UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

MODELAGEM DE CONHECIMENTO E MÉTRICAS DE PAISAGEM PARA IDENTIFICAR E ANALISAR PADRÕES ESPACIAIS EM AMBIENTE DE CAATINGA

JANCERLAN GOMES ROCHA

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco

Dissertação de Mestrado

Recife, 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

Jancerlan Gomes Rocha

MODELAGEM DE CONHECIMENTO E MÉTRICAS DE PAISAGEM PARA IDENTIFICAR E ANALISAR PADRÕES ESPACIAIS EM AMBIENTE DE CAATINGA

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação defendida e aprovada no dia 11/08/2011.

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco

Recife
2011

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

R672m **Rocha, Jancerlan Gomes.**

Modelagem de conhecimento e métricas de paisagem para identificar e analisar padrões espaciais em ambiente de caatinga / Jancerlan Gomes Rocha. - Recife: O Autor, 2011.

x, 146 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2011.

Inclui Referências Bibliográficas.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Imagem orbital de alta resolução. 3. Sistema baseado em conhecimento. 4. Métricas de paisagem. 5. Caatinga. I. Pachêco, Admilson da Penha. (Orient). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) **BCTG/2011-237**

MODELAGEM DE CONHECIMENTO E MÉTRICAS DE PAISAGEM PARA IDENTIFICAR E ANALISAR PADRÕES ESPACIAIS EM AMBIENTE DE CAATINGA

POR

JANCERLAN GOMES ROCHA

Dissertação defendida e aprovada em 11/08/2011

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. ADMILSON DA PENHA PACHÊCO
Departamento de Engenharia Cartográfica – Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. RODRIGO MIKOSZ GONÇALVES
Departamento de Engenharia Cartográfica – Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA
Departamento de Geociências – Universidade Federal da Paraíba

EPÍGRAFE

"A experiência humana não seria tão rica e gratificante se não existissem obstáculos a superar. O cume ensolarado de uma montanha não seria tão maravilhoso se não existissem vales sombrios a atravessar" (Helen Keller)

DEDICATÓRIA

A DEUS, razão de tudo o que somos e fazemos.
Aos meus queridos pais (Manoel e Conceição) e irmãs (Jandemília e Jandira), ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha eterna gratidão por tudo que conquistei, pela fé suficiente para enfrentar obstáculos e superá-los, pela capacidade que me ortogou em executar um dos meus objetivos, pelas pessoas maravilhosas que colocou em meu caminho, enfim, por tudo.

A meus queridos pais, Manoel de Almeida Rocha e Maria da Conceição Gomes Rocha, pelo incentivo, pela perseverança e honestidade.

Ao Dr.Sc. Admilson da Penha Pacheco homem de visão, agradeço pelo apoio, compreensão e confiança durante todas as etapas da dissertação, mostrando-se um grande orientador.

Ao Dr.Sc. Eduardo Rodrigues Viana de Lima, pela amizade, atenção e estímulo durante a elaboração desse trabalho.

Ao Dr.Sc. Bartolomeu Ismael de Souza cujas orientações foram essenciais para que este trabalho pudesse ser executado.

Ao Dr.Sc. Rodrigo Mikosz Gonçalves, pela atenção dispensada durante as etapas do trabalho.

Ao amigo Alex Garcia Ximenes Quintans pela solidariedade durante a caminhada acadêmica.

Ao Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba, por ceder equipamentos e transporte.

A Itamar da Rocha Cândido (*in memorian*), pela valiosa atenção durante minha vida acadêmica.

Aos amigos (a) Nereide Serafim, Marcos Leonardo e Lúcia Helena pela confiança e solidariedade.

Aos colegas de curso, pelos esclarecimentos e contribuições de informações, sem os quais a realização deste se tornaria mais árdua.

RESUMO

ROCHA, Jancerlan Gomes. **Modelagem de conhecimento e métricas de paisagem para identificar e analisar padrões espaciais em ambiente de caatinga**. Recife, 2011.
Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Tendo em vista o crescimento, nas últimas décadas, das tecnologias de aquisição e processamento de dados espaciais, e dos novos paradigmas de sustentabilidade mundial dos ecossistemas - herdados a partir de uma evolução técnico-científico-informacional -, este estudo busca, através da adoção de novas concepções teóricas e tecnológicas, caracterizar e analisar o efeito da estrutura da paisagem (padrão espacial) em ecossistema de caatinga. Neste trabalho, a área de estudo está inserida no Bioma Caatinga, um dos ecossistemas mais ameaçados do Brasil, devido ao uso inadequado e insustentável dos recursos naturais. Trata-se de um estudo de caso desenvolvido em uma sub-bacia hidrográfica que está inserida em um ambiente semiárido e dentro de uma Unidade de Proteção Ambiental (APA das Onças), localizada especificamente no município de São João do Tigre-PB, na microrregião geográfica do cariri paraibano. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a estrutura da paisagem e os padrões espaciais da cobertura vegetal em ambiente de caatinga no semiárido paraibano, através da integração de análise digital de imagens de alta resolução espacial – sensor HRC do satélite CBERS-2B – a partir de técnicas de classificação orientada a objetos e parâmetros ou métricas de paisagem. Antes de iniciar a segmentação, foram criados três níveis hierárquicos, desenvolvidos e adaptados às classificações morfoestrutural e fisionômicas de estudos sobre a caatinga. Após a estruturação de classes (rede semântica), iniciou-se as segmentações finais que partiram do nível mais genérico (nível 3) até o mais detalhado (nível 1). Depois de obtida a segmentação, foi efetuada a classificação hierárquica orientada a objetos, que culminou com a imagem classificada. Logo após a classificação das imagens, foram definidos alguns parâmetros ou métricas de paisagem para serem calculadas. Foi possível, por meio da aplicação da "*landscape metrics* ou métricas de paisagem*"* e da classificação das imagens de alta resolução, avaliar de forma mais detalhada se as unidades (manchas) da área estudada estão comprometendo as espécies locais, pois a substituição de grandes áreas de vegetação nativa por uma paisagem antropizada ou em processo de fragmentação, leva ao isolamento os remanescentes de floresta; além disso, quanto menor for o fragmento florestal, menor será a biodiversidade presente e maior o risco de extinção de espécies. Dentre as seis microbacias analisadas para o nível de classe (*class-level-metrics*) e de paisagem (*landscape-level-metrics*) a que apresentou um nível de fragmentação muito alto foi a do Rio do Tigre (micro 1), uma vez que o tamanho médio, o nível de homogeneidade, o retalhamento, a agregação e a de diversificação apontam que a mesma apresenta um grau de fragmentação elevado, com um grande número de fragmentos pequenos (menores de 2 hectares). As microbacias do Riacho Comprido (micro 4), do Fundão III (micro 5) e Riacho da Grota do Saco Grande (micro 6), que contemplam em seus interiores a APA das Onças, apresentam níveis de desagregação e retalhamento próximos devido à substituição da mata nativa lenhosa para a ampliação dos campos agrícolas ou para o desenvolvimento da pecuária.

