do satélite LANDSAT 5 tivemos a presença de nuvens, sombras de nuvens e corpos d'água que também foram mapeadas.

- Caatinga Arbustiva Aberta – Ocupa maior parte da depressão sertaneja da bacia, representando nos anos de 1985, 1996 e 2009, respectivamente 51%, 57% e 53% da área total da bacia. É uma cobertura vegetal utilizada como combustível vegetal pela população que ocupa região, parte da área ocupada está constantemente associada a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva de caprinos e bovinos. A figura 18 demonstra a cobertura vegetal da Caatinga Arbustiva Aberta em seu estado natural, com pouca intervenção antrópica, já a figura 19 evidência a total supressão da cobertura vegetal, que anteriormente era ocupada por Caatinga Arbutiva Aberta, vale a pena chamar atenção para o potencial regenerativo dessa cobertura vegetal, onde tendem a ocupar áreas de outras vegetações suprimidas.



**Figura 18** - Caatinga Arbustiva Aberta em seu estado natural. **Fonte:** Foto tirada em campo.



**Figura 19** – supressão da cobertura vegetal Caatinga Arbustiva Aberta. **Fonte:** Foto tirada em campo.

– Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) – Em seu estado mais conservado ocupa maior parte da Depressão Periférica Subúmida de Ibiapaba, já a Caatinga Arbórea degradada está mais presente na Depressão Sertaneja, no município de Mucambo, para os anos de 1985, 1996 e 2009, a caatinga Arbórea representou, respectivamente 25%, 16% e 16% da área total da bacia. A figura 20 apresenta a cobertura vegetal da Floresta Caducifólia Espinhosa

(Caatinga Arbórea) em seu estado natural, com pouca intervenção antrópica, já a figura 21 evidência o desmatamento e a queima da cobertura vegetal.



**Figura 20** – Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga Arbórea) em seu estado natural. **Fonte:** Foto tirada em campo.



**Figura 21** – Desmatamento e a queima da cobertura vegetal. **Fonte:** Foto tirada em campo.

– *Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial* (Mata Seca) – Ocupa uma faixa altitude intermediária da serra da Meruoca e Escarpa da serra de Ibiapaba, para os anos de 1985, 1996

e 2009, a Mata Seca representou, respectivamente 6%, 10% e 9% da área total da bacia, encontrando-se bastante degradada na serra de Meruoca, devido seu uso intensivo para atividades agrícolas, e para a retirada sua madeira para uso como lenha, construção de cercas e para a construção civil. A figura 22 exemplifica a vegetação de Mata Seca em forma conservada, já a figura 23 demonstra área que era ocupada por está vegetação.



**Figura 22** – Mata Seca em forma conservada. **Fonte:** Foto tirada em campo.



**Figura 23** – Mata Seca suprimida. **Fonte:** Foto tirada em campo.

– *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) – Ocupa uma faixa de maior altitude da serra da Meruoca e Escarpa da serra de Ibiapaba, para os anos de 1985, 1996 e 2009, a Mata Úmida representou respectivamente 10%, 7% e 7% da área total da bacia, na serra de Meruoca é mais presente em sua porção úmida a barlavento da serra, em Ibiapaba ocupa a escarpa da serra. A figura 24 exemplifica a vegetação de Mata Úmida em forma conservada, já a figura 25 demonstra área que era ocupada por está vegetação.



**Figura 24** – *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) na Escarpa da serra de Ibiapaba **Fonte:** Foto tirada em campo.



**Figura 25** – Área de mata úmida degradada. **Fonte:** Foto tirada em campo.

– Mata Ciliar – Ocupa a área de menor altitude e mais plana da bacia, tornando-se predominante planície fluvial, para os anos de 1985, 1996 e 2009, a Mata Ciliar representou, respectivamente 2%, 2% e 3% da área total da bacia, encontrando-se bastante degradada, por

está localizada em uma região com maior potencial hídrico e solos mais férteis, está constantemente cedendo lugar para a agricultura e pecuária. A figura 26 demonstra a Mata Ciliar conservada próxima a parede do açude Aires de Souza, na figura 27 demonstra a Mata ciliar bordejando o rio em terreno pouco profundo e bastante rochoso.



**Figura 26** – Mata Ciliar conservada próxima a parede do açude Aires de Souza. **Fonte:** Foto tirada em campo.



**Figura 27** – Mata ciliar bordejando o rio em terreno pouco profundo e bastante rochoso.

**Fonte:** Foto tirada em campo.

- Solos expostos associado com vegetação rasteira – É uma área que está associada agricultura de subsistência e a pecuária extensiva de caprinos e bovinos, onde é utilizada como pasto, e quando não serve mais para essa finalidade é abandonada, ocupa normalmente áreas com menor declividade, localizada na depressão sertaneja da bacia, representou nos anos de 1985, 1996 e 2009, respectivamente 4%, 4% e 11% da área total da bacia. A figura 28 a pecuária extensiva de caprinos, já a figura 29 uma área abandonada sem uso econômico.



**Figura 28** – Pecuária extensiva de caprinos. **Fonte:** Foto tirada em campo.



**Figura 29** – Área abandonada sem uso econômico. **Fonte:** Foto tirada em campo.

Através do uso de técnicas de classificação e de tratamento digital de imagens e trabalho de campo foram elaborados os mapas temáticos contendo as unidades fitoecológicas da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Jaibaras / CE. A classificação das imagens auxiliada pelas imagens NDVI permitiu uma excelente resposta da densidade da cobertura

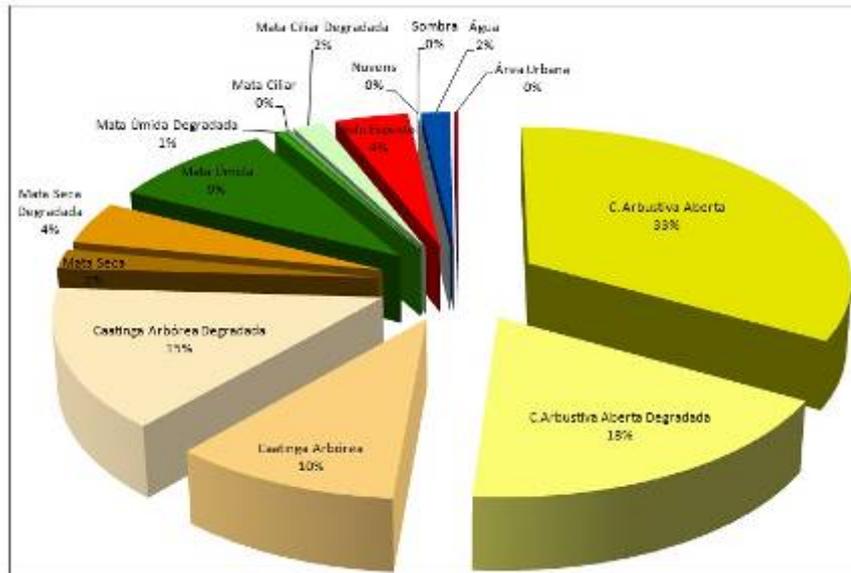
vegetal, possibilitando a qualificação em unidades fitoecológicas da cobertura vegetal, e quantificação das áreas ocupadas por cada unidade (Tabela 04), pôde-se observar a influência determinante dos índices pluviométricos sobre a vegetação, já que a Caatinga rapidamente recupera sua cobertura nas primeiras chuvas.

**Tabela 04** - Unidades fitoecológicas mapeadas.

<b>Unidades Mapeadas</b>	<b>1985</b>	<b>1996</b>	<b>2009</b>
Área Urbana	3,751	4,200	6,073
Caatinga Arbustiva Aberta	520,880	454,942	650,510
Caatinga Arbustiva Aberta Degradada	283,181	432,253	168,227
Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea)	157,625	88,885	123,290
Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) Degradada	229,095	165,065	131,543
Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca)	32,013	58,191	64,607
Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) Degradada	69,838	94,740	78,904
Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida)	142,820	109,331	106,195
Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) Degradada	7,294	3,739	4,098
Mata Ciliar	29,847	28,404	27,501
Mata Ciliar Degradada	26,788	14,991	31,930
Solo Exposto	64,143	68,360	171,249
Sombra	0,211	18,978	1,846
Nuvens	0,133	25,539	1,646

Para cada ano estudado, fez-se as medidas das classes calculadas no SPRING 4.3.3, a partir dos mapas temáticos matriz, que possibilitaram o estudo da evolução das unidades fitoecológicas da bacia hidrográfica do rio Jaibaras, representadas nos gráficos das figuras 30, 32 e 34, que mostram a dinâmica da evolução de cada unidade da cobertura vegetal. Esta evolução também, pode ser vista de forma espacializada em conjunto e individualmente nos mapas das figuras 31, 33 e 35, para cada ano estudado.

No gráfico da Figura 30 pode ser observar os percentuais unidades fitoecológicas mapeadas na imagem LANDSAT 5 do ano de 1985. Já no ano inicial do estudo há uma predominância maior de área com vegetação da Caatinga Arbustiva Aberta, onde representa 51% da área da vegetação da bacia hidrográfica, o que corresponde a 520,880 km<sup>2</sup> de Caatinga Arbustiva Aberta e 283,181 km<sup>2</sup> de Caatinga Arbustiva Aberta degradada. Outra classe representativas em porcentagem é a Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) e a Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) Degradada representando 10% e 15%, respectivamente 157,625 e 229,095 km<sup>2</sup>.



**Figura 30** – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1985.

O mapa contendo a classificação das unidades fitoecológicas para o ano de 1985 pode ser analisado espacialmente, observando as disposições de cada unidade no período estudado (figura – 31).

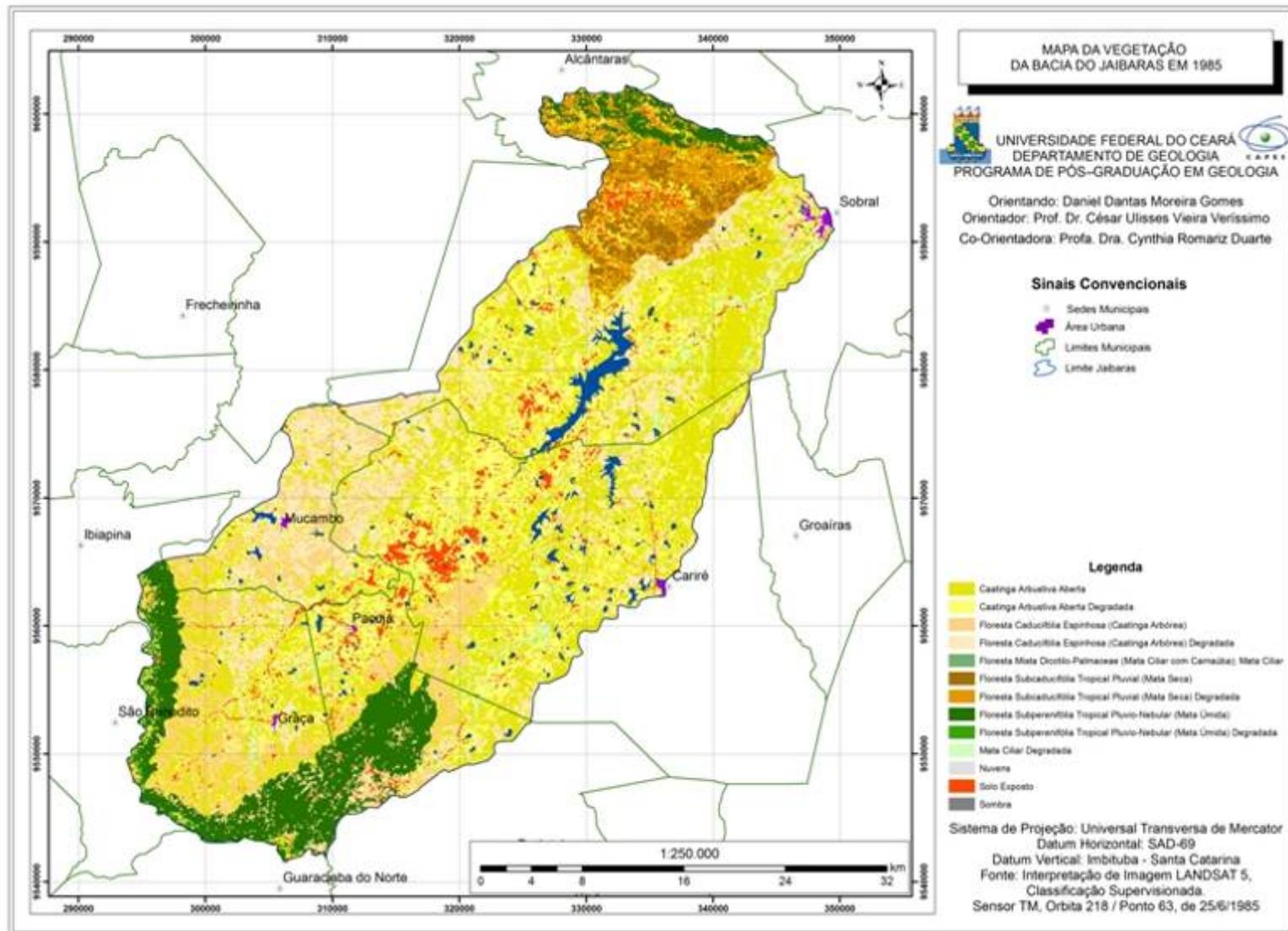
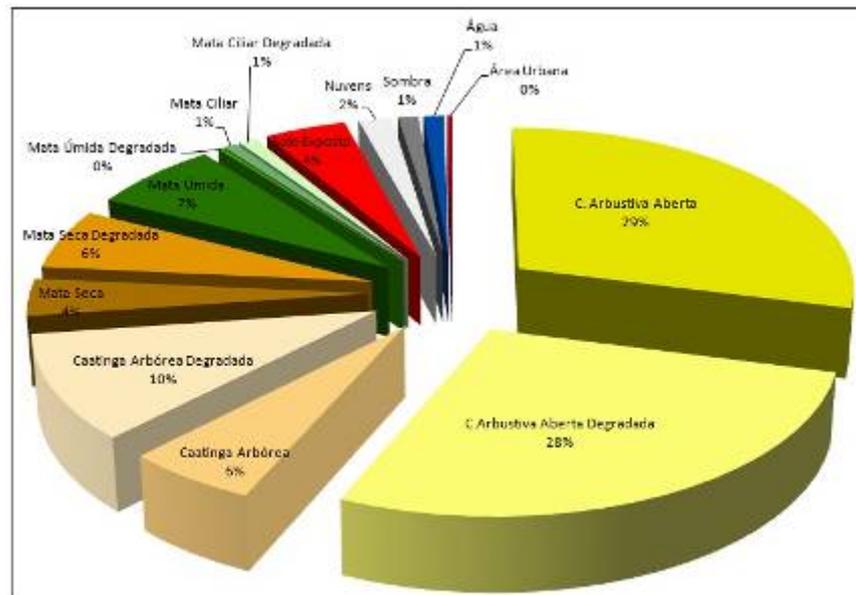


Figura 31 - Mapa das unidades fitoecológicas para o ano de 1985.

No gráfico da figura 32 pode ser observar os percentuais das unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1996, onde verifica-se um aumento de mais 6% na vegetação da Caatinga Arbustiva Aberta e diminuição da Caatinga Arbórea, isso se deve pois com o uso e supressão da vegetação houve uma transição entre os dois estado de vegetação, outro fator que foi determinante para modificação desses valores foi o aumento da quantidade de área que não pode ser mapeada devido a uma quantidade maior de cobertura de nuvem e sombra de nuvem.



**Figura 32** – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1996.

A figura 33 contém o mapa com a disposição das unidades fitoecológicas da bacia.