Palavras-chave: Imagem orbital de Alta Resolução; Sistema Baseado em Conhecimento; Métricas de Paisagem; Caatinga.

ABSTRACT

ROCHA, Jancerlan Gomes. **Modeling knowledge and landscape metrics to identify and to analyze spatial patterns in caatinga environment**. Recife, 2011.
Post-graduation Program – Department of Cartography - DECART, Federal university of Pernambuco.

Given the growth in recent decades, technology acquisition and processing of spatial data, and new paradigms of global sustainability of ecosystems - inherited from a technical and scientific developments-informational – the present study intends to characterize and to analyze the effect of landscape structure (spatial pattern) in the caatinga ecosystem, by means of the adoption of new theoretical and technological conceptions. In this research, the study area is the caatinga Biome, whose vegetation is typical in the Brazilian Northeast. Also, this is one of the most endangered ecosystems because of its inadequate and unsustainable use of natural resources. It is a case study developed in a hydrographic micro-basin of the semiarid environment and which is situated inside an Environmental Protection Unit (*Apa das Onças*), being specifically localized in the municipality of São João do Tigre, state of Paraíba, in a geographic micro-region called *cariri paraibano*. The main objective of the dissertation is to evaluate the landscape structure and the spatial patterns of vegetal coverage in the caatinga environment in the semiarid of Paraíba, by means of the integration of digital analysis of images of spatial high resolution – HRC sensor of CBERS-2B satellite – from classification techniques directed to objects with parameters or landscape metrics. The work used the Geographic Information Systems (SPRING 5.1.7 and ArcGIS 9.2), the software of automatic processing of digital images or system based on knowledge (e-Cognition from Definiens company) and the specific software of spatial analysis (Fragstats 3.3) to calculate, through metrics, the spatial patterns of landscape structure. Before starting the segmentation, three hierarchic levels were created. These levels were developed and adapted to the physiognomic and morphostructural classifications of studies about the Brazilian caatinga. After class organization (semantic net), the final segmentations were started at e-Cognition software, and they started from the most generic level (level 3) to the most detailed one (level 1). After obtaining the segmentation, it was effectuated the hierarchic classification oriented to objects which culminated with the classified image. Just after the images classification, the definition of some parameters or landscape metrics to be calculated by *Fragstats* 3.3 occurred. Therefore, because of the application of landscape metrics and the classification of high-resolution images, it was possible to evaluate, in a more detailed way, if the units (spots) of the studied area are endangering the local species because the substitution of big areas of native vegetation by other anthropic landscape or under fragmentation process leads to the isolation of forest remainders. Furthermore, the lower the forest fragment, the lower the existing biodiversity and the greater the risk of species extinction. The adopted methodology was very important to the research, since it was applied in an Environmental Protection Area (EPA) as well as it integrated high-resolution images, system based on knowledge – based on knowledge modeling – and parameters or landscape metrics to quantify the composition of the landscape in a caatinga environment. Among the six watersheds analyzed for the level of class (class-level-metrics) and horizontal (landscape-level-metrics) that showed a very high level of fragmentation was the Rio do Tigre (micro 1), since the average size, the level of homogeneity, shredding, aggregation and diversification point it presents a high degree of fragmentation, with a large number of small fragments (less than 2 hectares). The watershed of Riacho Comprido (micro 4), Fundão III (micro 5) and Riacho da Grota do Saco Grande (micro 6), which come from the inside of the APA das Onças present levels of disaggregation and shredding next due to replacement of woody native vegetation to the expansion of agricultural land or livestock development.

Keywords: High-Resolution Image; System Based on Knowledge; Landscape metrics; Caatinga.

SUMÁRIO

RESUMO ..... **I**
ABSTRACT ..... **II**
LISTA DE FIGURAS ..... **V**
LISTA DE QUADROS ..... **XI**
LISTA DE TABELAS ..... **XII**

1. INTRODUÇÃO **11**

2. OBJETIVOS **15**
2.1. Objetivo Geral 15
2.2. Objetivos Específicos 15

3. REVISÃO DA LITERATURA **17**
3.1. Sensoriamento Remoto de Alta Resolução 17
3.2. Classificação Orientada a Objeto 22
3.3. Métodos de Modelagem de Conhecimento 26
3.3.1. Modelagem de Conhecimento 26
3.3.2 Sistemas Baseados em Conhecimento 27
3.3.3. Sistemas Automáticos de Interpretação de Imagens baseados em Conhecimento 29
3.4. Ecologia de Paisagem 32
3.4.1. Concepções Gerais 32
3.4.2 Composição da Estrutura da Paisagem 34
3.4.3. Métricas ou Indicadores de Paisagem 38
3.5. Bioma Caatinga: Diversidade de Paisagens 42

4. ÁREA DE ESTUDO **45**
4.1. Caracterização das microbacias hidrográficas 48

5. MATERIAL E MÉTODOS **73**
5.1. Material 73
5.1.1 Hardwares e Softwares utilizados 74
5.2. Metodologia 75
5.2.1. 1ª Etapa: Fase de levantamento de materiais 79
5.2.2. 2ª Etapa: Fase de Coleta de dados em Campo 79
5.2.3. 3ª Etapa: Fase de Pós-Processamento dos Dados 80

5.2.3.1.Dados Cartográficos....80
5.2.3.2.Dados Orbitais....81
5.3. 4ª Etapa: Elaboração da Rede Hierárquica....86

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES....90
6.1. Segmentação....90
6.2. Classificação das Imagens Orbitais....92
6.3. Aplicação das métricas ou índices de paisagem....109
6.4. Análise da Paisagem....119
6.4.1. Métricas de Paisagem relativas ao nível de classe....119
6.4.2. Métricas de Paisagem relativas ao nível de Paisagem....131

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES....136

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....139

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Comparação de Resolução Espacial e Radiométrica dos Satélites Ikonos e Quickbird 2.....18

Figura 02 – Comparação de Resolução Espacial e Radiométrica dos Satélites Ikonos e Quickbird 2.....18

Figura 03 – As Partes da Decomposição do Satélite CBERS para Modelagem: Corpo, Haste e Painéis Solares.....20

Figura 04 – Estrutura básica dos satélites CBERS 21

Figura 05 – Modo de Operação da Câmera HRC 22

Figura 06 – Exemplo de rede semântica para a classificação do uso do solo (à esquerda) e a superposição sobre a imagem (à direita).....28

Figura 07 – Arquitetura de Sistemas Especialistas. 30

Figura 08 – Categorias de elementos de uma paisagem 37

Figura 09 – Principais processos espaciais de transformação do território 37

Figura 10 – Localização da área de estudo.....45

Figura 11 – Localização da área de estudo em relação ao município de São João do Tigre47

Figura 12 – Perfil esquemático dos brejos de altitude no Nordeste do Brasil 49

Figura 13 – Modelo Digital de Elevação para o município de São João do Tigre/PB 50

Figura 14 – Vista de superfície tabular denudacional com formas tabulares 51

Figura 15 – Variáveis geomorfológicas locais derivadas dos dados SRTM 52

Figura 16 – Mosaico final da Sub-bacia hidrográfica do riacho do Fundão ou Santa Maria no município de São João do Tigre/PB. 54

Figura 17 – Vista parcial de vegetação em estágio de recuperação no microbacia 1 (Rio do Tigre).....55

Figura 18 – Imagem pancromática da microbacia 1 (Rio do Tigre). 56

Figura 19 – Imagem pancromática da microbacia 2 (Riacho do Fundão I). 57

Figura 20 – Formação de sulcos profundos no solo da microbacia 3 (Riacho do Fundão). ..59

Figura 21 – Vegetação Arbustiva na microbacia 3 (Riacho do Fundão III) 59
Figura 22 – Vista de uma porção da microbacia 3 (Riacho do Fundão III) que evidencia uma área de solo exposto. 60
Figura 23 – Imagem pancromática da microbacia 3 (Riacho do Fundão II). 61
Figura 24 – Diferenciação de tipos de vegetação na microbacia 4 (Riacho Comprido).....62
Figura 25 – Imagem pancromática da microbacia 4 (Riacho Comprido).....63
Figura 26 – Imagem pancromática da microbacia 5 (Riacho do Fundão 64
Figura 27 – Vista panorâmica do relevo com formas tabulares na microbacia 5 (Riacho do Fundão III) 65
Figura 28 – Ocupação agrícola dentro da APA das onças em área de preservação ambiental.....66
Figura 29 – Vista panorâmica das áreas agrícolas e da mata de brejo na microbacia 5 (Riacho do Fundão III).....66
Figura 30 – Vista parcial da tipologia de mata de brejo de altitude na microbacia 5 (Riacho do Fundão III). 67
Figura 31 – Vista parcial do local onde aparecem as mudanças de vegetação na microbacia 5 (Riacho do Fundão III).....68
Figura 32 – Vegetação de mata de brejo sub-montana (sentido Oeste/Leste) na microbacia 5 (Riacho do Fundão III).....32
Figura 33 – Vista parcial das proximidades do açude de São João do Tigre (sentido Oeste/Leste) na microbacia 5 (Riacho do Fundão III).....69
Figura 34 – Vista parcial da vegetação de caatinga arbustiva aberta (sentido Oeste/Leste) na microbacia 5 (Riacho do Fundão III).....70
Figura 35 – Imagem pancromática da microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande).....71
Figura 36 – Vista parcial das tipologias de caatinga na microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande). 72
Figura 37 – Grade de referência do Sistema CBERS-2B na Mesoregião da Borborema paraibana.....74

Figura 38 – Esquema metodológico da pesquisa.....76
Figura 39 – Mapa de localização dos pontos de controle 82
Figura 40 – Banco de dados geoespacial do SPRING 5.1.7 evidenciando o mosaico da Sub-bacia do riacho do Fundão ou Santa Maria 84
Figura 41 – Banco de dados geoespacial do e-Cognition, evidenciando a saturação ocorrida após a realização do mosaico da Sub-bacia do Riacho do Fundão ou Santa Maria 85
Figura 42 – Banco de dados Geoespacial do SPRING 5.1.7, evidenciando a delimitação em microbacias da Sub-bacia do Riacho do Fundão ou Santa Maria 86
Figura 43 – Segmentações realizadas no e-Cognition para a microbacia 1 (Rio do Tigre) ...91
Figura 44 – Regras desenvolvidas no e-Cognition para a microbacia 1 (Rio do Tigre) 92
Figura 45 – Rede semântica para a classificação do uso do solo desenvolvida no e-Cognition para a microbacia 1 (Rio do Tigre) 93
Figura 46 – Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 1 (Rio do Tigre) 96
Figura 47 – Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 2 (Riacho do Fundão I) 99
Figura 48 – Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 3 (Riacho do Fundão II) 101
Figura 49 – Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 4 (Riacho Comprido) 104
Figura 50 – Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 5 (Riacho do Fundão III). 106
Figura 51 – Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande).....109
Figura 52 – Edição dos arquivos ASCII para padrões específicos de entrada do Fragstats 115
Figura 53 – Inserção dos parâmetros no software Fragstats 3.3.....117
Figura 54 – Seleção de métricas no software Fragstats 3.3 118