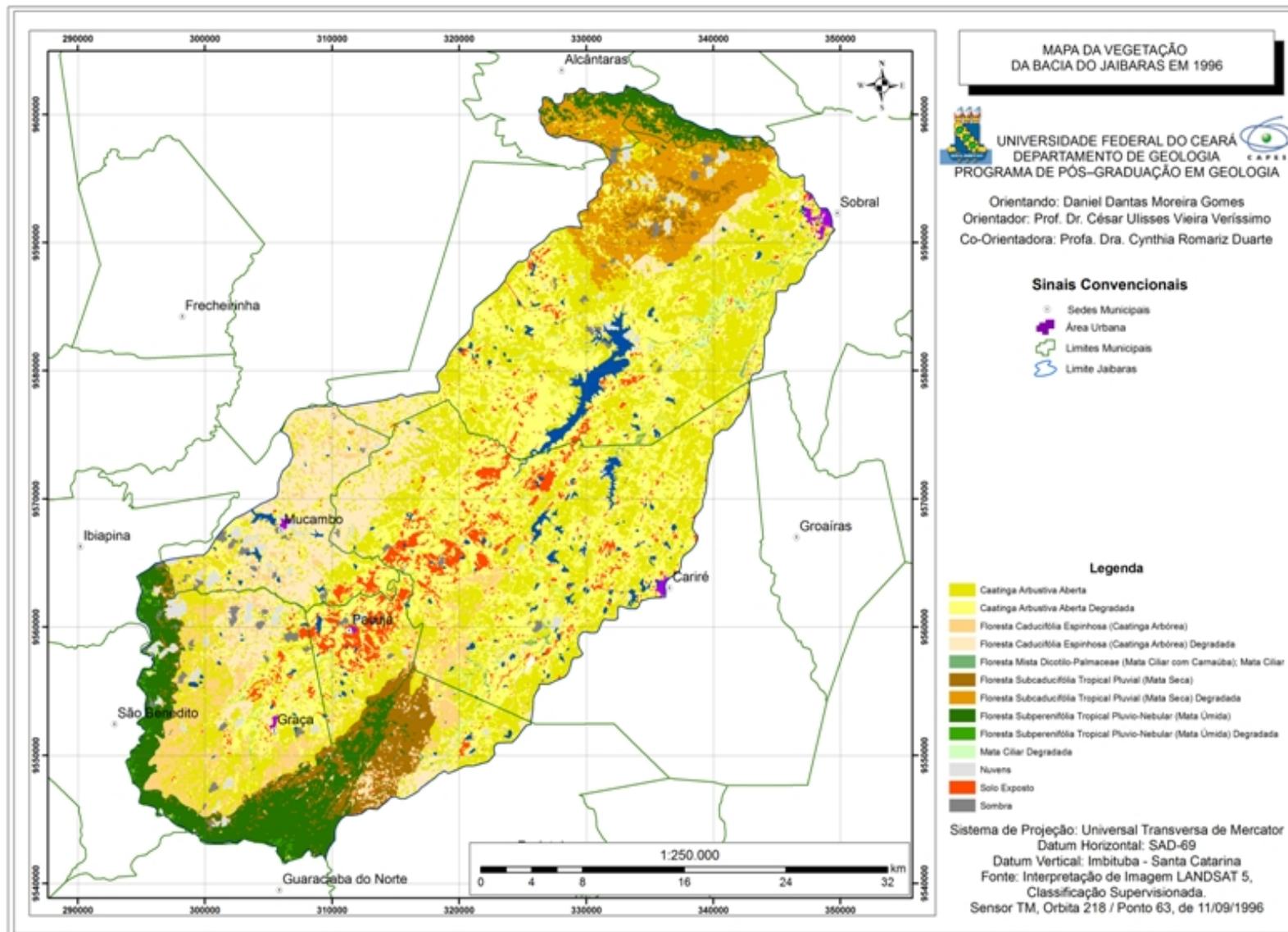
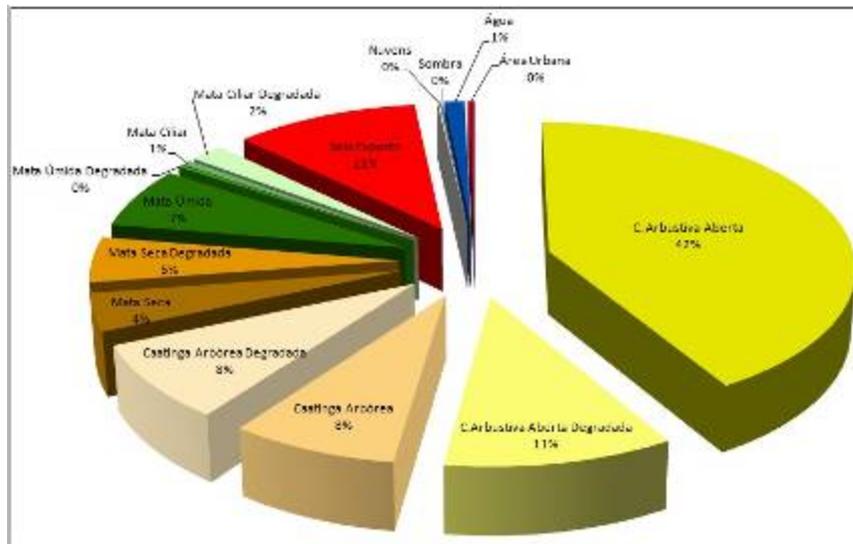


Figura 33 - Mapa das unidades fitoecológicas para o ano de 1996

Para o ano de 2009, um fator que chamou a atenção, foi o aumento de área com solo exposto, passando de um percentual de 4% para 11% da área total da bacia, representando um aumento de 102,889 de área sem cobertura vegetal ou com cobertura vegetal rasteira.



**Figura 34** – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 2009.

A figura 35 representa a espacialização da classificação da cobertura vegetal resultantes da análise da imagem LANDSAT 5, com as bandas 7,5,4,3, com o auxílio da cena NDVI.

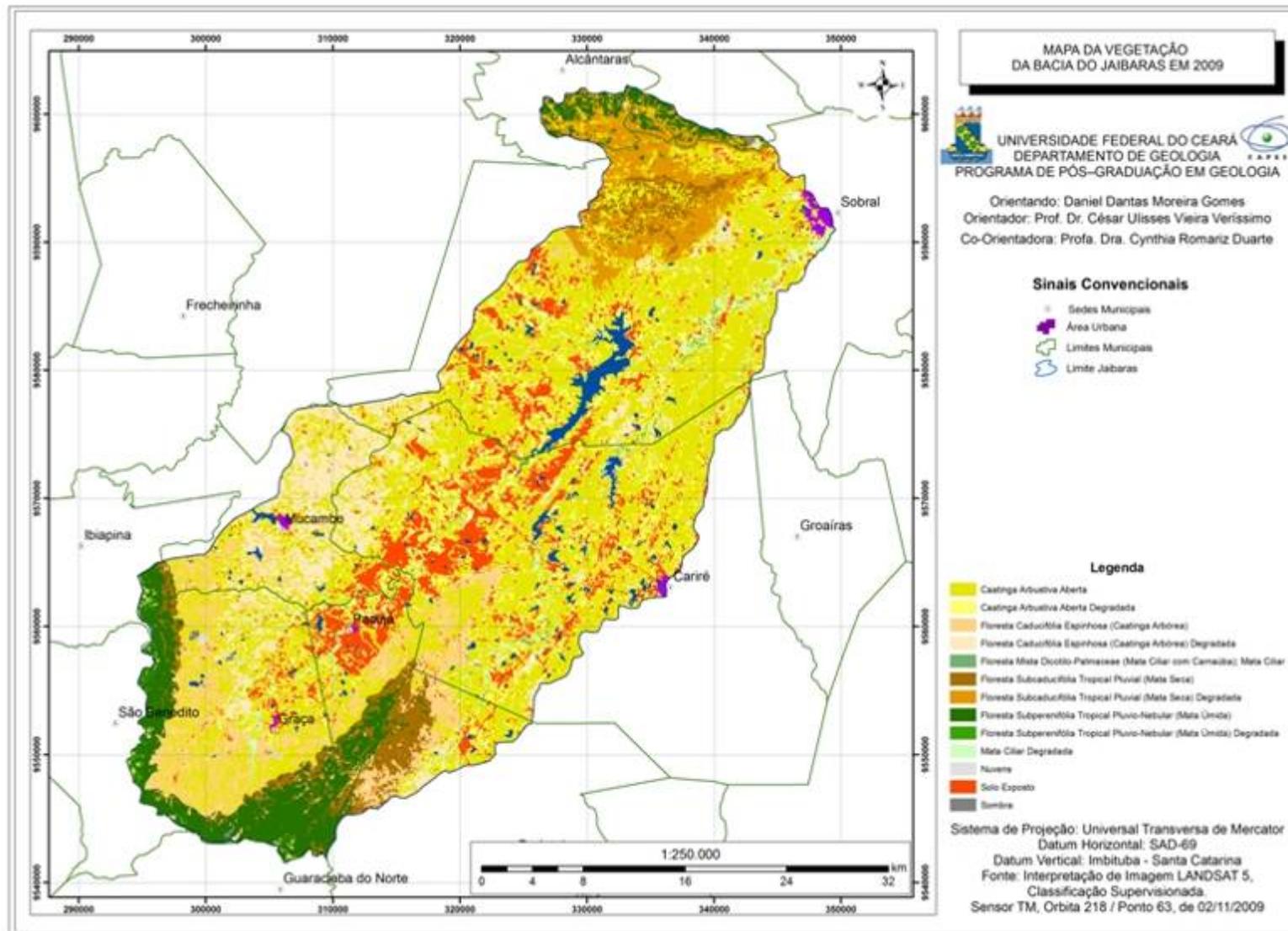


Figura 35 - Mapa das unidades fitoecológicas para o ano de 2009

## **4.5 Uso e Ocupação**

Todas as atividades produtivas da sociedade ocorrem sobre a terra, sejam estas atividades de uso direto, utilizando os recursos naturais para a geração de renda, como o setor agropecuário e a mineração, ou de uso indireto, como a localização dos sítios urbanos, por exemplo.

As atividades agropecuárias da bacia hidrográfica do rio Jaibaras foram analisadas sob Três vertentes: culturas temporárias, culturas permanentes e a pecuária.

### **4.5.1 Produção da lavoura temporária**

Na bacia do Jaibaras os cultivos temporários ocupavam a superfície pediplanada parcialmente dissecada, a superfície pediplanada dissecadas, a vertente seca da Meruoca e a planície fluvial, buscando e subúmida seca da serra, mas é visível seu avanço sobre as matas ciliares das planícies fluviais e as áreas de inundação sazonal.

No quadro 05 apresenta as principais culturas temporárias produzida na bacia, distribuída por municípios.

**Quadro 05** - Apresenta as principais culturas temporárias produzida na bacia, distribuída por municípios

<b>Municípios</b>	<b>Principais Culturas Temporárias</b>	<b>Municípios</b>	<b>Principais Culturas Temporárias</b>
<b>Alcântaras</b>	Alho; Arroz (em casca); Batata-doce; Cana-de-açúcar; Cebola; Feijão (em grão); Fumo (em folha); Mamona (baga); Mandioca; Melancia; Milho (em grão); Tomate; Triticale (em grão);	<b>Mucambo</b>	Algodão herbáceo (em caroço); Arroz (em casca); Cana-de-açúcar; Feijão (em grão); Mamona (baga); Mandioca; Melancia; Milho (em grão);
<b>Cariré</b>	Algodão herbáceo (em caroço); Arroz (em casca); Cana-de-açúcar; Feijão (em grão); Mamona (baga); Mandioca; Milho (em grão); Abacaxi (Mil frutos)	<b>Pacujá</b>	Algodão herbáceo (em caroço); Arroz (em casca); Cana-de-açúcar; Feijão (em grão); Mandioca; Melancia; Milho (em grão);
<b>Graça</b>	Algodão herbáceo (em caroço); Arroz (em casca); Cana-de-açúcar; Feijão (em grão); Mamona (baga); Mandioca; Milho (em grão);	<b>Reriutaba</b>	Algodão herbáceo (em caroço); Arroz (em casca); Batata-doce; Cana-de-açúcar; Fava (em grão); Feijão (em grão); Mamona (baga); Mandioca; Melancia; Milho (em grão); Tomate;
<b>Meruoca</b>	Alho; Arroz (em casca); Batata-doce; Mamona (baga); Mandioca; Milho (em grão); Tomate; Cana-de-açúcar; Cebola; Feijão (em grão);	<b>Sobral</b>	Algodão herbáceo (em caroço); Arroz (em casca); Batata-doce; Cana-de-açúcar; Fava (em grão); Feijão (em grão); Mamona (baga); Mandioca; Melancia; Melão; Milho (em grão); Sorgo (em grão); Tomate;

A figura 36 demonstra o total de área plantada, dividida por município.

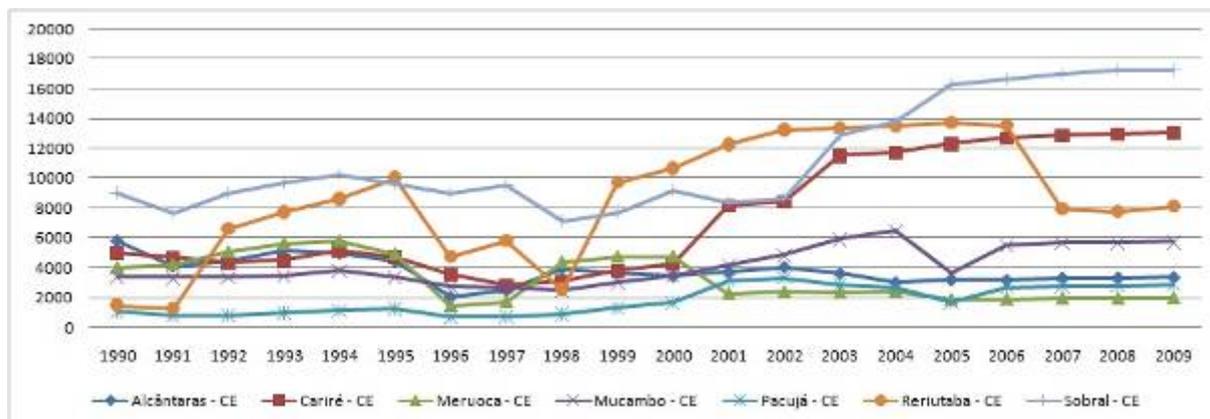


Figura 36 - Produção da lavoura temporária total da área plantada.

A figura 37 demonstra o total de toneladas produzida, dividida por município.

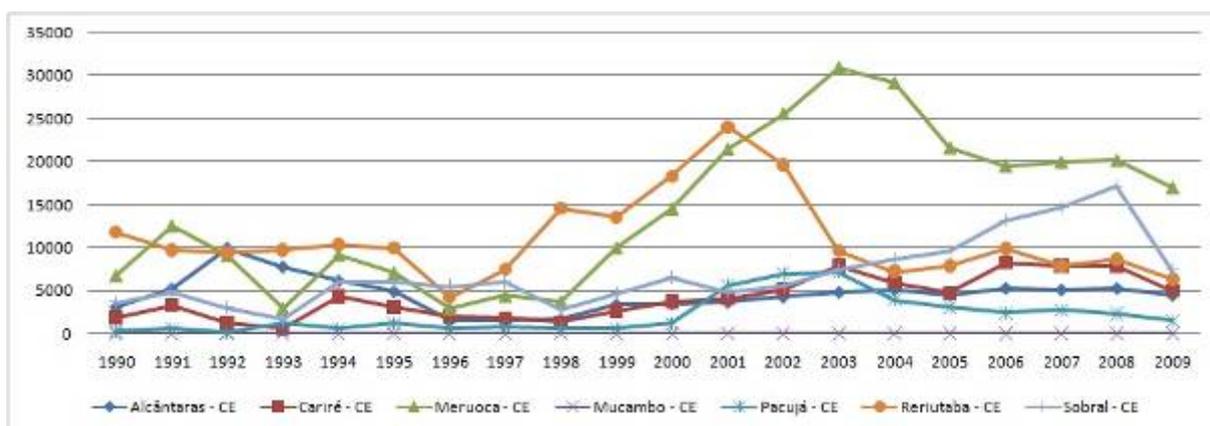


Figura 37 - Produção da lavoura temporária total de toneladas produzida.

#### 4.5.2 Produção da lavoura Permanentes

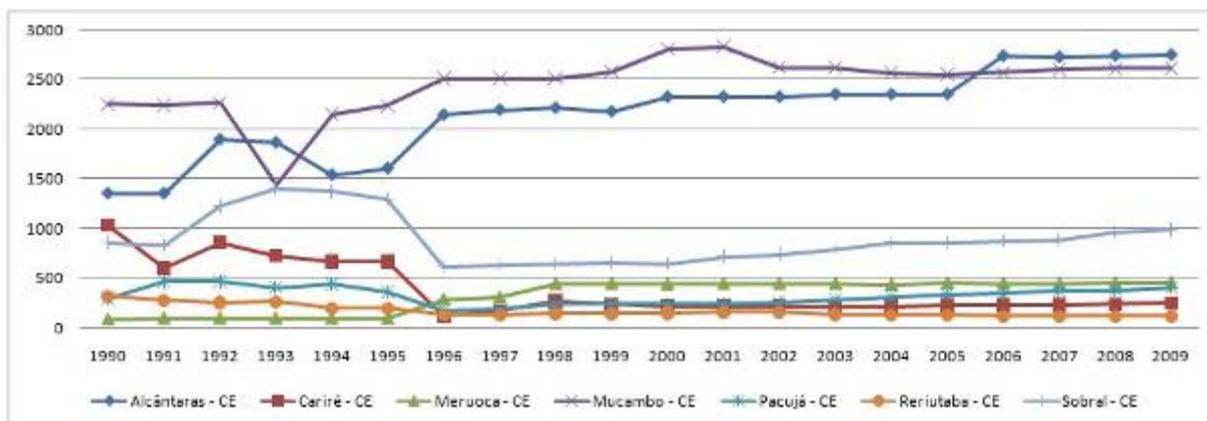
As lavouras permanentes são empregadas em áreas de melhores solos e com disponibilidade hídrica. Nas culturas permanentes, a planta não tem a necessidade de ser renovada a cada colheita. A principal característica passa a ser, então, a necessidade da planta em manter as parcelas do solo. Geralmente estas plantações também são praticadas com uma pequena incorporação tecnológica, com o uso de agrotóxicos e em grande parte são plantios comerciais.

Na quadro 06 apresenta as principais culturas permanentes produzida na bacia, distribuída por municípios.