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Satélites que disponibilizam imagens multiespectrais e/ou pancromática com resolução espacial superior a 10 metros 19

Quadro 02 – Caracteristicas da câmera HRC 21

Quadro 03 – Definição das Microbacias Hidrográficas a área de estudo. 85

Quadro 04 – Primeira hierarquização desenvolvida para a sub-bacia do riacho do fundão. .88

Quadro 05 – Segunda hierarquização desenvolvida para a Sub-bacia do riacho do Fundão.). 89

Quadro 06 - Parâmetros de escala, forma e compacidade aplicada para as microbacias hidrográficas segundo o nível de segmentação. 90

Quadro 07 – Métricas de Área calculadas no Fragstats.. 111

Quadro 08 – Métricas de Fragmentos calculadas no Fragstats 111

Quadro 09 – Métricas de Fragmentos calculadas no Fragstats 112

Quadro 10 – Métricas de Formas calculadas no Fragstats.....113

Quadro 11 – Métricas de Área Central (“Core”) calculadas no Fragstats.....113

Quadro 12 – Métricas de Contágio e Intercalação (Mistura) calculadas no Fragstats. 114

Quadro 13 – Métricas de Diversidade calculadas no Fragstats.....114

Quadro 14 – Arquivo de propriedade de classes para a microbacia 1 (Rio do Tigre) ou Class Properties File.....116

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 1 (Rio do Tigre)..... 97

Tabela 02 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 2 (Riacho do Fundão II)..... 98

Tabela 03 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 3 (Riacho do Fundão III)..... 102

Tabela 04 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 4 (Riacho Comprido) 103

Tabela 05 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 5 (Riacho do Fundão III)..... 107

Tabela 06 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande)... 108

Tabela 07 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para os estratos de Caatinga Arbustiva Aberta 120

Tabela 08 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas centrais e de forma – para os estratos de Caatinga Arbustiva Aberta..... 122

Tabela 09 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para os estratos de Caatinga Arbustiva Fechada..... 124

Tabela 10 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas centrais e de forma – para os estratos de Caatinga Arbustiva Fechada..... 125

Tabela 11 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para os estratos de Caatinga Arbórea Aberta..... 127

Tabela 12 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas centrais e de forma – para os estratos de Caatinga Arbórea Aberta..... 127

Tabela 13 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para os estratos de Caatinga Arbórea Fechada... 128

Tabela 14 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas centrais e de forma – para os estratos de Caatinga Arbórea Fechada.. 129
Tabela 15 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para os estratos de mata de brejo..…..130
Tabela 16 – Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas centrais e de forma – para os estratos de mata de brejo..…..131
Tabela 17 – Resultado das métricas relativas ao nível de paisagem – métricas de área e fragmento.....132
Tabela 18 – Resultado das métricas relativas ao nível de paisagem – métricas de forma, central, diversidade e de contágio e intercalação.. 134

1 – INTRODUÇÃO

Diante de uma nova concepção científica – evoluída a partir de princípios herdados da consolidação das conferências mundiais sobre meio ambiente, na década de 1970, e da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, Eco 92 – que engloba a sustentabilidade mundial dos ecossistemas e a intrínseca relação sociedade/natureza, é que os estudos sobre as modificações das paisagens naturais tornaram-se o centro das discussões mundiais, principalmente porque a cobertura florestal primária começou a sofrer um intenso processo de substituição através do uso do solo, o que ocasionou a fragmentação e rarefação das paisagens em diversos ecossistemas.

Essas novas perspectivas científicas para a análise ambiental têm como centro o paradigma da multidisciplinaridade, que contempla as inter-relações e as interações entre as áreas do conhecimento, entre as quais as geociências e engenharias. Sendo assim, o foco principal para as diversas áreas do conhecimento é compreender melhor a distribuição espacial dos dados advindos de fenômenos ocorridos no espaço (CÂMARA et al. 2001).

Nesse novo cenário científico, cujo foco principal é a valorização da questão ambiental e da multidisciplinaridade, ambas evidenciadas através da adoção de novas concepções teóricas e tecnológicas, este estudo desponta como sendo um instrumento capaz de subsidiar novos estudos que integrem a classificação automática de imagens digitais de alta resolução espacial com os estudos em ecologia da paisagem no ambiente semiárido brasileiro.

Sob essa nova óptica científica e tecnológica do século XXI, as formas de análise paisagística evoluíram nas investigações geoecológicas e são concebidas por Rodriguez et al. (2004, p. 40) como sendo “um conjunto de métodos e procedimentos técnico-analíticos que permitem conhecer e explicar a estrutura da paisagem, estudar suas propriedades, índices e parâmetros sobre a dinâmica, a história do desenvolvimento, os estados, os processos de formação e transformação de paisagem...”

Conforme Carrão et al. (2001), em resposta a essa revolução técnica-científica de suporte teórico e empírico, aliadas a outras capacidades técnicas, diversas agências, dentre elas a Agência Européia do Ambiente (*European Environment Agency – EEA)*, reconheceram a necessidade e a importância de indicadores de paisagem no planejamento espacial, uma vez que a avaliação das consequências das atividades humanas no ambiente

pode ser expressa em termos de uso do solo e de variações na estrutura da paisagem, as quais podem ser quantificadas através de tais indicadores.

Nesse contexto, a compreensão da dinâmica da vegetação, assim como da forma com que seus padrões se refletem na configuração da paisagem, é de fundamental importância para o entendimento das relações existentes em qualquer ecossistema (METZGER, 2001).

Os estudos para entender a dinâmica entre as comunidades biológicas e a floresta em diversos estágios de sucessão ecológica e perturbação (natural e antrópica) estão sendo desenvolvidos no Brasil em zonas ambientais de clima úmido e semi-úmido, como, por exemplo, o ecossistema de Mata Atlântica e de entorno.

Tendo como base essa evolução técnico-científica-informacional das últimas décadas, é que este trabalho buscou, através da integração de técnicas de processamento digital de imagens com a metodologia da ecologia de paisagem, avaliar como o uso de imagens orbitais de alta resolução espacial (imagens do sensor HRC do satélite CBERS-2B) pode contribuir, por meio da associação da modelagem de conhecimento baseada na classificação orientada ao objeto, com alguns parâmetros indicadores ou métricas de paisagem, para a identificação da estrutura da paisagem e os padrões espaciais da cobertura vegetal em ambiente de caatinga.

Sendo uma das bases conceituais deste trabalho, os estudos em ecologia da paisagem, conforme Nucci (2007), buscam compreender a estrutura complexa da paisagem através da análise de padrões espaciais da paisagem e das interações tendo como foco principal as imagens de satélite de média e baixa resolução espacial.

Na década de 1990, os trabalhos científicos sobre o tema meio ambiente proporcionaram um desenvolvimento considerável na área de conhecimento denominada de ecologia da paisagem, que surgiu em virtude da necessidade de se caracterizar e analisar o efeito da estrutura da paisagem (padrão espacial) nos processos ecológicos, através de uma abordagem de análise espacial dos fragmentos florestais (WU e HOBBS, 2002).

Estudos realizados por Pivello e Metzger (2007) constataram que a participação brasileira na produção científica mundial em ecologia de paisagem ainda é muito pequena, provavelmente devido ao caráter predominantemente descritivo das pesquisas atuais. Em um contexto nacional, os autores avaliaram alguns congressos e encontros sobre Ecologia (período de 2000 a 2004) e constataram que grande parte dos estudos relacionados à ecologia de paisagem tem uma abordagem observacional descritiva, fazendo uso de

técnicas puramente qualitativas ou de quantificações simples, como medições e porcentagens.

No Brasil, existe um imenso campo de trabalho a ser galgado nessa área, principalmente quando se considera que a crise da biodiversidade atinge mais fortemente os países tropicais, que vêm apresentando intensas taxas de perda e fragmentação de ambientes nativos (PIVELLO e METZGER, 2007).

Como a ecologia de paisagem aborda o estudo dos padrões espaciais da paisagem e as interações entre suas unidades (manchas), os cálculos para quantificar a estrutura da paisagem envolvem a utilização de métricas ou indicadores de paisagem que incluem basicamente as seguintes métricas: métricas de área, fragmentos, bordas, formas, área central (“core”), de contágio e intercalação (ou mistura), vizinho mais próximo, diversidade, conectividade entre outros.

De forma geral, analisa-se a heterogeneidade, fragmentação, isolamento e conectividade de todo o mosaico, ou seja, calculam-se os compartimentos ecológicos da paisagem como um todo.

Diante do estado de fragmentação dos remanescentes naturais da área de estudo, optou-se por fazer uso de imagens orbitais de alta resolução espacial disponibilizadas gratuitamente pelo INPE.

O surgimento de imagens orbitais de alta resolução espacial disponibilizadas gratuitamente, como é o caso das imagens do sensor HRC (*High Resolution Camera*) do satélite CBERS-2B, cuja resolução espacial nominal é de 2,7 metros (fornecidas com pixel de dimensão equivalente a 2,5 metros), e o baixo custo das imagens de alta resolução espacial para fins comerciais, proporcionam, conforme a tendência mundial de modernização de sensores orbitais de alta resolução espacial, uma melhoria na exatidão ao processo de classificação (INPE, 2010).

Na nova concepção, a distinção de feições nas imagens de alta resolução espacial torna-se possível em *softwares* de processamento digital de imagens através da incorporação de outros atributos/informações, como forma, tamanho e contexto na classificação. Os classificadores que utilizam uma abordagem orientada ao objeto podem ser uma alternativa para suplantar a limitação dos classificadores pixel a pixel e por regiões, visto que utilizam informações topológicas (vizinhança, contexto) e geométricas (forma e tamanho) no processo de classificação (PINHO, 2009).

Nesse contexto, uma das abordagens em questão neste trabalho é a Modelagem de Conhecimento, a qual auxilia, através da fotointerpretação e da análise multi-hierárquica, na identificação de objetos heterogêneos, principalmente nas imagens de alta resolução.

A Modelagem de Conhecimento é baseada no modelo orientado ao objeto, no qual se utiliza a lógica *Fuzzy (conjuntos nebulosos)* para se classificar os padrões espaciais. Essa lógica lida com fatores como ambiguidade e incerteza nas imagens de média e alta resolução espacial (RODRIGUES et al., 2004).

O processo de segmentação da imagem utilizando a Modelagem de Conhecimento ocorre quando os objetos comuns são agrupados em classes organizadas de forma hierárquica em um nível inferior. Dessa forma, a experiência do especialista através das técnicas de interpretação de imagens será o centro para a estruturação da rede semântica a ser implementada. Tudo isso é definido pelo usuário e, em seguida, o sistema controlará a extração dos objetos baseando-se nas regras complexas predefinidas (CAMPOS, 2005a).

À luz dessas informações, o trabalho foi desenvolvido em uma sub-bacia hidrográfica denominada de Riacho do Fundão ou Santa Maria, cuja extensão territorial é de 458,03 Km ^{2}. É uma área bastante heterogênea do ponto de vista geomorfológico e dos processos de fragmentação dos padrões espaciais e da estrutura da paisagem, pois uma parte da área está localizada dentro de uma unidade de proteção ambiental e a outra apresenta ações de exploração e de degradação intensiva.

A área possui em seu interior uma Unidade de Proteção Ambiental denominada de “Onças” (APA das Onças), que apresenta muitos sítios arqueológicos e constitui uma unidade de conservação por parte do Governo do Estado da Paraíba, sob a tutela da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), ocupando uma área de 400 mil hectares.