**Quadro 06** - apresenta as principais culturas permanentes produzida na bacia, distribuída por municípios

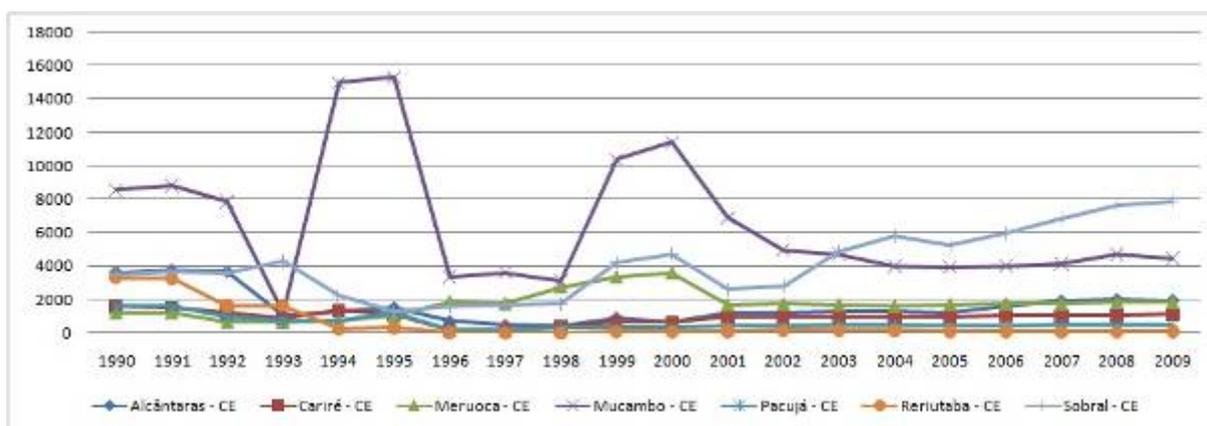
<b>Municípios</b>	<b>Principais Culturas Temporárias</b>	<b>Municípios</b>	<b>Principais Culturas Temporárias</b>
<b>Alcântaras</b>	Algodão arbóreo (em caroço); Banana (cacho); Café (em grão); Castanha de caju; Coco-da-baía (Mil frutos) Laranja; Limão; Mamão; Manga;	<b>Mucambo</b>	Algodão arbóreo (em caroço); Banana (cacho); Castanha de caju; Coco-da-baía (Mil frutos) Laranja; Manga;
<b>Cariré</b>	Algodão arbóreo (em caroço); Banana (cacho); Castanha de caju; Coco-da-baía (Mil frutos) Laranja; Manga;	<b>Pacujá</b>	Algodão arbóreo (em caroço); Banana (cacho); Café (em grão); Castanha de caju; Manga;
<b>Graça</b>	Abacate; Banana (cacho); Café (em grão); Castanha de caju; Coco-da-baía (Mil frutos) Laranja; Manga;	<b>Reriutaba</b>	Abacate; Algodão arbóreo (em caroço); Banana (cacho); Café (em grão); Castanha de caju; Coco-da-baía (Mil frutos) Goiaba; Laranja; Limão; Mamão; Manga; Maracujá; Tangerina; Urucum (semente);
<b>Meruoca</b>	Abacate; Algodão arbóreo (em caroço); Banana (cacho); Café (em grão); Castanha de caju; Coco-da-baía (Mil frutos) Laranja; Limão; Mamão; Manga; Maracujá; Pimenta-do-reino; Tangerina;	<b>Sobral</b>	Algodão arbóreo (em caroço); Banana (cacho); Castanha de caju; Coco-da-baía (Mil frutos) Goiaba; Laranja; Limão; Mamão; Manga; Maracujá; Tangerina;

A figura 38 demonstra o total de área plantada de lavoura permanente, dividida por município.



**Figura 38** - Produção da lavoura permanente total da área plantada.

A figura 39 demonstra o total de toneladas produzida das lavouras permanentes, dividida por município.

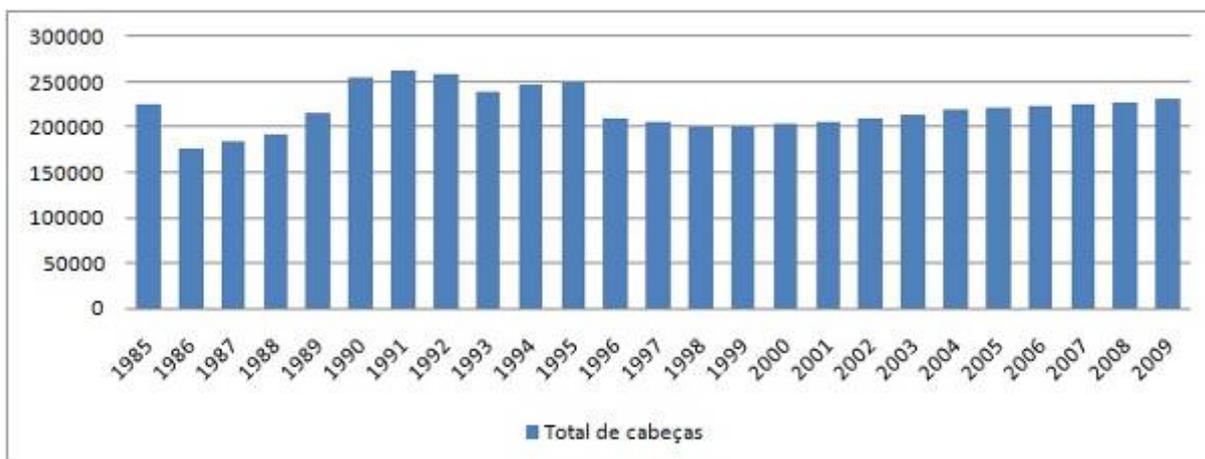


**Figura 39** - Produção da lavoura permanente total de toneladas produzida.

#### 4.5.3 Pecuária

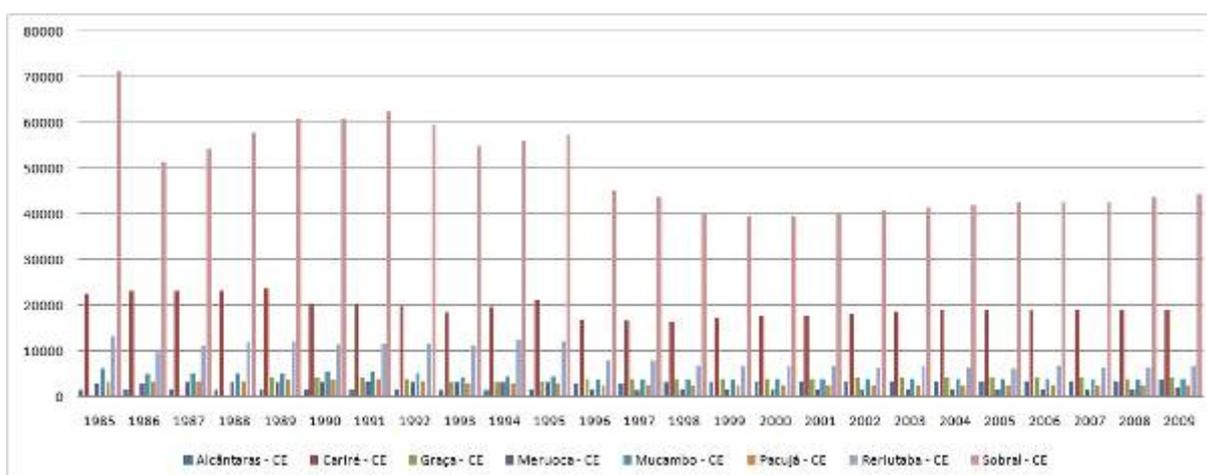
Ao lado da silvicultura, a pecuária é a atividade econômica que ocupa as maiores porções de terra na superfície pediplanada, abrangendo também áreas de serra, sobretudo nos alvéolos.

A série histórica analisada englobou os anos entre 1985 e 2009, sendo pormenorizados os rebanhos de bovinos, caprinos e ovinos, por serem as ocorrências mais comuns na área. A figura 40 demonstra o número total de cabeças no período estudado.



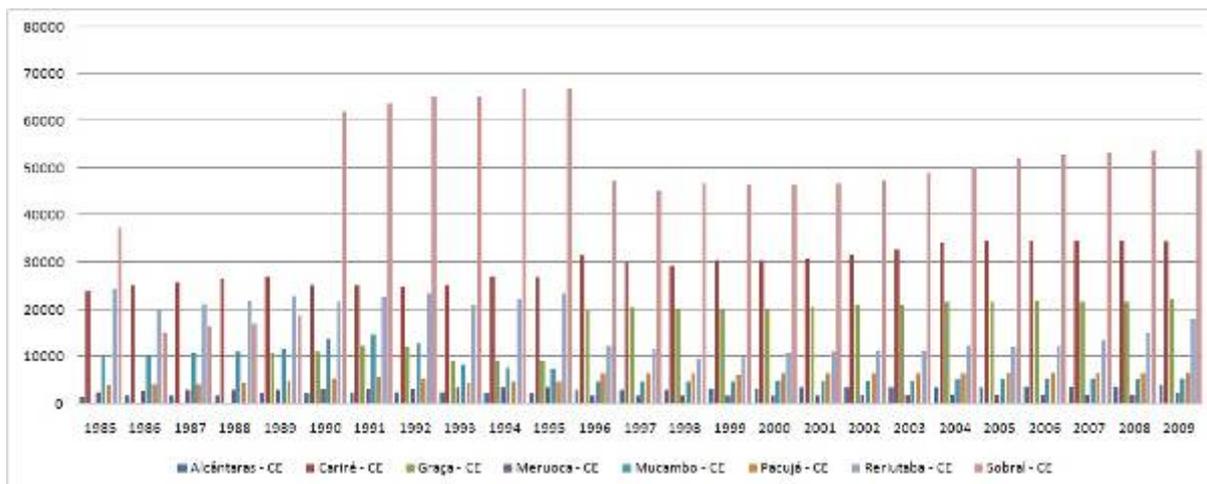
**Figura 40** – Número total de cabeças.

A figura 41 demonstra o número total de cabeças do Rebanho de asininos, bovinos e eqüinos por municípios no período estudado por município.



**Figura 41** – Rebanho de asininos, bovinos e eqüinos por municípios.

A figura 42 demonstra o número total de cabeças do rebanho de caprinos, ovinos e suínos por municípios no período estudado por município.



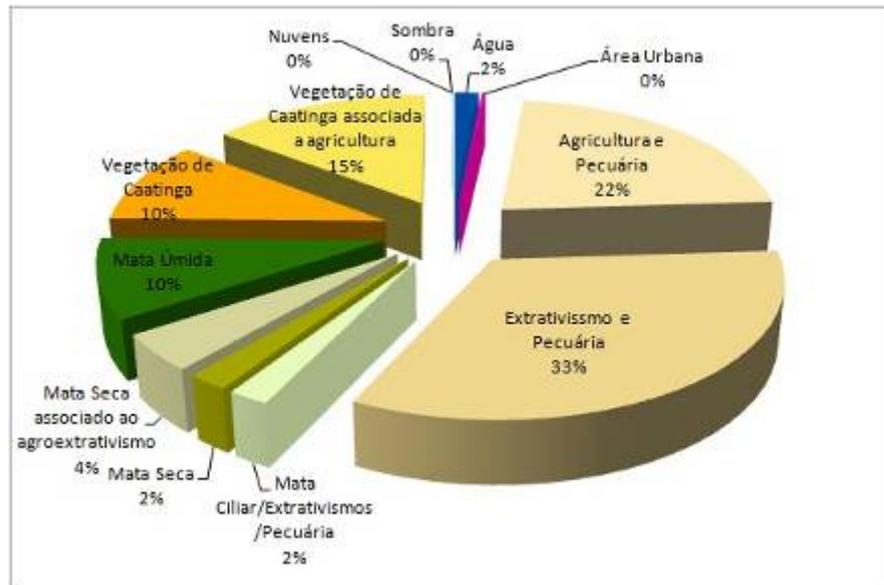
**Figura 42** – Rebanho de caprinos, ovinos e suínos por municípios.

Utilizando de técnicas de classificação e de tratamento digital de imagens e trabalho de campo foram elaborados os mapas temáticos identificando as principais classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibas / CE. Foi possibilitando a qualificação as classes de uso e quantificação das áreas ocupadas por cada unidade (Tabela 05).

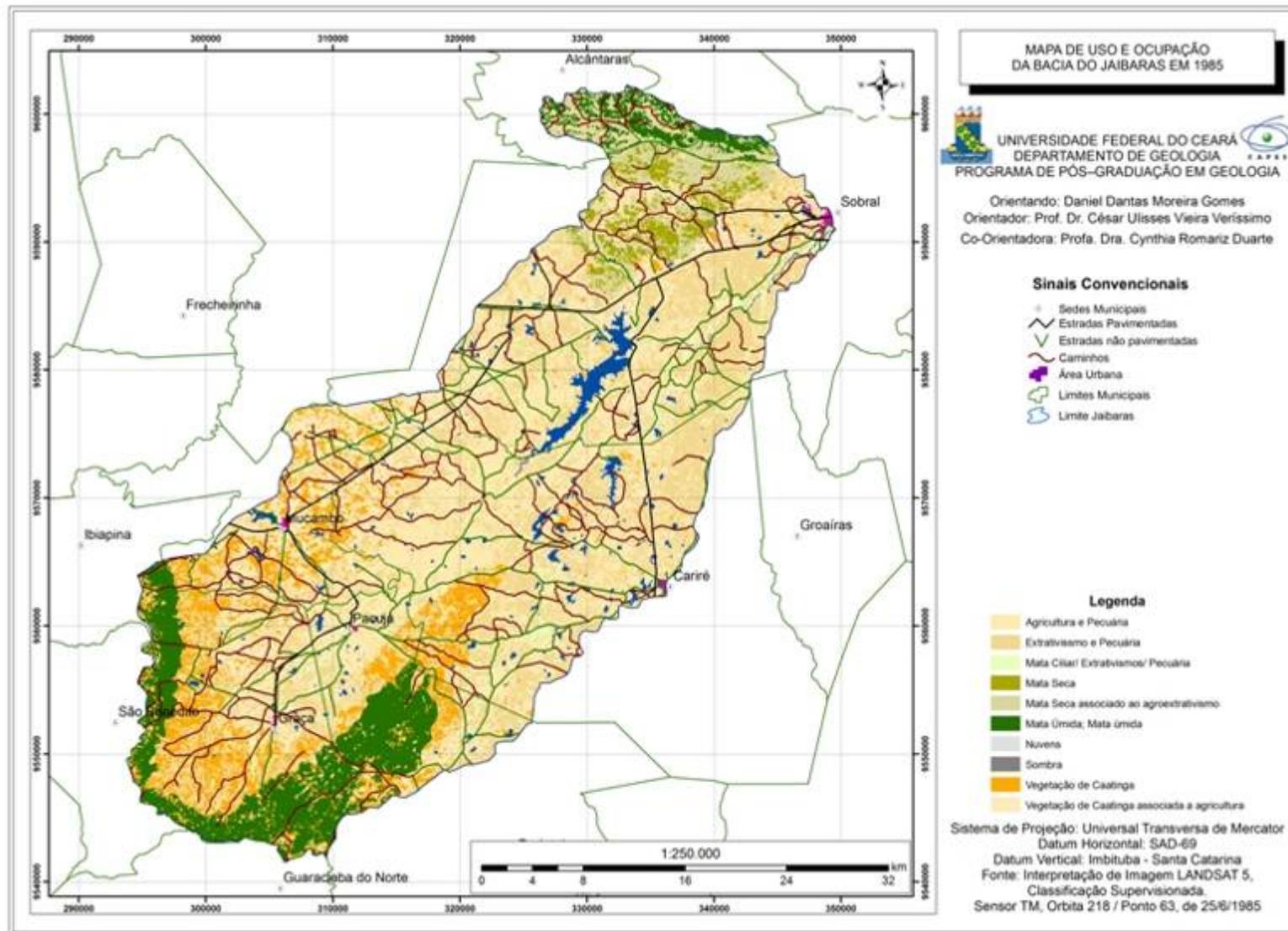
**Tabela 05** - Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibas

<b>Classes de Uso</b>	<b>1985</b>	<b>1996</b>	<b>2009</b>
Água	24,92	17,03	18,56
Área Urbana	3,75	4,20	6,07
Agricultura e Pecuária	347,32	500,61	339,48
Extrativismo e Pecuária	520,88	454,94	650,51
Mata Ciliar/ Extrativismos/ Pecuária	31,81	26,37	40,90
Mata Seca	32,01	58,19	64,61
Mata Seca associado ao Agroextrativismo	69,84	94,74	78,90
Mata Úmida	150,11	113,07	110,29
Vegetação de Caatinga	157,62	88,88	123,29
Vegetação de Caatinga associada a agricultura	229,10	165,07	131,54
Nuvens	0,13	27,71	1,65
Sombra	0,12	18,98	1,82

No ano de 1985 as áreas ocupadas pela pecuária extensiva representaram 33% da área total da bacia, normalmente estando localizado em terrenos de superfície pediplanada, onde há maior facilidade de ocupação, as áreas ocupadas por agricultura e pecuária estão mais presentes em terrenos da planície fluvial, a figura 43 apresenta os percentuais de cada área e a figura 44 demonstra os percentuais de forma especializada.

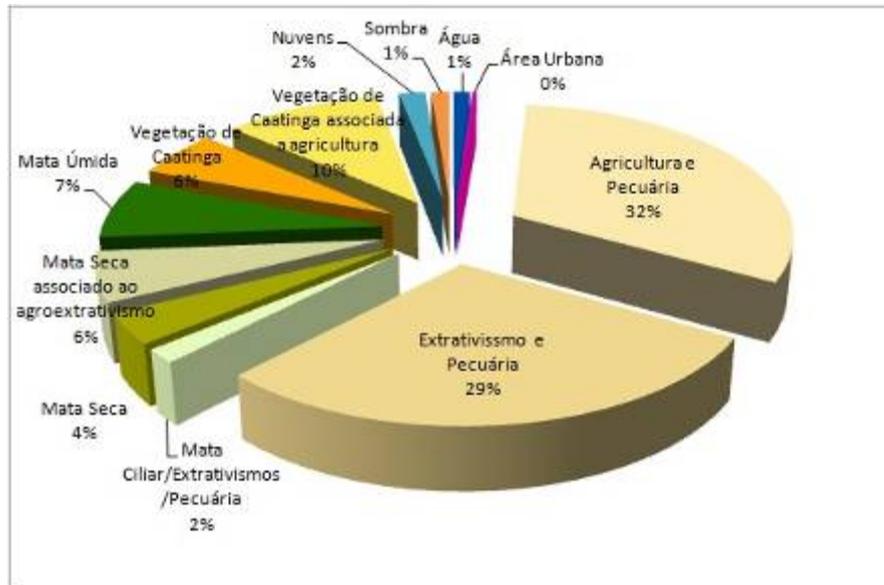


**Figura 43** – Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras no ano de 1985.

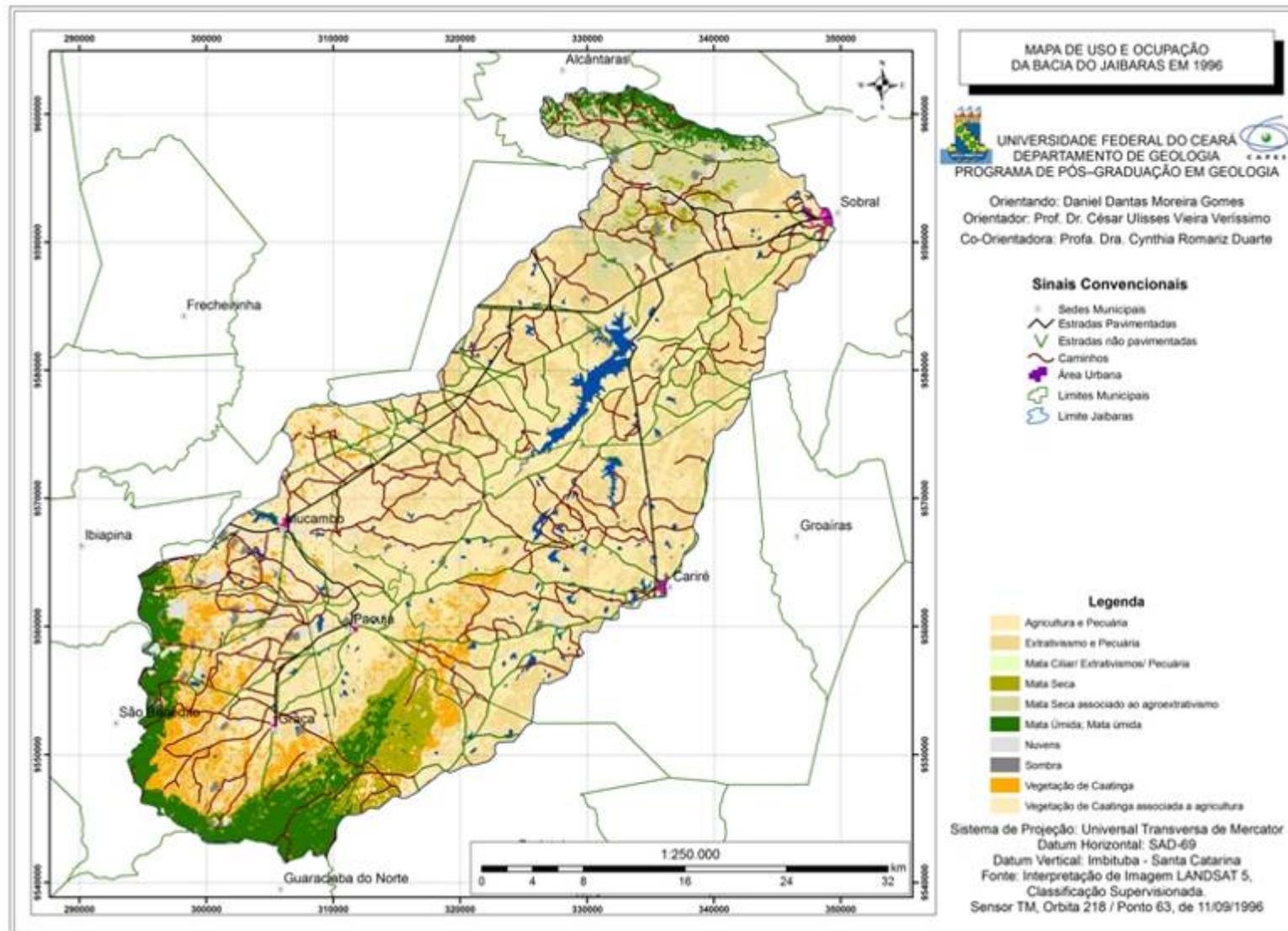


Figura

Na figura 45 apresneta os percentuais de cada classe de uso e ocupação para o ano de 1996 e a figura 46 demonstra os percentuais de forma especializada.

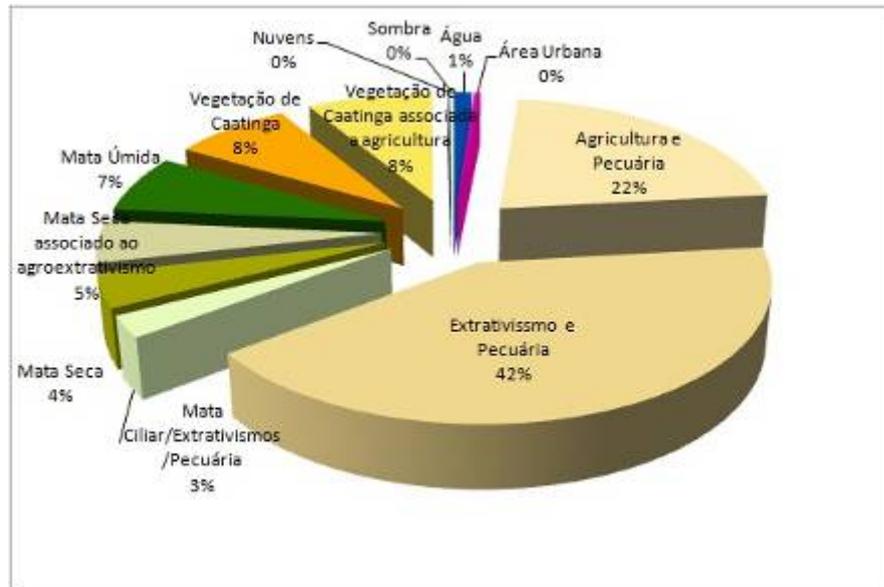


**Figura 45** – Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras no ano de 1996.

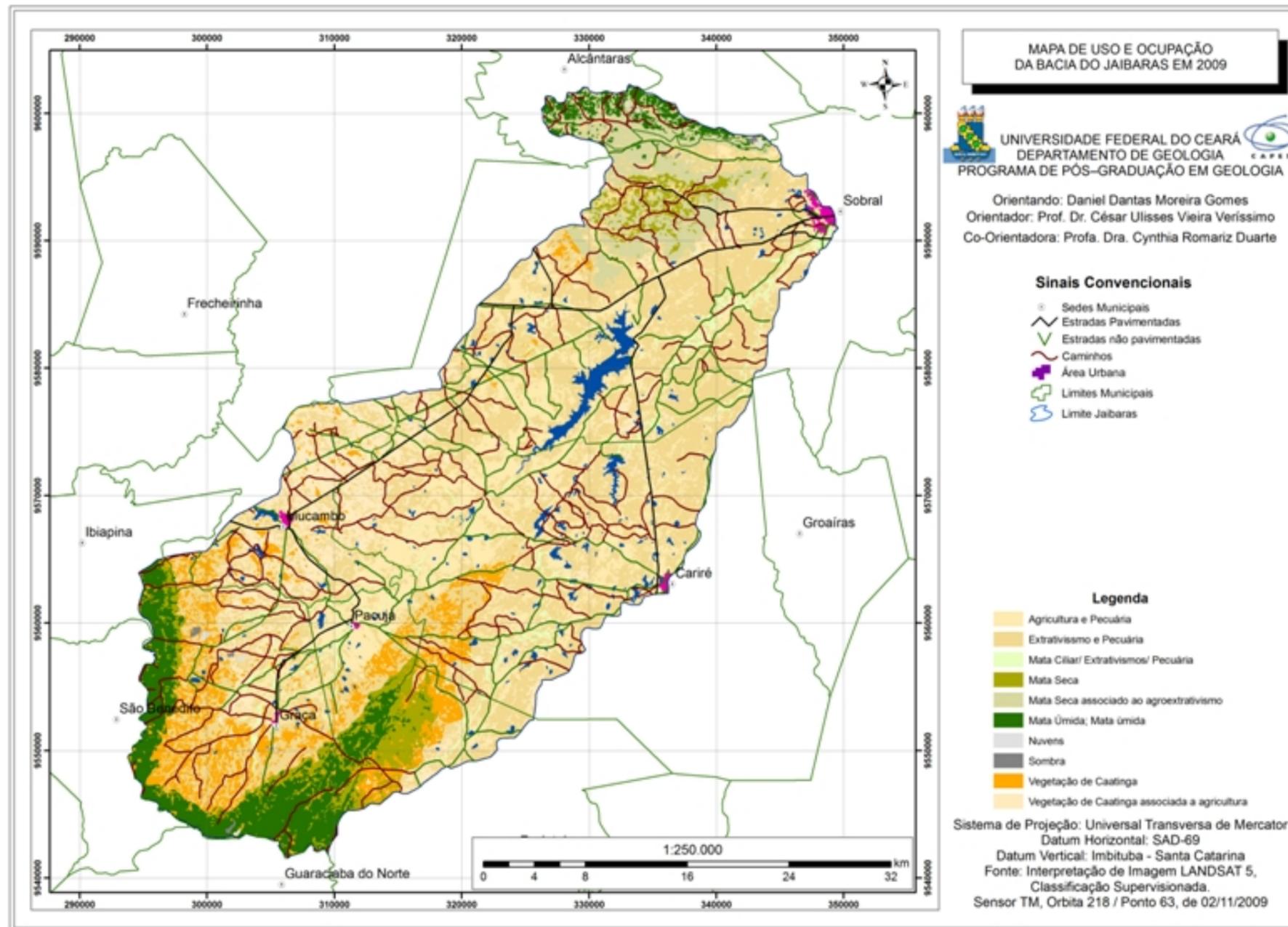


**Figura 20** – Mapa dos níveis de degradação da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Jaibaras / CE, em 1985.

Na figura 46 apresnta os percentuais de cada classe de uso e ocupação para o ano de 2009 e a figura 47 demonstra os percentuais de forma especializada.



**Figura 46** – Classes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Jaibaras no ano de 2009.



**Figura 20** – Mapa dos níveis de degradação da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Jaibaras / CE, em 1985.

## 5 SISTEMAS AMBIENTAIS

Os Sistemas Ambientais constituem espaços territoriais que possuem certo grau de homogeneidade fisionômica, dada pelos elementos mais visíveis na paisagem, ou seja, o relevo e a vegetação.

Os aspectos geomorfológicos são utilizados como um dos principais critérios para a delimitação dos Sistemas Ambientais, dadas as suas características de síntese dos processos ambientais. Já a vegetação, apresenta-se como o reflexo do jogo de interações e interdependências entre os demais componentes do ambiente - potencial ecológico, exploração biológica e utilização humana do espaço (SOUZA, 2000).

Quando se identifica um determinado padrão fisionômico numa imagem de satélite (ou fotografia aérea, ou imagem de radar) em uma dada escala, este se revela de modo concreto e aparentemente estático na paisagem, mas por trás das formas de relevo e da cobertura vegetal, variáveis mais sensíveis à visão humana, estão outras (rochas e minerais e seus arranjos estruturais, os solos, a hidrografia e o ar) em diferentes estados de tempo.

Dessa forma, os padrões fisionômicos identificados que guardam aspecto de “paisagens estáticas”, na verdade, são dotados de uma dinâmica praticamente invisível, porém mensurável através de técnicas de campo e de laboratório.

O uso de imagens de satélite foi imprescindível para a identificação e delimitação de unidades homogêneas na paisagem da bacia hidrográfica do rio Jaibaras, uma vez que este recurso proporciona uma visão sinóptica e multitemporal (FLORENZANO, 2002), ao tratar de estudos ambientais da bacia no anos de 1985, 1996 e 2009.

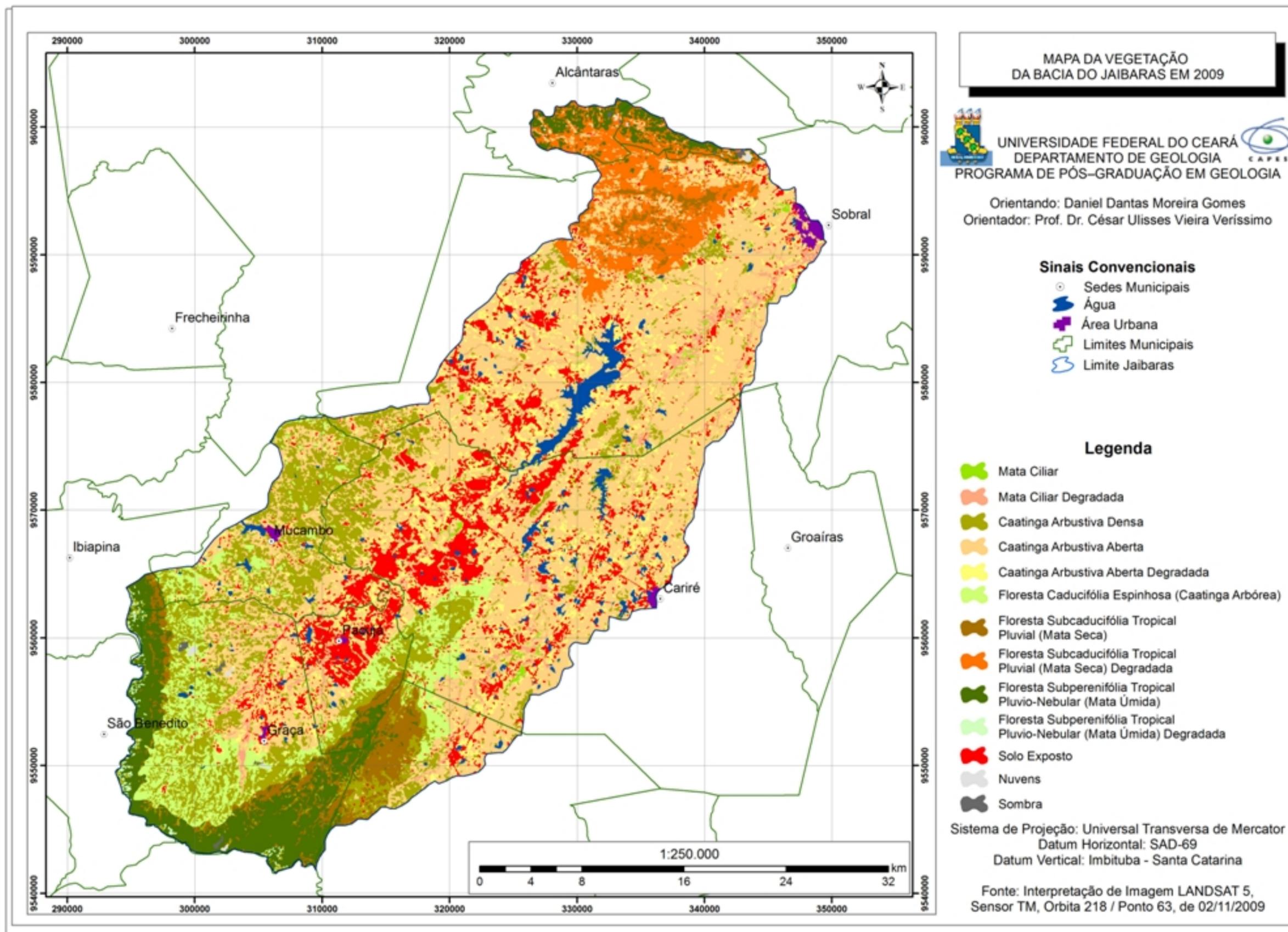
As unidades estabelecidas foram delimitadas de acordo com a classificação de Bertrand (1972), considerando as inter-relações e interdependências entre os atributos do potencial ecológico (geologia, relevo, clima, hidrografia), da exploração biológica (solos, biodiversidade) e dos padrões de utilização do espaço pelo homem.

As adaptações da referida classificação à realidade geoambiental da bacia hidrográfica do Jaibaras são atribuídas, sobretudo, às unidades inferiores (geossistemas e *geofácies*), conforme quadro 07.

**Quadro 07** - Sistemas e subsistemas da bacia hidrográfica do rio Jaibaras.

<b>SISTEMAS AMBIENTAIS</b>	<b>SUBSISTEMAS AMBIENTAIS</b>
Depósitos Quaternários	Alvéolos
	Planícies Fluviais
Depressão Sertaneja	Supercície Pediplanada Parcialmente Dissecada
	Supercície Pediplanada Dissecada
Maciços Residuais	Cristas Residuais
	Vertente Seca da Meruoca
	Vertente Úmida da Meruoca
Planalto Sedimentar da Ibiapaba	Planalto da Ibiapaba
	Depressão Periférica de Ibiapaba
	Escarpa de Ibiapaba

A figura 48 apresenta à realidade geoambiental da bacia hidrográfica do Jaibaras identificando as unidades inferiores (geossistemas e *geofácies*).



A análise de paisagem nos possibilita o estabelecimento de cinco categorias de meios morfodinâmicos, fundamentados no balanço morfogênese/pedogênese aplicada à interface atmosfera-litosfera, considerando-se a cobertura vegetal como fator estabilizador da paisagem.

Os quadros que serão apresentados a seguir sintetizam as características dos componentes naturais, os níveis de estabilidade, as condições de uso e ocupação e os impactos ambientais configurados de cada subsistema da bacia do Jaibaras levando em consideração os três anos em estudo.

**Quadro 08** – Subsistema ambiental Alvéolos

Sistema Ambiental: Depósitos Quaternários

Subsistema ambiental: Alvéolos      Área: 16,14 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Depósitos Quaternários	Alvéolos	Apresenta uma litologia composta de monzonitos, granodioritos e sienitos com predomínio da fácies equigranular; granulação média a grossa. Pertencente a Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca	Apresenta um superfície plana, que variam entre 2° e 11,2° de declividade, mesmo estando em altitudes que variam entre 460 e 670 metros. É resultado de processos erosivos diferenciais que acabam sendo depositado em altitude.	Está localizado na vertente, a sotavento da seca da serra da Meruoca, onde sofre menos a influencia das chuvas orografica. Possui como tipo climático apenas o tropical semi-árido, onde apresenta 6 meses secos, possuindo média pluviométricas de 82 mm/ano. Possui uma hidrografia superficial intermitente, influenciada pelo período de chuva.	Os solos de maior abundância são Argissolo. A cobertura vegetal destes locais era bastante variada com espécies da caatinga aberta arbustiva e mata seca, onde está apresenta diversificação quantitativa entre os períodos estudados.	Ambiente em equilíbrio, com regiões apresentando uma vulnerabilidade moderada.
ALTERAÇÃO DA ECDINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO		CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO			IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS	
Para o ano de 1985 os Alvéolos apresentaram 67% de vulnerabilidade moderada, no ano de 1996 75% apresentou o ambiente em equilíbrio, já no ano de 2009 apresentou 95% uma ecodinâmica.		Geralmente são pequenas e médias propriedades. Existe também prática da pecuária de subsistência. Presença de lavra de extração de granito, áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro.			Descaracterização da cobertura vegetal primária, com a sua retirada para agricultura; acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado; cultivo em áreas de preservação permanente; práticas agrícolas promotoras da queda da biodiversidade; sobreutilização dos recursos naturais; diminuição da carga hídrica; poluição dos riachos; assoreamento dos canais fluviais; e sítios urbanos sem planejamento.	