Nessa região, conforme levantamento fitoecológico e pedológico realizado em campo e com base nas séries pluviométricas locais, pode-se diagnosticar que parte da APA apresenta uma formação de mata de brejo (Floresta Estacional Decidual Montana), com altitude acima de 750 metros, ou seja, apresenta uma vegetação de mata serrana com espécies nativas de brejo de altitude – árvores altas com presença de palmeiras e orquídeas típicas de mata atlântica.

De forma geral, para o desenvolvimento deste trabalho, os procedimentos metodológicos contemplaram as seguintes atividades: reconhecimento prévio; delimitação da área de estudos e atualização da rede de drenagem; aquisição dos dados; pré-processamento; aplicação de método de segmentação de imagens digitais; reconhecimento

dos elementos espaciais pelo fotointérprete; elaboração da rede semântica e extração de atributos baseados na modelagem de conhecimento; classificação orientada ao objeto através de regras, como, por exemplo, a lógica fuzzy; definição e caracterização das classes; classificação e avaliação dos resultados (análise qualitativa e quantitativa); aplicação de métricas de paisagem; quantificação dos padrões espaciais da estrutura da paisagem; comparação com os dados da classificação da imagem de alta resolução; e a elaboração do diagnóstico final.

2 – OBJETIVOS

Os objetivos elaborados demonstram a importância de se integrar de forma multidisciplinar as concepções teóricas relativas à ecologia de paisagem com as tecnologias de processamento digital de imagens.

2.1 – Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a estrutura da paisagem e os padrões espaciais da cobertura vegetal em ambiente de caatinga no semiárido paraibano, através da integração de análise digital de imagens de alta resolução espacial – sensor HRC do satélite CBERS-2B – a partir de técnicas de classificação direcionada a objetos com parâmetros ou métricas de paisagem

2.2 – Objetivos Específicos

a) Definir um conjunto de indicadores ou métricas de paisagem tendo como princípio lógico a realidade multiescalar através de uma percepção setorial de escala de análise em dois planos – classes (*class-level metrics*) e paisagem (*landscape-level metrics*);

b) Utilizar a técnica de classificação orientada a objeto, através do processo de segmentação e extração de objetos, aplicada na identificação das feições espaciais nas imagens orbitais de alta resolução – sensor HRC do satélite CBERS-2B – em ambiente de caatinga;

c) Utilizar métricas de paisagem para caracterizar e avaliar a situação da paisagem (processo de fragmentação) de áreas naturais em ambiente semiárido;

d) Calcular índices de paisagem e quantificar a estrutura da paisagem a partir de imagens orbitais classificadas por sistema baseado em conhecimento;

e) Mensurar e quantificar as classes de uso do solo para avaliar as condições ambientais das seis microbacias hidrográficas tendo em vista um enfoque comparativo entre as mesmas;

f) Avaliar a situação da configuração espacial da paisagem local e as interações entre os fragmentos tendo em vista identificar as condições ambientais atuais da área de estudo.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

Objetivando dar fundamentação à pesquisa, tem-se, nesta seção, os pressupostos teórico/conceituais que servirão de alicerce para buscar o significado dos procedimentos técnicos e das relações observadas, bem como explicar e compreender os aspectos da realidade de estudo, permitindo, assim, sua interpretação.

Neste capítulo é apresentado o embasamento teórico-conceitual do trabalho, o qual abrange desde o sensoriamento remoto de alta resolução, modelagem de conhecimento, ecologia de paisagem até o ambiente semiárido, caracterizado através do Bioma Caatinga.

3.1 – Sensoriamento Remoto de Alta Resolução

As novas técnicas de sensoriamento remoto e os avanços da tecnologia espacial, proporcionada pelo progressivo aumento na capacidade de desempenho dos dispositivos optoeletrônicos e de radares montados a bordo de plataformas orbitais, tornaram-se instrumentos poderosos para subsidiar as analises em diversas áreas das ciências da Terra (EHLERS e U. MICHEL, 2008).

A partir do desenvolvimento nas últimas décadas de satélites com sensores de alta resolução espacial, foi possível desenvolver novas ações nas pesquisas em Sensoriamento Remoto. O uso desses dados permite realizar mapeamentos e monitoramentos detalhados de alvos na superfície terrestre. Além disso, segundo Pinheiro (2003), essa inovação tecnológica possibilitou o surgimento de diversos questionamentos na área do Sensoriamento Remoto, dentre os quais, se destacam: Qual o nível de detalhe que se pode chegar com as imagens de alta resolução? Qual a exatidão cartográfica possível com essas imagens? Como realizar a classificação digital apropriada nessas imagens?

À luz dessas informações, a resolução espacial torna-se um dos principais elementos da inovação tecnológica dos satélites atuais. Dessa forma, a resolução espacial é o parâmetro que mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos**,** ou seja, é o menor objeto que o sensor pode registrar. Dessa forma, os satélites são classificados conforme a resolução espacial pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em:

- Resolução Alta entre 4 e 10 metros;
- Resolução Muito alta entre 1 e 4 metros;
- Resolução Ultra-alta menor do que 1 metro.

Em Novo (2008) a expressão “sensores de alta resolução” se refere a sensores que, colocados em órbita, permitem adquirir imagens da superfície terrestre com resolução espacial menor que 5 metros.

Já a resolução radiométrica representa a sensibilidade do sistema sensor em distinguir dois níveis de intensidade do sinal de retorno. Para essas resoluções, os sensores também são classificados, conforme Ehlers et al. (2006), em:

- Resolução Baixa: abaixo de 6 bits;
- Resolução Média: de 6 a 8 bits;
- Resolução Alta: de 8 a 12 bits;
- Resolução Muito Alta: acima de 12 bits

Os sensores remotos de alta resolução espacial e radiométrica para fins não-militares tiveram início com o lançamento do IKONOS, em 1999, pela empresa *Space Imaging.* A partir desse momento, as agências espaciais, em diversos países, passaram a produzir novas plataformas espaciais com sensores cada vez mais acurados no que diz respeito à identificação de alvos. A precisão espacial do *pixel* para esses tipos de sensores aumentaram significativamente, pois os elementos geográficos contidos nas imagens passaram a ficar mais nítidos e bem definidos. Sendo assim, as Figuras 01 e 02 demonstram a diferença na resolução espacial entre os sensores dos satélites IKONOS II, com resolução espacial de 1,5 metros, e QuickBird 2 com 0,60 metros.