**Quadro 09 - Subsistema ambiental da Planície Fluvial**

Sistema Ambiental: Depósitos Quaternários

Subsistema ambiental: Planícies Fluviais Área: 63,67 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Depósitos Quaternários	Planícies Fluviais	Apresenta uma litologia com sedimentos Cenozóicos em terrenos do período quaternário, apresentando assim, uma litologia composta de argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos argilas orgânicas, transportados pela dinâmica do sistema fluvial.	Apresenta área com superfície mais plana da bacia, inferiores a 3° de declividade, também apresenta as menores altitudes da bacia, que variam entre 90 e 160 metros. As planícies fluviais têm menor capacidade de entalhe, constituindo também ambientes de exceção, onde há maior facilidade de acumulo hídrico.	Está localizado em toda a extensão da bacia, onde sofre maior diferenciação da quantidade pluviométrica. Possui uma hidrografia superficial intermitente, influenciada pela pluviometria, com um padrão de drenagem dendrítica.	Os solos são do tipo Neossolos Flúvicos profundos. A cobertura vegetal destes locais era bastante variada com espécies da caatinga aberta arbustiva, mata ciliar.	Ambiente que varia entre vulnerabilidade moderada e altamente vulnerável.
ALTERAÇÃO DA ECDINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO		CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO			IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS	
Para o ano de 1985 a Planície Fluvial apresentaram 66% e vulnerabilidade moderada, no ano de 1996 e 2009 apresentou 69 % da ecodinâmica.		Há o predomínio de grandes propriedades. Presença de cultivos permanentes e temporários, extrativismo vegetal (carnaúba), retiradas de vegetação para utilização como matriz energética, extrativismo mineral (argila) e pecuária. Captação de água por poços artesianos ou profundos. Pesca artesanal nas barragens. Sítios urbanos. As principais classes identificadas no mapeamento foram: Área Urbana com 1,622 km <sup>2</sup> ; Agricultura e Pecuária com 9,953 km <sup>2</sup> ; Extrativismo e Pecuária com 16,807 km <sup>2</sup> ; Mata Ciliar Agricultura com 34,997 km <sup>2</sup> ; e corpos d'água com 0,288 km <sup>2</sup> . Presença de lavra de extração de granito, conglomerado, arenito, argila, calcário e, áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro. e minério de cobre.			Descaracterização da cobertura vegetal primária; extrativismo vegetal e mineral descontrolado; diminuição da biodiversidade; sobrepastoreio; resíduos sólidos em local inadequado; assoreamento de rios e riachos; cultivo em áreas de preservação permanente; rebaixamento do lençol freático; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos não planejados; poluição dos recursos hídricos; e sobreutilização dos recursos naturais.	

**Quadro 10 -** Subsistema ambiental de Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada.

Sistema Ambiental: Depressão Sertaneja

Subsistema ambiental: Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada Área: 258,46 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Depressão Sertaneja	Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada	Possui entre suas principais unidades litoestratigráficas, Formação Aprazível, Formação Pacujá, Formação Coreaú, Formação Frecheirinha, Formação Massapé, Formação Parapuí, possuindo em toda sua extensão uma litologia bastante bastante diversificada.	Apresenta área com superfície com declividade inferiores a 6° de declive está inserida na depressão sertaneja da bacia, que variam entre 160 e 300 metros.	O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. O padrão de drenagem é dendrítico, com a maior parte do ano intermitente.	Os solos rasos do tipo Neossolos Litólicos Eutófico. A cobertura vegetal deste sub-sistema variada entre as unidades fitoecológicas, possuindo 49 % de Caatinga Arbustiva Aberta, 20% Caatinga Arbustiva Aberta Degradada, 4% de Caatinga Arbórea, e 1% de Caatinga Arbórea Degradada. Vale chamar atenção pela por uma área de 67,72 km <sup>2</sup> com solo exposto associado com vegetação rasteira.	Ambiente com 63% com vulnerabilidade moderada e 36,19% de área está em equilíbrio ecodinâmico

<b>ALTERAÇÃO DA ECODINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO</b>	<b>CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO</b>	<b>IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS</b>
<p>A Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada apresentou 62%, 70% e 63% de vulnerabilidade moderada da área total, para os anos de 1985, 1996 e 2009 respectivamente</p>	<p>Agricultura de subsistência, com milho e feijão nas pequenas propriedades e próximo aos recursos hídricos, tem-se o uso da terra na forma de pecuária extensiva e extrativismo vegetal. As principais classes identificadas no mapeamento foram: Agricultura e Pecuária com 119,24 km<sup>2</sup>; Extrativismo e Pecuária com 125,75 km. Presença de lavra de extração de areia, arenito, argila, calcário, conglomerado, granito e áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro. e minério de cobre.</p>	<p>Forte descaracterização da cobertura vegetal; sobrepastoreio; esgotamento dos solos, com o truncamento do horizonte superficial; diminuição da biodiversidade; carência de melhores técnicas de proteção dos solos às intempéries do clima e formas de uso da terra; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento dos cursos d'água; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos sem planejamento; e acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado.</p>

**Quadro 11 - Subsistema ambiental de Supercície Pediplanada Dissecada.**

Sistema Ambiental: Depressão Sertaneja

Subsistema ambiental: Supercície Pediplanada Dissecada Área: 676,72 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Depressão Sertaneja	Supercície Pediplanada Dissecada	<p>Possui entre suas principais unidades litoestratigráficas, Formação Aprazível, Formação Pacujá, Formação Massapé, Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca, Formação Parapuí, Lente Ceará, Corpo - Granitóides diversos, Unidade Canindé, Unidade Independência, possuindo em toda sua extensão uma litologia bastante bastante diversificada. O truncamento indistinto de uma gama muito grande de rochas, cada uma sendo mais proeminente em uma unidade diferente, fez com que a área configurasse topograficamente de forma dissecada, diferente dos outros sertões justamente pela disposição frente a erosão que estes complexos litológicos ofereceram.</p>	<p>Apresenta área com superfície com declividade entre 6° e 12° de declive, bastante ondulado, está inserida na depressão sertaneja da bacia, que variam entre 160 e 380 metros.</p>	<p>O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. O padrão de drenagem é dendrítico, com a maior parte do ano intermitente.</p>	<p>Possui um mosaico de solos bastante diversificado, composta por Neossolos Litólicos, Luvisolos, Planossolos e argissolos. A cobertura vegetal deste sub-sistema variada entre as unidades fitoecológicas, possuindo 53,73 % de Caatinga Arbustiva Aberta, 13,80% de Caatinga Arbustiva Aberta Degradada, 1,19% de Caatinga Arbórea, e 17,55% de Caatinga Arbórea Degradada. Vale chamar atenção pela por uma área de 86,78 km<sup>2</sup> com solo exposto</p>	<p>Ambiente com 24% com vulnerabilidade moderada e 76% de área está em equilíbrio ecodinâmico</p>

					associado com vegetação rasteira.	
<b>ALTERAÇÃO DA ECODINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO</b>		<b>CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO</b>			<b>IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS</b>	
<p>Para os anos de 1985 e 2009, o ambiente foi classificado com vulnerabilidade moderada, representando respectivamente 67%, 76% da área total do subsistema.</p> <p>No ano de 1996 75% da área foi classificada como em equilíbrio.</p>		<p>O uso da terra na forma de pecuária extensiva e silvicultura. Ocorrência de sítios urbanos. Presença de indústrias de pequeno e grande porte.</p> <p>Agricultura de subsistência, com milho e feijão nas pequenas propriedades e próximo aos recursos hídricos. Pesca comercial e artesanal em açudes.</p> <p>Presença de lavra de extração de areia, arenito, argila, calcário, conglomerado, granito e áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro e minério de cobre.</p>			<p>Forte descaracterização da cobertura vegetal pela silvicultura; sobrepastoreio; esgotamento dos solos, com o truncamento do horizonte superficial; diminuição da biodiversidade; carência de melhores técnicas de proteção dos solos às intempéries do clima e formas de uso da terra; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento dos cursos d'água; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos sem planejamento; e acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado.</p>	

**Quadro 12 - Subsistema ambiental de Cristas Residuais**

Sistema Ambiental: Maciços Residuais

Subsistema ambiental: Cristas Residuais Área: 33,82 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Maciços Residuais	Cristas Residuais	Possui entre suas principais unidades litoestratigráficas, Formação Frecheirinha, Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca, Formação Parapuí, possuindo sua Morfoestruturais pertencentes ao Escudos e Maciços Antigos .	Apresenta área com superfície com declividade superiores a 15° de declive, está inserida na depressão sertaneja da bacia, que variam entre 200 e 700 metros.	O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. Com drenagem intermitente.	Apresenta mosaico de solos com grande variedade em associação de Planossolos, Neossolos Litólicos sendo comuns os solos rasos, afloramentos rochosos, chãos pedregosos e campos de <i>inselbergs</i> .	Ambiente com 81% com vulnerabilidade em equilíbrio ecodinâmico
<b>ALTERAÇÃO DA ECODINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO</b>		<b>CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO</b>			<b>IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS</b>	
Para os três anos, 1985, 1996 e 2009, o ambiente foi classificado como em equilíbrio, representando respectivamente 82%, 70% e 81% da área total do subsistema.		Presença de lavra de extração granito e áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro e minério de cobre.			Desmoroamento de blocos rochosos; extração da cobertura vegetal em áreas de forte declive; e erosão.	

**Quadro 13** - Subsistema ambiental Vertente Seca da Meruoca.

Sistema Ambiental: Maciços Residuais

Subsistema ambiental: Vertente Seca da Meruoca Área: 110,04 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Depressão Sertaneja	Vertente Seca da Meruoca	Apresenta uma litologia composta de monzonitos, granodioritos e sienitos com predomínio da fácies equigranular; granulação média a grossa, presente na Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca.	Apresenta área com superfície com declividade superiores a 25° de declive, a altimetria varia entre 200 e 860 metros.	A incidência do clima tropical quente semi-árido de 7 a 8 meses secos nos setores sul e oeste. A rede de drenagem apresenta forte controle estrutural, com o desenvolvimento de uma forma subparalela.	Os solos rasos do tipo Neossolos Litólicos Eutófico e Luvisolos. A cobertura vegetal deste subsistema variada entre as unidades fitoecológicas, possuindo 25% de Caatinga Arbustiva Aberta, 4% Caatinga Arbustiva Aberta Degradada, 8% de Mata Saca, 56% de Mata Seca Degradada, 3% de Mata Úmida e 3% de Solo Exposto.	Ambiente com 88% de área está em equilíbrio ecodinâmico
<b>ALTERAÇÃO DA ECDINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO</b>		<b>CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO</b>			<b>IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS</b>	
Para os três anos, 1985, 1996 e 2009, o ambiente foi classificado como em equilíbrio, representando respectivamente 89%, 88% e 88% da área total do subsistema.		Predominância de propriedades agrícolas de pequeno porte. Existem poucas propriedades sem uso e em grande parte praticam extrativismo. Nas cristas com solos mais espessos ocorre a prática de culturas temporárias em cristas com solos menos espessos somente ao extrativismo. A base da produção é a subsistência para as culturas temporárias e de subsistência/ comercial para as culturas permanentes. As culturas permanentes utilizam as áreas mais úmidas. Presença de lavra de extração granito e áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro. As principais classes identificadas no mapeamento foram: Agricultura e Pecuária com 4,37 km <sup>2</sup> ; Extrativismo e			Forte descaracterização da cobertura vegetal; erosão em sulcos; perda do horizonte superficial do solo promovendo o surgimento e o deslizamento de blocos rochosos; diminuição da biodiversidade; exploração agrícola em áreas inadequadas; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento das nascentes, rios e riachos; acúmulo de resíduos sólidos	

	Pecuária com 27,24 km².	em local inadequado; sítios urbanos sem planejamento; poluição dos recursos hídricos; desmatamento e queimadas; e sobreutilização dos recursos naturais. poluição dos recursos hídricos; desmatamento e queimadas; e sobreutilização dos recursos naturais.
--	-------------------------	---

**Quadro 14 -** Subsistema ambiental Vertente Úmida da Meruoca.

Sistema Ambiental: Maciços Residuais

Subsistema ambiental: Vertente Úmida da Meruoca Área: 35,84 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Maciços Residuais	Vertente Úmida da Meruoca	Apresenta uma litologia composta de monzonitos, granodioritos e sienitos com predomínio da fácies equigranular; granulação média a grossa, presente na Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca.	Apresenta área com superfície com declividade superiores a 25° de declive, a altimetria varia entre 330 e 890 metros	O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. A rede de drenagem apresenta forte controle estrutural, com o desenvolvimento de uma forma subparalela.	Os solos rasos do tipo Neossolos Litólicos. A cobertura vegetal deste subsistema variada entre as unidades fitoecológicas, possuindo 16,93 km <sup>2</sup> de Mata Seca Degradada e 15,05 km <sup>2</sup> de Mata Úmida	Ambiente com 63% com vulnerabilidade moderada e 36,19% de área está em equilíbrio ecodinâmico
ALTERAÇÃO DA ECDINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO		CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO			IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS	
Para os três anos o ambiente encontra-se em equilíbrio.		Predominância de propriedades agrícolas de pequeno porte. Existem poucas propriedades sem uso e em grande parte praticam extrativismo. Nas cristas com solos mais espessos ocorre a prática de culturas temporárias em cristas com solos menos espessos somente ao extrativismo. A base da produção é a subsistência para as culturas temporárias e de subsistência/ comercial para as culturas permanentes. As culturas permanentes utilizam as áreas mais úmidas.			Descaracterização da cobertura vegetal; erosão em sulcos; perda do horizonte superficial do solo promovendo o surgimento e o deslizamento de blocos rochosos; diminuição da biodiversidade; exploração agrícola em áreas inadequadas; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento das nascentes, rios e riachos; acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado; poluição dos recursos hídricos; desmatamento e queimadas; e sobreutilização dos recursos naturais. poluição dos recursos hídricos; desmatamento e queimadas; e sobreutilização dos recursos naturais.	

**Quadro 15** - Subsistema ambiental Planalto Sedimentar da Ibiapaba.

Sistema Ambiental: Planalto Sedimentar da Ibiapaba

Subsistema ambiental: Planalto da Ibiapaba Área: 22,66 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Planalto Sedimentar da Ibiapaba	Planalto da Ibiapaba	Apresenta uma litologia composta de Conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos, pertencente ao Grupo Serra Grande.	Está localizada na área de maior altitude da bacia, que varia entre 900 e 950 metros. Possui terrenos planos com declividade inferiores de 5°.	O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos, é bastante influenciada por chuvas orográficas.	A cobertura vegetal deste subsistema variada entre as unidades fitoecológicas, possuindo 16,24 km <sup>2</sup> de Mata Úmida, 4,09 km <sup>2</sup> de Mata úmida Degradada e 2,29 km <sup>2</sup> de Caatinga Arbórea.	Ambiente encontra-se em equilíbrio ecodinâmico
<b>ALTERAÇÃO DA ECODINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO</b>		<b>CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO</b>			<b>IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS</b>	
Para os três anos o ambiente encontra-se em equilíbrio.		A base da produção é a subsistência para as culturas temporárias e de subsistência. Áreas requeridas para pesquisa em fosfato.			Descaracterização da cobertura vegetal primária; extrativismo vegetal diminuição da biodiversidade; cultivo em áreas de preservação permanente; e sobreutilização dos recursos naturais.	

**Quadro 16** - Subsistema ambiental de Escarpa de Ibiapaba.

Sistema Ambiental: Planalto Sedimentar da Ibiapaba

Subsistema ambiental: Escarpa de Ibiapaba Área: 136,36 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Planalto Sedimentar da Ibiapaba	Escarpa de Ibiapaba	Apresenta uma litologia composta de Conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos, pertencente ao Grupo Serra Grande.	Apresenta área com Bastante variada com mais de 16,32km <sup>2</sup> de declividades superiores a 27°, com altimetria variando entre 270 m e 910. Possui uma superfície bastante acidentada, resultante de processos erosivos diferenciais, onde a diferença de resistência das rochas origina relevo acidentado.	O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. Possui maior disponibilidade hídrica, bastante influenciada por chuvas orogênicas, a rede de drenagem apresenta grande capacidade energética com vales em forma de “V”.	Presença de Neossolos Litólicos e Argissolos. A cobertura vegetal é compreendida por unidade fitoecológicas de maior porte representadas por Mata Úmida 71,77 km <sup>2</sup> , Mata Seca 47,91 km <sup>2</sup> e Caatinga Arbórea com 15,18 km <sup>2</sup> .	Ambiente encontra-se em equilíbrio ecodinâmico
<b>ALTERAÇÃO DA ECDINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO</b>		<b>CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO</b>			<b>IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS</b>	
Para os três anos o ambiente encontra-se em equilíbrio.		A base da produção é a subsistência para as culturas temporárias e de subsistência. Áreas requeridas para pesquisa em fosfato.			Descaracterização da cobertura vegetal primária; extrativismo vegetal diminuição da biodiversidade; cultivo em áreas de preservação permanente; e sobreutilização dos recursos naturais.	

**Quadro 17 -** Subsistema ambiental Depressão Periférica de Ibiapaba.

Sistema Ambiental: Planalto Sedimentar da Ibiapaba

Subsistema ambiental: Depressão Periférica de Ibiapaba Área: 167,54 km<sup>2</sup>

CATEGORIAS ESPACIAIS DE AMBIENTES		CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES NATURAIS				ECODINÂMICA DA PAISAGEM
SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA	LITOESTRATIGRAFIA	GEOMORFOLOGIA	CLIMA E HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	SOLOS E COBERTURA VEGETAL	
Planalto Sedimentar da Ibiapaba	Depressão Periférica de Ibiapaba	Possui entre suas principais unidades litoestratigráficas, Formação Pacujá, Suíte intrusiva - Subcalina alcalina Meruoca, Termometamorfito Mucambo, Grupo Serra Grande.	Superfície bastante discada, resultante de processos erosivos diferenciais, onde a diferença de resistência das rochas origina relevo acidentado, possui declive variado entre 3° e 15°, com altimetria variando entre 180 e 520 metros de altitude.	O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. , a rede de drenagem apresenta grande capacidade energética com vales em forma de “V”, com o desenvolvimento de uma forma subparalela.	Presença de Neossolos Litólicos e Argissolos. A cobertura vegetal é compreendida por unidade fitoecológicas de 87,20 km <sup>2</sup> de Caatinga Arbórea e 71,18 km <sup>2</sup> de Caatinga Arbustiva Aberta.	Ambiente encontra-se em equilíbrio ecodinâmico
ALTERAÇÃO DA ECDINÂMICA NO PERÍODO ESTUDADO		CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO			IMPACTOS AMBIENTAIS CONFIGURADOS	
Para os três anos o ambiente encontra-se em equilíbrio.		O uso da terra na forma de pecuária extensiva e silvicultura. Ocorrência de sítios urbanos. Presença de indústrias de pequeno e grande porte. Agricultura de subsistência, com milho e feijão nas pequenas propriedades e próximo aos recursos hídricos. Pesca comercial e artesanal em açudes. Presença de lavra de extração de areia, arenito, argila, calcário, conglomerado, granito e áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro. e minério de cobre.			Descaracterização da cobertura vegetal primária; extrativismo vegetal e mineral descontrolado; diminuição da biodiversidade; sobrepastoreio; resíduos sólidos em local inadequado; assoreamento de rios e riachos; cultivo em áreas de preservação permanente; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos não planejados; poluição dos recursos hídricos; e sobreutilização dos recursos naturais.	

## 6 SUSCEPTIBILIDADE DOS SOLOS À EROSÃO

### 6.1 Erodibilidade

Buscando determinar o fator K utilizando o Nomograma de Wischmeier et al., (1971), foram recolhidas em campo 16 amostras indeformadas de solos, 16 amostras de areia para análise granulométricas, 16 amostras para matéria orgânicas, sendo assim realizados no total 36 ensaios, o total da composição granulométrica pode ser visto na tabela 06.

**Tabela 06 - Total da Composição Granulométrica**

Amostras	Composição Granulométrica (g/kg)						Classificação Textural
	Areia Grossa 4,8 – 2,00 mm	Areia Média 2,00 – 0,42 mm	Areia Fina 0,42 – 0,074 mm	Areia Total 4,8 – 0,074 mm	Silte 0,074 – 0,005 mm	Argila < 0,005 mm	
DJ-01	142	285	376	803	158	39	Areia Franca
DJ-02	134	268	243	645	294	61	Areia Franca
DJ-03	118	235	546	899	81	20	Areia
DJ-04	90	179	344	613	277	110	Franco Arenosa
DJ-05	76	153	492	721	231	48	Franco Arenosa
DJ-06	154	308	283	745	171	84	Franco Arenosa
DJ-07	166	332	184	682	203	115	Franco Arenosa
DJ-08	57	115	300	472	375	153	Franca
DJ-09	78	156	458	692	212	96	Franco Arenosa
DJ-10	132	265	408	805	150	45	Areia Franca
DJ-11	40	79	334	453	252	295	Franco Argilosa
DJ-12	133	266	395	794	130	76	Areia Franca
DJ-13	75	151	511	737	213	50	Franco Arenosa
DJ-14	77	155	342	574	400	26	Franco Arenosa
DJ-15	93	185	410	688	300	12	Franco Arenosa
DJ-16	129	259	262	650	208	142	Franco Arenosa

As amostras 16 para matéria orgânica foram analisadas como foi descrito na metodologia na fase V, servindo para a análise de erodibilidade do solo, utilizado no monograma de Wischemeier. Entre as amostras a que apresentou menor percentual de matéria orgânica foi a amostra DJ – 15 e a que apresentou maior percentual foi a DJ – 16, o resultado da matéria orgânica pode ser observada na tabela 07

**Tabela 07 - Matéria Orgânica Presente nas amostras**

Amostras	Matéria Orgânica	
	(g/kg)	(%)
DJ-01	6,41	0,641
DJ-02	12,62	1,262
DJ-03	5,38	0,538
DJ-04	16,86	1,686
DJ-05	6,62	0,662
DJ-06	13,55	1,355
DJ-07	15, 83	1,583
DJ-08	7,14	0,714
DJ-09	13,96	1,396
DJ-10	9,10	0,91
DJ-11	13,76	1,376
DJ-12	16,34	1,634
DJ-13	16,03	1,603
DJ-14	10,45	1,045
DJ-15	5,48	0,548
DJ-16	21,21	2,121

Para classificação da estrutura do solo foi utilizado uma classificação simplificada, proposta por Carvalho (1994), onde é avaliado o resultados da análise granulométricas do solo, e é determinado para a estrutura uma classificação com base da percentagem de cada composição granulométrica (quadro 18).

**Quadro 18 – Classificação estrutural do solo.**

<b>Categoria da Estrutura</b>	<b>Classificação</b>
<b>1</b>	Granular muito fina (mais de 50% de finos);
<b>2</b>	Granular fina (mais de 50% de areia);
<b>3</b>	Granular média ou grossa (mais de 50% de areia grossa);
<b>4</b>	Bloco ou maciço (mais de 50% de pedregulhos).

Fonte: Carvalho (1994)

Somente duas amostras a DJ – 08 e DJ – 11 apresentaram uma estrutura classificada como granular muito fina, todo o restante foram classificados como granular fina, a tabela 08 apresenta o resultado da classificação da estrutura de cada amostra.

**Tabela 08** – Resultado da classificação estrutural do solo das amostras colhida em campo.

Amostras	Classificação da Esturura ( % )				Classificação da Estrutura da Amostra
	Bloco ou maciço	Granular média ou grossa	Granular fina	Granular muito fina	
DJ-01	-	14,20	66,10	19,70	Granular fina
DJ-02	-	13,40	51,10	35,50	Granular fina
DJ-03	-	11,80	78,10	10,10	Granular fina
DJ-04	-	9,00	52,30	38,70	Granular fina
DJ-05	-	7,60	64,50	27,90	Granular fina
DJ-06	-	15,40	59,10	25,50	Granular fina
DJ-07	-	16,60	51,60	31,80	Granular fina
DJ-08	-	5,70	41,50	52,80	Granular muito fina
DJ-09	-	7,80	61,40	30,80	Granular fina
DJ-10	-	13,20	67,30	19,50	Granular fina
DJ-11	-	4,00	41,30	54,70	Granular muito fina
DJ-12	-	13,30	66,10	20,60	Granular fina
DJ-13	-	7,50	66,20	26,30	Granular fina
DJ-14	-	7,70	49,70	42,60	Granular fina
DJ-15	-	9,30	59,50	31,20	Granular fina
DJ-16	-	12,90	52,10	35,00	Granular fina

A análise dos processos erosivos foi realizada em 16 ensaios de permeabilidade dos solos, levando em consideração a permeabilidade à carga variável, sendo classificados em seis categorias; muito lenta, lenta, lenta a moderada, moderada a rápida e rápida (representada no quadro 19).

**Quadro 19** - Classificação da Permeabilidade

Classificação da Permeabilidade	Permeabilidade (cm/s)	Permeabilidade (mm/h)	Categoria
6	$< 2,8 \times 10^{-5}$	$< 1$	Muito lenta
5	$2,8 \times 10^{-5} - 5,6 \times 10^{-5}$	1 – 2	Lenta
4	$5,6 \times 10^{-5} - 1,4 \times 10^{-4}$	2 – 5	Lenta a moderada
3	$1,4 \times 10^{-4} - 5,6 \times 10^{-4}$	5 – 20	Moderada
2	$5,6 \times 10^{-4} - 1,7 \times 10^{-3}$	20 – 60	Moderada a rápida
1	$> 1,7 \times 10^{-3}$	$> 60$	Rápida

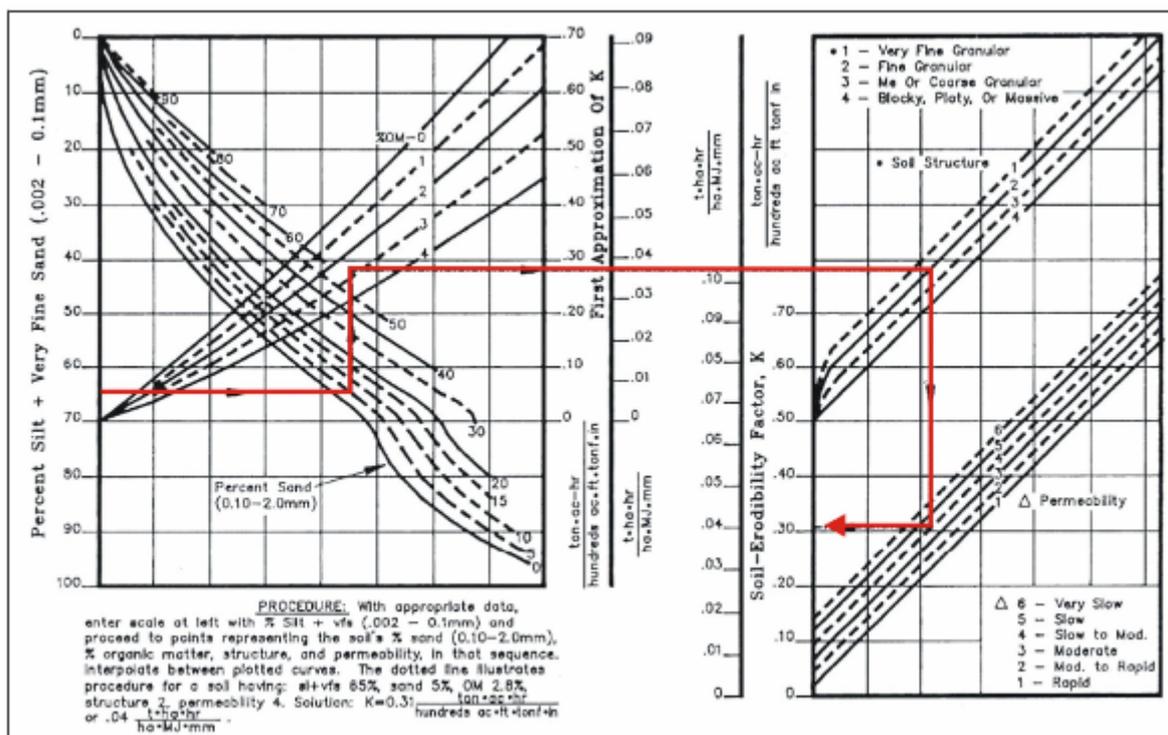
Fonte: HAAN et al. (1994)

No ensaio de permeabilidade 37,5% das amostras foram classificadas na categoria rápida, 31,15% na categoria moderada a rápida, 18,75% na categoria moderada e 12,5% na categoria lenta a moderada, o quadro 20 apresenta os valores no ensaio de permeabilidade à carga variável.

**Quadro 20** – Valores no ensaio de permeabilidade à carga variável

Amostras	Granulometria		Matéria Orgânica		Estrutura	Permeabilidade (K)	
	% areia	% finos	(g/kg)	(%)		cm/s	Classe
DJ -01	66,10	19,70	6,41	0,641	Granular fina (2)	$2,2 \times 10^{-4}$	Moderada (3)
DJ -02	51,10	35,50	12,62	1,262	Granular fina (2)	$6,2 \times 10^{-3}$	Rápida (1)
DJ -03	78,10	10,10	5,38	0,538	Granular fina (2)	$1,6 \times 10^{-3}$	Moderada a Rápido (2)
DJ -04	52,30	38,70	16,86	1,686	Granular fina (2)	$7,2 \times 10^{-4}$	Moderada a Rápido (2)
DJ -05	64,50	27,90	6,62	0,662	Granular fina (2)	$8,6 \times 10^{-5}$	Lenta a Moderada (4)
DJ -06	59,10	25,50	13,55	1,355	Granular fina (2)	$8,4 \times 10^{-4}$	Moderada a Rápido (2)
DJ -07	51,60	31,80	15,83	1,583	Granular fina (2)	$8,9 \times 10^{-4}$	Moderada a Rápido (2)
DJ -08	41,50	52,80	7,14	0,714	Granular muito fina (1)	$1,4 \times 10^{-4}$	Lenta a Moderada (4)
DJ -09	61,40	30,80	13,96	1,396	Granular fina (2)	$5,3 \times 10^{-4}$	Moderada (3)
DJ -10	67,30	19,50	9,10	0,91	Granular fina (2)	$1,8 \times 10^{-3}$	Rápida (1)
DJ -11	41,30	54,70	13,76	1,376	Granular muito fina (1)	$1,8 \times 10^{-3}$	Rápida (1)
DJ -12	66,10	20,60	16,34	1,634	Granular fina (2)	$2,1 \times 10^{-3}$	Rápida (1)
DJ -13	66,20	26,30	16,03	1,603	Granular fina (2)	$1,9 \times 10^{-3}$	Rápida (1)
DJ -14	49,70	42,60	10,45	1,045	Granular fina (2)	$2,0 \times 10^{-4}$	Moderada (3)
DJ -15	59,50	31,20	5,48	0,548	Granular fina (2)	$6,4 \times 10^{-4}$	Moderada a Rápido (2)
DJ -16	52,10	35,00	21,21	2,121	Granular fina (2)	$2,7 \times 10^{-3}$	Rápida (1)

Para quantificar o potencial erosivo das amostras colhidas em campo foi calculado o fator de K do solo, em (t/ha (t.m/ha.mm/h)), expressando a taxa de perda do solo por unidade de erosividade utilizando o nomograma de Wischmeier (figura 49), onde a erodibilidade é classificada em fraca, média e forte.



**Figura 49** - Nomograma de Wischmeier para a determinação do fator K. Fonte: Carvalho (1994).

**Quadro 21** – Grau do fator de Erodibilidade do solo.

Fator K	Classificação de Erodibilidade	Faixa do fator K (t/ha (t.m/ha.mm/h)
1	Fraca	< 0,15
2	Média	0,15 < K < 0,30
3	Forte	K > 0,30

Fonte: Almeida (2001)

Com a determinação do valor de K observou-se que 37,5% das amostras foram classificados como erodibilidade fraca, 43,75% foram classificados com vulnerabilidade média e 18,75% foram classificados com erodibilidade forte (Tabela 09).

**Tabela 09**– Determinação do valor de K

AMOSTRAS	VALOR DE K	
	t/ha/(t.m/ha.mm/h)	GRAU DO FATOR DE ERODIBILIDADE DO SOLO
DJ -01	0,14	Fraca
DJ -02	0,19	Média
DJ -03	0,08	Fraca
DJ -04	0,24	Média
DJ -05	0,21	Média
DJ -06	0,14	Fraca
DJ -07	0,19	Média
DJ -08	0,33	Forte
DJ -09	0,22	Média
DJ -10	0,09	Fraca
DJ -11	0,35	Forte
DJ -12	0,08	Fraca
DJ -13	0,09	Fraca
DJ -14	0,33	Forte
DJ -15	0,22	Média
DJ -16	0,18	Média

## 6.2 Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão

Adaptando os parâmetros de Crepani *et al* (1996) à realidade do semi-árido para o Estado do Ceará, as classes de vulnerabilidade à erosão, foram subdividida em ambiente estável, estabilidade moderada, ambiente em equilíbrio morfodinâmico, vulnerabilidade moderada e altamente vulnerável (quadro 22).