Figura 01: satélite IKONOS II

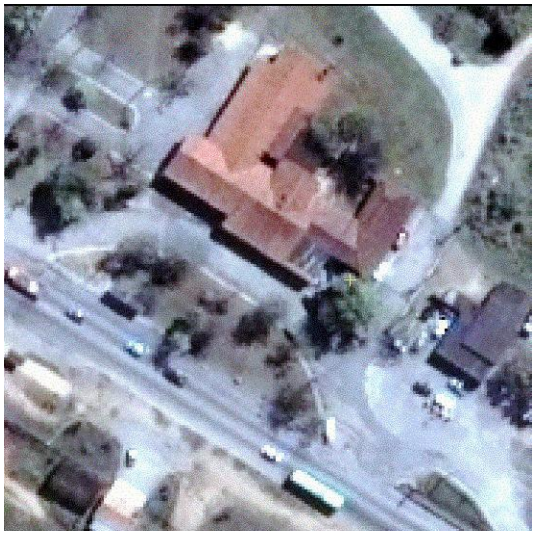


Figura 02: satélite QuickBird 2

Figuras 1 e 2: Comparação de resolução espacial e radiométrica dos satélites IKONOS e QuickBird 2

Dentre os diversos satélites que possuem as maiores resoluções espaciais e radiométricas estão o SPOT-5, CBERS-2B, QuickBird-2, WorldView 1 e 2, IKONOS-2, Orbview-3 e GeoEye 1. Este apresenta resolução espacial de 0,40 metros.

Dessa forma, o Quadro 01 demonstra os satélites que disponibilizam imagens multiespectrais e/ou pancromáticas com resolução superior a 10m.

Quadro 01: Satélites que disponibilizam imagens multiespectrais e/ou pancromática com resolução espacial superior a 10 metros.

Satélites	**Resolução Espacial**		
	Pancromática(m)	**Multiespectral (m)**	**Resolução Radiométrica**
SPOT-5	5,0	10,0	8 bits
CBERS-2B	2,5	—	8 bits
Quickbird-2	0,61	2,44	11 bits
IKONOS-2	1	4	11 bits
GeoEye-1	0,41	1,65	11 bits
Orbview-3	1	4	11 bits
Alos-1	2,5	10	8 bits
Worldview-1	0,5	—	11 bits
Worldview-2	0,48	1,8	11 bits

Fonte: Adaptada de GONÇALVES (2009).

Neste estudo, foram utilizados os dados orbitais do CBERS 2B. Sistema esse criado entre o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial). A cooperação espacial sino-brasileira possibilitou aos países, conforme Debiasi et al. (2007), uma independência no monitoramento de seus territórios - através da tecnologia do Sensoriamento Remoto - bem como similaridades, como a atualização de seus territórios e o cultivo agrícola, através das ações continuadas das missões CBERS.

Visando atender às necessidades de ambos os países no que se refere a mapeamentos em diversas escalas cartográficas distintas, as imagens são utilizadas em várias aplicações, como controle do desmatamento e queimadas, monitoramento de recursos hídricos e de áreas agrícolas, acompanhamento do crescimento urbano e da ocupação do solo (BEZERRA, 2007).

De uma forma geral, a série de satélites do programa CBERS está enquadrada na categoria dos satélites de continuidade, pois o objetivo central é dar continuidade ao

fornecimento de dados de certa natureza ao longo dos diversos satélites, de modo que o usuário não tenha interrupções nas suas atividades em função de uma troca abrupta de sensores. Porém, a continuidade acompanha-se da inovação e melhorias (EPIPHANIO, 2009).

Esse sistema produz imagens de uma faixa de 27 km de largura com uma resolução de 2,7 m, o que permitirá a observação com grande detalhamento dos objetos da superfície. Como sua faixa de cobertura é de 27 km, serão necessários cinco ciclos de 26 dias para que os 113 km padrão da CCD sejam cobertos pela HRC. Assim, a cada 130 dias será possível ter uma cobertura completa do país, para ser correlacionada com aquela obtida pela câmera CCD, que nesse período terá coberto o país por cinco vezes (INPE, 2010).

Os satélites da série CBERS possuem uma estrutura básica dividida em 3 partes principais, ou seja, o corpo, a haste e um conjunto de painéis solares. O modelo real é bastante simples: basicamente uma grande caixa, que acomoda os módulos de serviço e de carga útil, e o painel solar (MACHADO, 1997). A Figura 03 exemplifica essa composição.

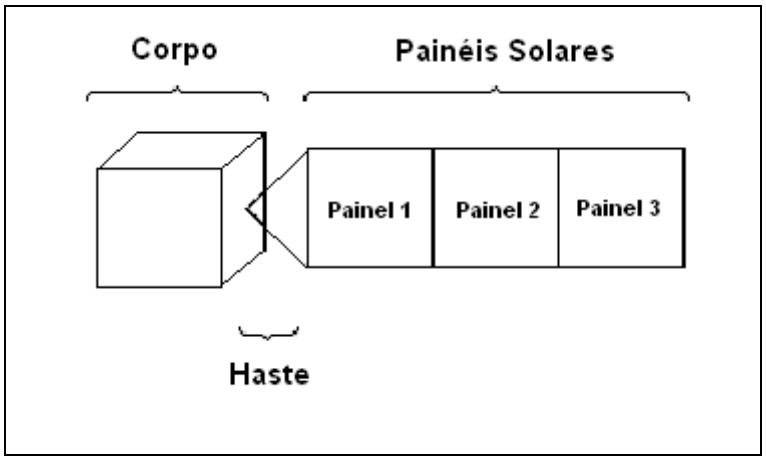


Figura 03: As partes da decomposição do satélite CBERS para modelagem: corpo, haste e painéis solares. Fonte: MACHADO (1997).