**Quadro 22** – Classes de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão.

Grau de Vulnerabilidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Ambiente Estável	Prevalece a Pedogênese	<b>1,0 a 1,3</b>
Estabilidade Moderada	Modificações na Estabilidade inicial	<b>1,4 a 1,7</b>
Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	<b>1,8 a 2,2</b>
Vulnerabilidade Moderada	Transição do equilíbrio para Morfogênese	<b>2,3 a 2,6</b>
Altamente Vulnerável	Prevalece a Morfogênese	<b>2,7 a 3,0</b>

Fonte: Modificado de Crepani et al., (1996)

A vulnerabilidade geomorfologia foi calculada levando em consideração os valores de altimetria, declividade e compartimentação do relevo (equação 05), as tabelas 10, 11 e 12, contêm os valores de vulnerabilidade associados a geomorfologia para determinação da vulnerabilidade à Erosão.

$$R = (A + D + C)/3 \quad (05)$$

onde:

*R* = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

*A* = vulnerabilidade para o tema Altimetria

*D* = vulnerabilidade para o tema Declividade

*C* = vulnerabilidade para o tema Compartimentação do Relevo

**Tabela 10 - Valores de Vulnerabilidade Para a Compartimentação do Relevo.**

MACRO COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO	COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO	VULNERABILIDADE
Depósitos Quaternários	Alvéolos	2,7
	Planícies Fluviais	3,0
Depressão Sertaneja	Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada	1,5
	Superfície Pediplanada Dissecada	2,0
Maciços Residuais	Cristas Residuais	3,0
	Vertente Seca da Meruoca	2,5
	Vertente Úmida da Meruoca	2,5
Planalto Sedimentar da Ibiapaba	Planalto da Ibiapaba	1,5
	Depressão Periférica de Ibiapaba	2,3
	Escarpa de Ibiapaba	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

**Tabela 11 - Valores de Vulnerabilidade Para a Declividade**

DECLIVIDADE		DECLIVIDADE	
GRAUS (°)	VULNERABILIDADE	GRAUS (°)	VULNERABILIDADE
< 2	1,0	15,2 – 16,5	2,1
2 – 3,3	1,1	16,5 – 17,8	2,2
3,3 – 4,6	1,2	17,8 – 19,1	2,3
4,6 – 5,9	1,3	19,1 – 20,4	2,4
5,9 – 7,3	1,4	20,4 – 21,7	2,5
7,3 – 8,6	1,5	21,7 – 23,0	2,6
8,6 – 9,9	1,6	23,0 – 24,4	2,7
9,9 – 11,2	1,7	24,4 – 25,7	2,8
11,2 – 12,5	1,8	25,7 – 27,0	2,9
12,5 – 13,8	1,9	> 27	3,0
13,8 – 15,2	2,0		

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

**Tabela 12 - Vulnerabilidade Para Amplitude Altimétrica**

AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)	VULNERABILIDADE	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)	VULNERABILIDADE
< 220	1,0	313 – 322,5	2,1
220 – 229,5	1,1	322,5 – 332	2,2
229,5 – 239	1,2	332 – 341,5	2,3
239 – 248,5	1,3	341,5 – 351	2,4
248,5 – 258	1,4	351 – 360,5	2,5
258 – 267,5	1,5	360,5 – 370	2,6
267,5 – 277	1,6	370 – 379,5	2,7
277 – 284,5	1,7	379,5 – 389	2,8
284,5 – 294	1,8	389 – 400	2,9
294 – 303,5	1,9	> 400	3,0
303,5 – 313	2,0		

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

Os valores de vulnerabilidade são aplicados aos temas que foram cartografados, as tabelas 13, 14, 15, 16, 17 e 18 contêm os valores utilizados para determinação da vulnerabilidade à erosão para o tema: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação, Clima e Uso e Ocupação. O resultante da média aritmética dos valores individuais (equação 06), que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$V = (G + R + S + Vg + C + U) / 6 \quad (06)$$

onde:

$V$  = Vulnerabilidade

$G$  = vulnerabilidade para o tema Geologia

$R$  = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

$S$  = vulnerabilidade para o tema Solos

$Vg$  = vulnerabilidade para o tema Vegetação

$C$  = vulnerabilidade para o tema Clima

$U$  = vulnerabilidade para o tema Uso e Ocupação

**Tabela 13 - Valores de Vulnerabilidade das Unidades Litoestatigráficas**

<b>UNIDADES LITOESTATIGRÁFICAS</b>	<b>VULNERABILIDADE</b>
Complexo Ceará - Unidade Independência	1,0
Termometamorfito Mucambo	1,0
Granitóides Diversos	1,1
Ceará, Granulitos	1,2
Suíte intrusiva subalcalina a alcalina Meruoca	1,2
Complexo Ceará - Unidade Canindé	1,3
Parapuí	1,5
Pacujá	2,4
Serra Grande	2,4
Aprazível	2,5
Massapê	2,5
Coreaú	2,6
Frecheirinha	2,9
Depósitos Aluviais	3,0
Termometamorfito Mucambo	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

**Tabela 14 - Valores de Vulnerabilidade dos solos.**

<b>SOLOS</b>	<b>VULNERABILIDADE</b>
Argilossolos	2,0
Latossolo Amarelo	1,0
Luvisolos	2,0
Neossolos Flúvicos	3,0
Neossolos Litólicos Dstrófico	3,0
Neossolos Litólicos Eutófrico	3,0
Neossolos Litólicos Eutófrico e Dstrófico	3,0
Planossolo	2,0

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

**Tabela 15 - Valores de Vulnerabilidade da Intensidade Pluviométrica**

<b>DECLIVIDADE</b>		<b>DECLIVIDADE</b>	
<b>INTENSIDADE</b>	<b>VULNERABILIDADE</b>	<b>INTENSIDADE</b>	<b>VULNERABILIDADE</b>
250 - 275	1,9	400 - 425	2,5
275 - 300	2,0	425 - 450	2,6
300 - 325	2,1	450 - 475	2,7
325 - 350	2,2	475 - 500	2,8
350 - 375	2,3	500 - 525	2,9
375 - 400	2,4	> 525	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

**Tabela 16 - Valores de Vulnerabilidade da vegetação**

<b>VEGETAÇÃO</b>	<b>VULNERABILIDADE</b>
Caatinga Arbustiva Aberta	2,5
Caatinga Arbustiva Aberta Degradada	2,8
Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea)	1,7
Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) Degradada	2,0
Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca)	1,4
Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) Degradada	1,6
Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida)	1,2
Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) Degradada	1,3
Mata Ciliar	2,3
Mata Ciliar Degradada	2,7
Solo Exposto	3,0
Área Urbana	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

**Tabela 17 - Valores de Vulnerabilidade para o uso e ocupação**

<b>Uso e Ocupação</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
Agricultura e Pecuária	3,0
Extrativismo e Pecuária	2,0
Mata Ciliar/ Extrativismos/ Pecuária	2,3
Mata Seca	1,4
Mata Seca associado ao agroextrativismo	1,8
Mata Úmida	1,2
Vegetação de Caatinga	1,7
Vegetação de Caatinga associada a agricultura	2,0
Área Urbana	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (1996).

Com a álgebra dos temas mapeados foi possível determinar o grau de vulnerabilidade de cada subsistema e de cada ano, podendo ser quantificado a área ocupada para cada grau de vulnerabilidade e para cada ano, dando à proporção da que a área representa na bacia, a tabela xx demonstra as áreas ocupada por cada grau de vulnerabilidade (Tabela 18).

**Tabela 18 - Áreas ocupada por cada grau de vulnerabilidade**

Subsistema	Ano	Grau de Vulnerabilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Proporção do Subsistema (%)	Proporção da Bacia (%)
Planícies Fluviais	1985	Estabilidade Moderada	0,03	0,05	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	18,91	29,70	1,21
		Vulnerabilidade Moderada	41,83	65,70	2,67
		Altamente Vulnerável	2,89	4,54	0,18
	1996	Estabilidade Moderada	0,14	0,23	0,01
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	18,17	28,54	1,16
		Vulnerabilidade Moderada	43,19	67,83	2,76
		Altamente Vulnerável	2,21	3,47	0,14
	2009	Estabilidade Moderada	0,05	0,09	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	18,15	28,50	1,16
		Vulnerabilidade Moderada	43,45	68,24	2,77
		Altamente Vulnerável	2,01	3,16	0,13
Alvéolos	1985	Estabilidade Moderada	0,02	0,12	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	7,63	47,25	0,49
		Vulnerabilidade Moderada	8,50	52,64	0,54
	1996	Estabilidade Moderada	1,55	9,61	0,10
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	11,71	72,54	0,75
		Vulnerabilidade Moderada	2,88	17,87	0,18
	2009	Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	15,41	95,46	0,98
		Vulnerabilidade Moderada	0,73	4,55	0,05

Cristas Residuais	1985	Estabilidade Moderada	0,03	0,09	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	27,15	80,28	1,73
		Vulnerabilidade Moderada	6,62	19,58	0,42
	1996	Estabilidade Moderada	0,22	0,66	0,01
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	23,20	68,60	1,48
		Vulnerabilidade Moderada	10,38	30,69	0,66
	2009	Estabilidade Moderada	0,05	0,16	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	26,80	79,25	1,71
		Vulnerabilidade Moderada	6,95	20,54	0,44
Vertente Seca da Meruoca	1985	Estabilidade Moderada	1,43	1,30	0,09
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	98,22	89,26	6,27
		Vulnerabilidade Moderada	10,38	9,44	0,66
	1996	Estabilidade Moderada	1,59	1,45	0,10
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	96,80	87,97	6,18
		Vulnerabilidade Moderada	11,64	10,58	0,74
	2009	Estabilidade Moderada	0,08	0,07	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	96,57	87,76	6,16
		Vulnerabilidade Moderada	13,38	12,16	0,85
Vertente Úmida da Meruoca	1985	Estabilidade Moderada	0,00	0,01	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	29,17	81,38	1,86
		Vulnerabilidade Moderada	6,64	18,53	0,42
	1996	Estabilidade Moderada	0,00	0,01	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	33,48	93,41	2,14
		Vulnerabilidade Moderada	2,33	6,50	0,15
	2009	Estabilidade Moderada	0,01	0,01	0,00
		Ambiente em	32,43	90,47	2,07

		Equilíbrio Morfodinâmico			
		Vulnerabilidade Moderada	3,38	9,43	0,22
Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada	1985	Estabilidade Moderada	0,05	0,02	0,00
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	99,11	38,35	6,32
		Vulnerabilidade Moderada	158,81	61,44	10,13
		Altamente Vulnerável	0,49	0,19	0,03
	1996	Estabilidade Moderada	1,61	0,62	0,10
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	76,15	29,46	4,86
		Vulnerabilidade Moderada	180,43	69,81	11,51
		Altamente Vulnerável	1,98	0,77	0,13
	2009	Estabilidade Moderada	0,23	0,09	0,01
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	92,98	35,97	5,93
		Vulnerabilidade Moderada	163,12	63,11	10,41
		Altamente Vulnerável	2,13	0,83	0,14
Superfície Pediplanada Dissecada	1985	Estabilidade Moderada	8,66	1,28	0,55
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	517,35	76,45	33,02
		Vulnerabilidade Moderada	150,15	22,19	9,58
		Altamente Vulnerável	0,51	0,08	0,03
	1996	Estabilidade Moderada	13,91	2,06	0,89
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	469,09	69,32	29,94
		Vulnerabilidade Moderada	194,51	28,74	12,41
		Altamente Vulnerável	0,15	0,02	0,01
	2009	Estabilidade Moderada	2,86	0,42	0,18
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	513,56	75,89	32,77
		Vulnerabilidade Moderada	160,15	23,67	10,22
		Altamente Vulnerável	0,09	0,01	0,01
Planalto da Ibiapaba	1985	Estabilidade	0,13	0,58	0,01

		Moderada				
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	21,39	94,40	1,37	
		Vulnerabilidade Moderada	1,08	4,76	0,07	
		Altamente Vulnerável	0,02	0,07	0,00	
	1996	Estabilidade Moderada	1,86	8,20	0,12	
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	20,76	91,61	1,32	
	2009	Estabilidade Moderada	1,04	4,58	0,07	
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	21,58	95,22	1,38	
		Vulnerabilidade Moderada	0,00	0,01	0,00	
Escarpa de Ibiapaba	1985	Estabilidade Moderada	0,01	0,01	0,00	
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	100,54	73,73	6,42	
		Vulnerabilidade Moderada	35,37	25,94	2,26	
		Altamente Vulnerável	0,43	0,31	0,03	
	1996	Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	105,43	77,32	6,73	
		Vulnerabilidade Moderada	30,87	22,64	1,97	
		Altamente Vulnerável	0,04	0,03	0,00	
	2009	Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	103,70	76,05	6,62	
		Vulnerabilidade Moderada	32,64	23,94	2,08	
		Altamente Vulnerável	0,01	0,00	0,00	
	Depressão Periférica de Ibiapaba	1985	Estabilidade Moderada	0,02	0,01	0,00
			Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	124,42	74,26	7,94
Vulnerabilidade Moderada			41,21	24,60	2,63	
Altamente Vulnerável			1,89	1,13	0,12	
1996		Estabilidade Moderada	4,28	2,56	0,27	
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	110,98	66,24	7,08	
		Vulnerabilidade Moderada	51,64	30,82	3,30	

		Altamente Vulnerável	0,63	0,38	0,04
	2009	Estabilidade Moderada	0,84	0,50	0,05
		Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	130,13	77,67	8,30
		Vulnerabilidade Moderada	36,18	21,59	2,31
		Altamente Vulnerável	0,38	0,23	0,02

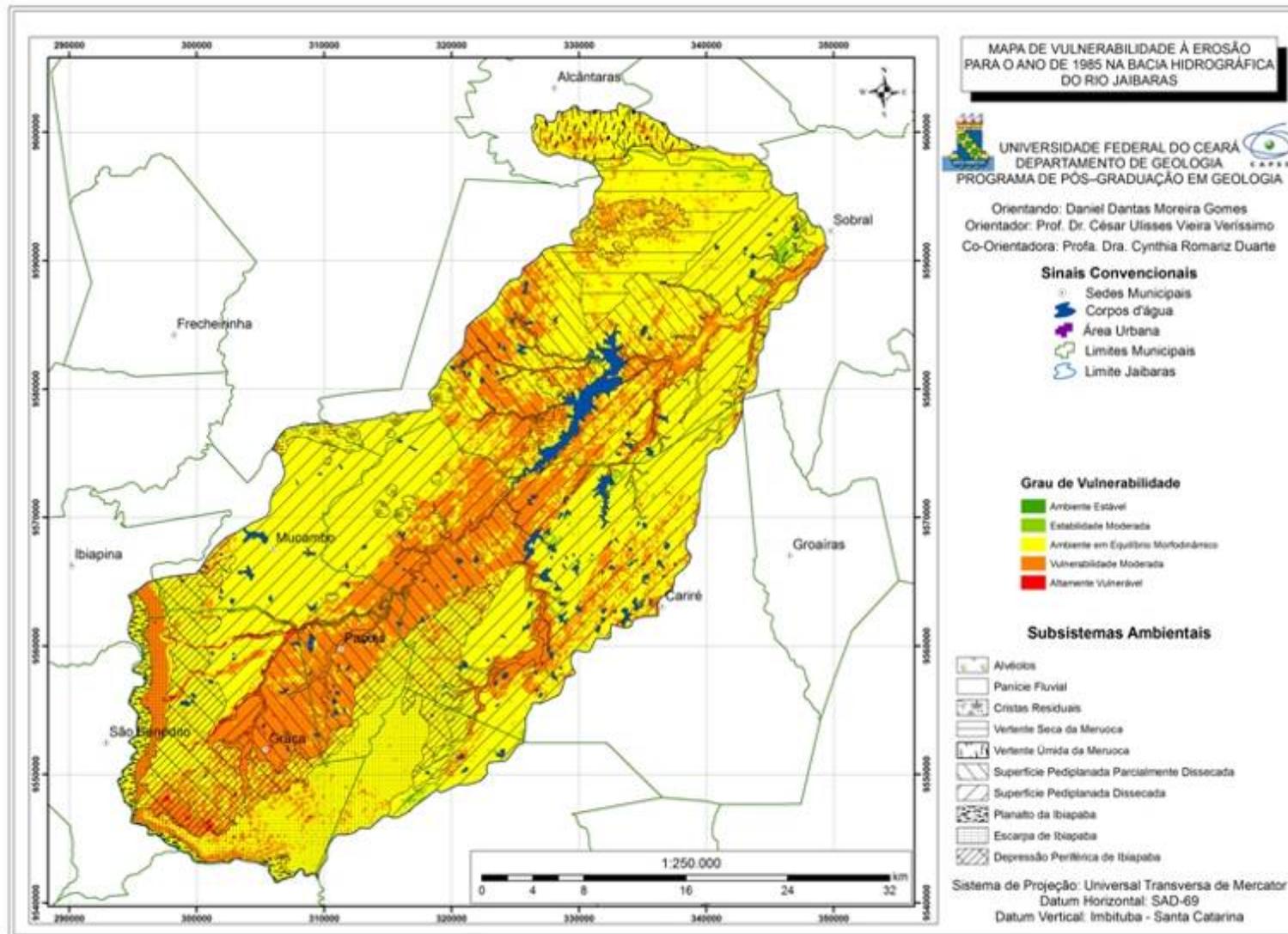
Com o resultado da álgebra de mapas obtivemos o grau da vulnerabilidade de cada subsistema, seus resultados foram quantificados na tabela 19 e podem ser observados de forma especializada para o ano de 1985 na figura 50, para ano de 1996 na figura 51 e finalmente para o ano de 2009 na figura 52.

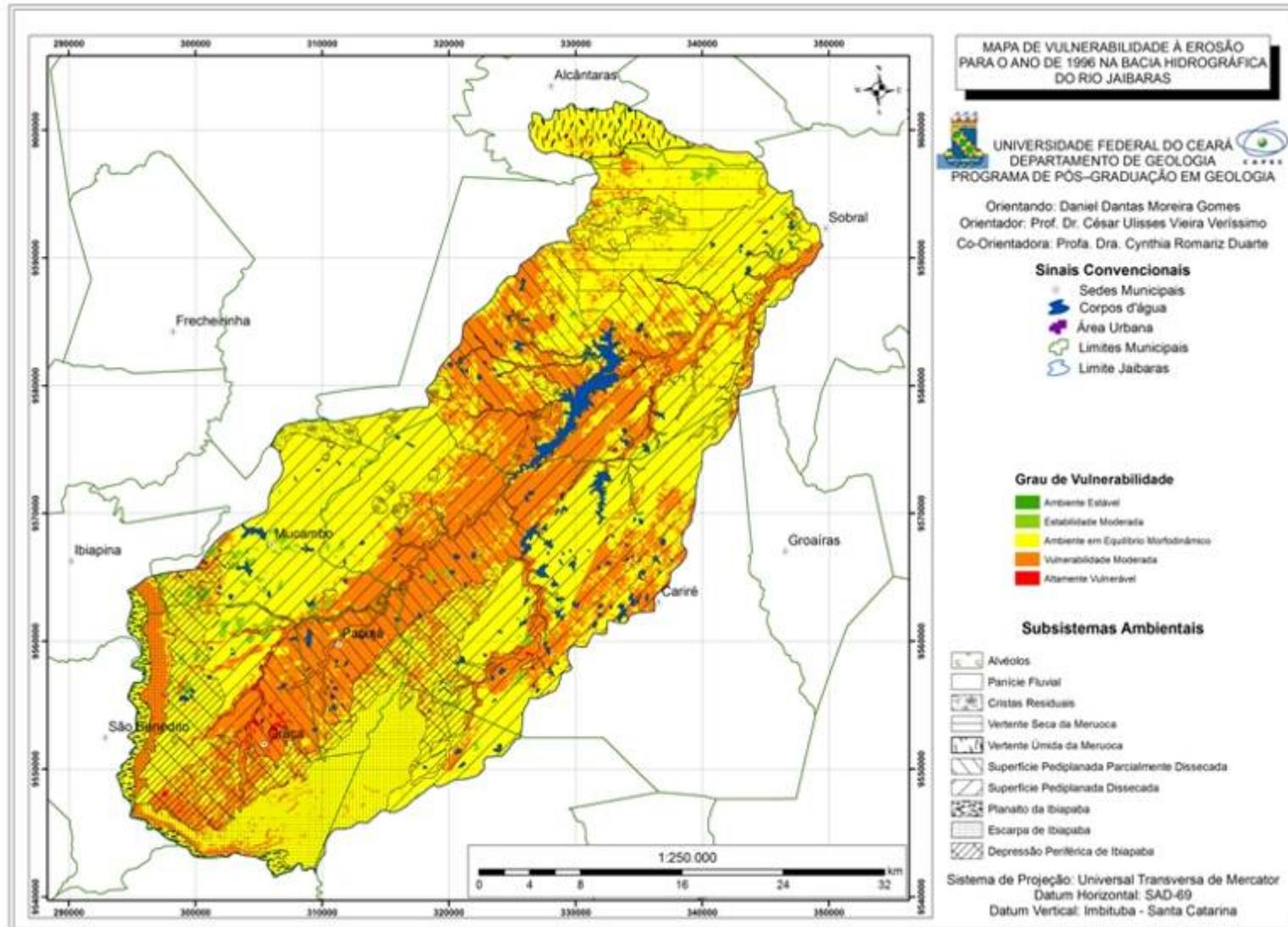
Para os três anos em todo o território da bacia hidrográfica, somente o subsistema dos alvéolos apresentaram grau de vulnerabilidade classificado como **ambiente estável**. Nos três anos foi observado um predomínio do grau de vulnerabilidade **Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico**, onde representaram 67,58%, 62,71% e 68,07% da extensão total da bacia, nos respectivos anos 1985, 1996 e 2009.

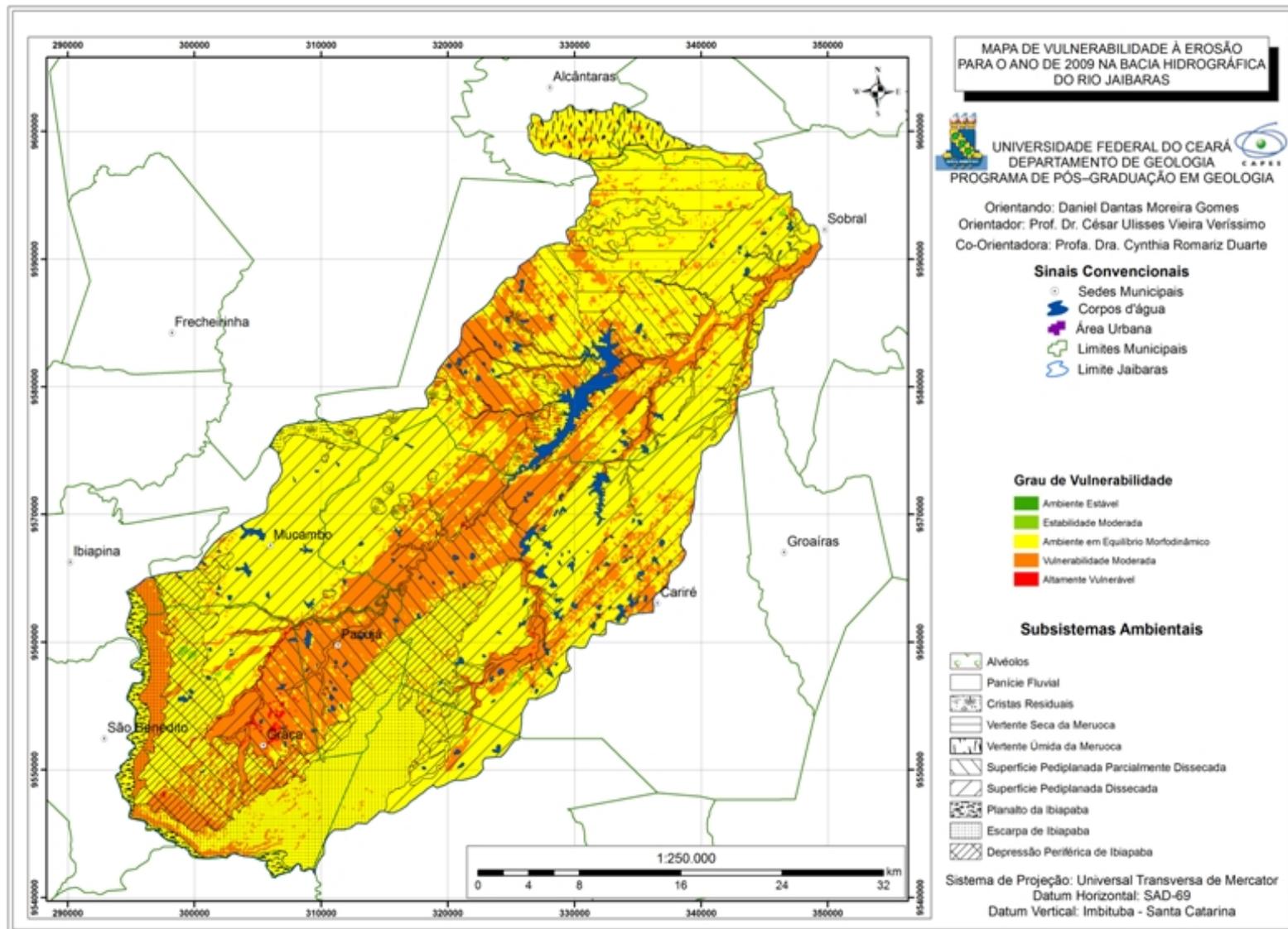
Analisando por subsistemas ambientais, a **Depressão Periférica de Ibiapaba**, a **Escarpa de Ibiapaba**, o **Planalto da Ibiapaba**, a **Planície Fluvial**, **Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada** e a **Superfície Pediplanada Dissecada**, apresentaram vulnerabilidade classificada como **Altamente Vulnerável**, sendo a Planície Fluvial que apresentou a maior percentagem da extensão total do subsistema nessa classe, representando 4,54%, 3,47% e 3,16%, para os anos de 1985, 1996 e 2009.

**Vulnerabilidade Moderada** esteve presente em todos os subsistemas, representando mais de 60% nos três anos do estudo na **Planície Fluvial** e na **Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada**.

Depois do grau de vulnerabilidade Ambiente Estável, a Estabilidade Moderada foi a que teve menor representatividade na pesquisa, representando menos de 10% dos subsistemas e não chegando nem a 1% da bacia em todos os anos em estudo.







## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A bacia hidrográfica foi a unidade territorial escolhida para a análise da vulnerabilidade ambiental e da erosão do rio Jaibaras, fundamentando-se com base teórico-metodológica, na teoria geral dos sistemas e na análise geossistêmica, onde foi possível caracterizar os sistemas ambientais, identificando as inter-relações dos componentes geoambientais e indicando as áreas mais vulneráveis à erosão da bacia.

A utilização de ferramentas como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto tiveram destaque no levantamento, armazenamento, cruzamento e análise dos dados e informações sobre os componentes ambientais e de uso da terra da bacia hidrográfica, e possibilitou uma análise de toda sua extensão territorial.

A bacia hidrográfica do rio Jaibaras possui uma diversidade paisagística que refletem diretamente nas suas condições de uso e ocupação, essas diversidades foram compartimentadas em quatro sistemas ambientais, Depósitos Quaternários, Depressão Sertaneja, Maciços Residuais e Planalto Sedimentar de Ibiapaba, e esses sistemas foram subdivididos em dez subsistemas, cada um com suas características naturais que possuem certo grau de homogeneidade fisionômica, sendo observadas as condições de uso e ocupação, configurando os principais impactos ambientais na bacia.

Os trabalhos de campos foram fundamentais para execução de todo os levantamentos dos recursos naturais da bacia, possibilitando uma análise mais apurada e concreta das áreas mapeadas, além de serem determinantes para a escolha para os locais apropriados para a retirada das amostras de solos para execução dos ensaios de laboratório.

As análises de laboratórios foram fundamentais para a determinação do grau de erodibilidade do solo, fator K, onde 43,75% das amostras foram classificadas com erodibilidade média, 37,5% com erodibilidade fraca e 18,75% com erodibilidade forte.

A determinação do grau de vulnerabilidade à erosão, de acordo com os parâmetros propostos por Crepani *et al* (1996), mostrou-se eficaz, mais cabe chamar a atenção para a necessidade de adaptações para a realidade cearense, sendo possível com as adaptações, determinar sua vulnerabilidade, considerando a relação pedogênese/morfogênese. Para o três anos em estudo houve modificação a porcentagem de classes mapeadas, essas modificações foram influenciada por parâmetros metrológicos e pelas condições de uso.

Para o ano de 1985 a bacia hidrográfica do rio Jaibaras apresentou de sua extensão total: 1,40 % de ambiente estável (prevalecendo a pedogênese); 1,18% para estabilidade

moderada; 67,58% para ambiente em equilíbrio morfodinâmico; 29,45% de vulnerabilidade moderada; e 0,40% de altamente vulnerável (Morfogênese).

Já para o ano de 1996 houve modificação para esses valores, apresentando de sua extensão total: 1,02% de ambiente estável (prevalecendo a pedogênese); 2,39% para estabilidade moderada; 62,71% para ambiente em equilíbrio morfodinâmico; 33,56% de vulnerabilidade moderada; e 0,32% de altamente vulnerável (Morfogênese).

No ano de 2009 os valores percentuais apresentados para toda a extensão da bacia foram: 0,97% de ambiente estável (prevalecendo a pedogênese); 1,25% para estabilidade moderada; 68,07% para ambiente em equilíbrio morfodinâmico; 29,42% de vulnerabilidade moderada; e 0,29% de altamente vulnerável (Morfogênese).

## BIBLIOGRAFIA

AB'SABER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. In: **Geomorfologia**. n° 18, IG-USP, São Paulo, 1969.

ARAÚJO, Gustavo Henrique de Sousa. ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. GUERRA, Antonio José Teixeira. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2005. 320p.

ASSAD, E. S.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ªed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SP, 1998.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. São Paulo: Editora Gráfica Cariú, Caderno de Ciências da terra, 1972

BOTELHOS, Rosângela Garrido Machado. **Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica**. In GUERRA, Antonio José Teixeira, SILVA, Antonio Soares da & BOTELHOS, Rosângela Garrido Machado. org. Erosão e Conservação de Solos. BERTRAND Brasil, 1999. Rio de Janeiro.

BRANDÃO, R.L. **Sistema de informações para gestão e administração da região metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: CPRM, 1995.

BRASIL, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **SPRING 4.3**. São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/SPRING/portugues/download.php>. Acesso em: janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Catálogo de Imagens**. São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: janeiro, 2009.

BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia Fluvial: Um Estudo no Rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Editora RiMa. 2003. 278p.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. -2000 -**Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil**. In; **Tectonic evolution of South America**. Ed. Cordani, U.G; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS. D.A. -Rio de Janeiro: 31º International Geological Cong., 2000.

CÂMARA NETO, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. 1995. 265 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto. 2. ed. 1995.

CARVALHO, N. O. 1994. *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro. CPRM. 143p.

CEARÁ, Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (COGERH). **Base cartográfica**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/base-cartografica/>. Acesso em: janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. Sistema de Informações dos Recursos Hídricos do Ceará (SIRH-CE). [http://atlas.srh.ce.gov.br/mapas/mapa\\_vegetacao.asp](http://atlas.srh.ce.gov.br/mapas/mapa_vegetacao.asp). Acesso em abril de 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1979.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia**. 2ªed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda. 1980.

\_\_\_\_\_. A aplicação da abordagem em sistemas na Geografia Física. *In: Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro: FIBGE, v. 52, n. 2, abr./jun., 1990.

\_\_\_\_\_. **Modelagem de sistemas ambientais** 1ªed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda. 1999.

CREPANI, E. et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001

CREPANI, E. et al. **Detalhamento da metodologia para execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 1997

CREPANI, E. et al. **Banco de Dados Geográficos dos Municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí (Pi) (Municípios Pertencentes ao Núcleo de Desertificação de Gilbués)**. São José dos Campos: INPE, 2008

CPRM. 2003. *Mapa Geológico do Estado do Ceará*. Escala 1:500.000.

CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia Fluvial**. In GUERRA, Antonio José Teixeira & CUNHA, Sandra Baptista da org. GEOMORFOLOGIA uma Atualização de Bases e Conceitos. 4ª ed. Bertrand Brasil, 2001. Rio de Janeiro.

CUNHA, Sandra Baptista da. E GUERRA, Antonio José Teixeira. **Degradação Ambiental** In GUERRA, Antonio José Teixeira e CUNHA, Sandra Baptista da org. Geomorfologia e Meio Ambiente. 4ª edição Bertrand Brasil, 2003. Rio de Janeiro.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

ERHART, H. A teoria Bio-resistástica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Not. Geomorfológica**, Ano VI, nº11, Campinas, 1966.

FERNANDES, A. **Temas Fitogeográficos**. Fortaleza: Stylus Comunicação, 1990.

\_\_\_\_\_. **Fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Monitoramento das chuvas. Disponível em <http://www3.funceme.br/plone/monitoramento/DownloadChuvasPublico.php>. Fortaleza, acessado em : Dez de 2010.

FIGUEREIDO. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: IPLANCE, 1997.

FLORENZANO, T.G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

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

GUERRA, Antonio José Teixeira, SILVA, Antonio Soares da & BOTELHOS, Rosângela Garrido Machado. org. Erosão e Conservação de Solos. BERTRAND Brasil, 1999. Rio de Janeiro.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 1956.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: nov. 2009.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 1991**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 1980**. Rio de Janeiro: IBGE, 1981.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 1970**. Rio de Janeiro: IBGE, 1971.

\_\_\_\_\_. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 1976-2006.

\_\_\_\_\_. **Produção agrícola municipal: extrativismo vegetal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1976-2001.

\_\_\_\_\_. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1976-2006.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Alos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010 Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/alos>. Acesso em: nov. 2010.

INPE. Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. **Manual do sistema de processamento e informações georreferenciadas - Spring 4.3**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>. Acesso em: Abril de 2009.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia do Ceará. Anuário Estatístico do Ceará 2006. Fortaleza: 2007. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em 21 nov. 2007.

IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: IPLANCE, 1997.

LIMA, J.P.R.; FONTES, S. L. Caracterização geolétrica das principais feições tectono estruturais da parte sudeste da Bacia do Parnaíba. VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Bahia, 84-87, 1999.

MARKHAM, B. L. & BARKER, J. B. **Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances**. International Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **GeoCover LANDSAT mosaics**. California, 2004. ETM+/LANDSAT-7. Tile: S-24-00\_2000. Disponível em: <http://www.zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>. Acesso em: janeiro, 2009.

SAMIZAVA, TIAGO MATSUO. **SIG e sensoriamento remoto aplicado ao estudo dos processos de inundação e mapeamento da cobertura vegetal na planície fluvial do alto rio paraná. Presidente Prudente: UNESP/ Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, 2009**

SOUZA, M.J.N. de. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia da UFC**. Fortaleza, n. 1, p. 73-91, jun. 1988.

\_\_\_\_\_. Geomorfologia. In: IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: 1989.

\_\_\_\_\_. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, L.C.; SOUZA, M.J.N. de.; MORAIS, J.O. **Compartimentaao territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

\_\_\_\_\_. Compartimentaao geoambiental do Ceará In: BORZACCHIELLO, J.S.; CAVALCANTE, T.; DANTAS, E. (org.s). **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2005.

SOUZA, M.J.N. de. et al. **Nordeste do Brasil: diagnóstico, cenário e projeções para os anos 2000 e 2020**. Brasília: IPEA – Instituto de Pesquisa Econmica Aplicada. Desenvolvimento sustentável no Nordeste. 1995.

SOUZA, M.J.N. de; OLIVEIRA, V.P.V. de. **Semi-rido do Nordeste do Brasil e o fenmeno da seca**. In: HUBP, J.L.; INBAR, M. (compiladores) Desastres Naturales em América Latina. México: Fondo de Cultura Econmica, 1ed., 2002.

SOUZA, M.J.N. de. et al. **Geossistemas e potencialidades dos recursos naturais: serra de Baturité e áreas sertanejas diversas**. Fortaleza: FNMA/UFC/FUNCEME, 1994.

SHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. **Geologia do Brasil. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da rea Oceânica Adjacente incluindo depósitos minerais**. Escala 1:2.500.000. DNPM, Brasília, 1984, 501p.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo dos geossistemas**. Métodos em questão. IGEOG/USP. São Paulo, 1976.

SUGUIO, K. e BIGARELA, J.J. **Ambientes Fluviais**. 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, Editora UFP, 1990.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro FIBGE/SUPREN, 1977. 97p.

TORQUATO, J. R & NOGUEIRA NETO, J. A. **Historiografia da região de dobramento do Médio Coreaú**. Revista Brasileira de Geociências, 1996.

VIEIRA, L.S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1975.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. **Agriculture handbook**. US. Departamento os Agriculture. Washington. DC. no 537