Nesse contexto, temos então a seguinte hierarquia: o painel 3 do satélite é "filho" do painel 2, que é "filho" do painel 1, que é "filho" da haste, que é "filha" do corpo. Dessa forma, no processo de animação torna-se possível movimentar qualquer parte do satélite com seu filho e descendentes seguindo o mesmo movimento (MACHADO, op cit.).

Na Figura 04, pode-se observar alguns elementos da estrutura básica dos satélites CBERS 1 e 2, nos quais constam o painel solar (1), a câmera imageadora WFI (2), o módulo de carga útil (3), a câmera CCD (4) e a câmera IRMSS (5).

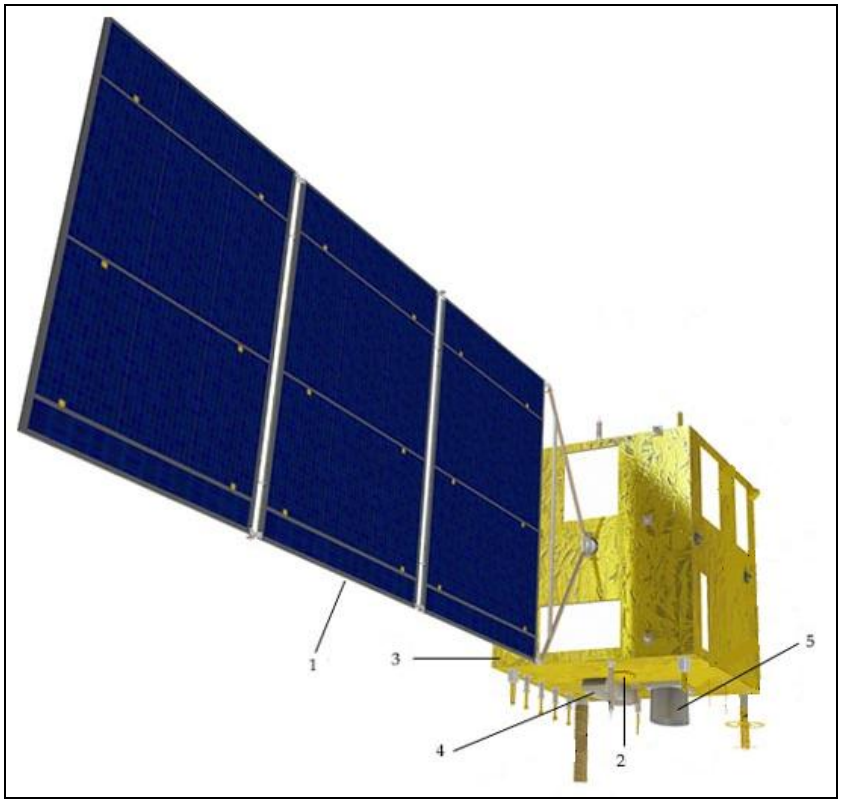


Figura 04: Estrutura básica dos satélites CBERS. Fonte: CBERS/INPE 2010

Os dados do programa CBERS podem ser obtidos gratuitamente mediante cadastro eletrônico na página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE; www.dgi.inpe.br). O catálogo que está à disposição dos usuários contem as imagens HRC que foram processadas e passaram no controle de qualidade, basicamente para eliminar as que continham muitas nuvens ou ruídos (INPE, 2010). O Quadro 02 demonstra as principais características da Câmera Pancromática de Alta Resolução - HRC.

Quadro 02: Características da Câmera HRC (*High Resolution Camera)*

Banda espectral (Banda 1)	0,50 - 0,80 µm (pancromática)
Campo de Visada	2,1º
Resolução espacial	2,7 x 2,7 m
Largura da faixa imageada	27 km (nadir)
Resolução temporal	130 dias na operação proposta
Taxa de dados da imagem	432 Mbit/s (antes da compressão)
Quantização	8 bits

Fonte: CBERS, HRC INPE (2010).

O modo de operação para o CBERS-2B refere que, a cada cinco ciclos de 26 dias, haverá um recobrimento completo pela HRC de uma área equivalente a de uma cena CCD, como mostra a Figura 06. Nesse contexto, a Figura 05 demonstra o modo de operação da câmera HRC, tendo como parâmetro escalar a cena da câmera CCD.

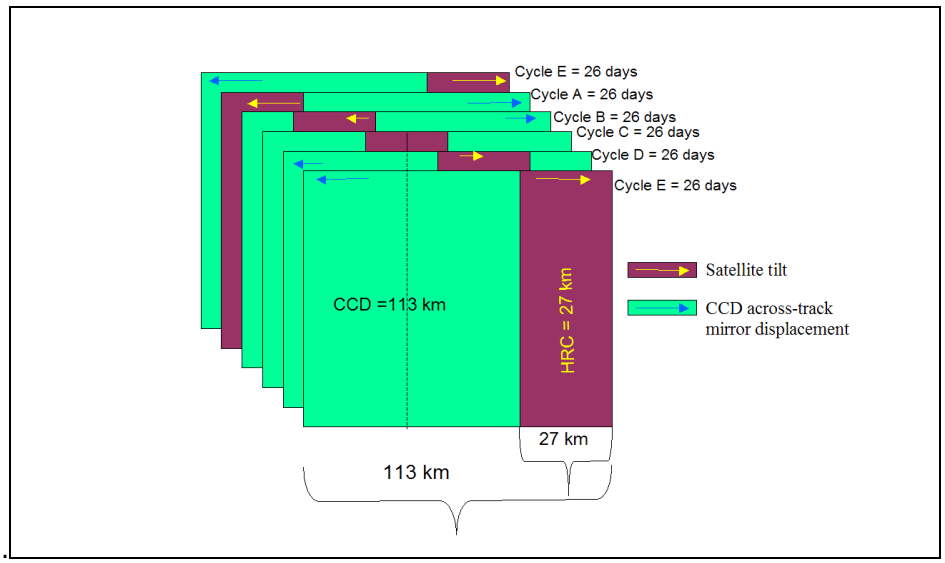


Figura 05: Modo de Operação da Câmera HRC. Fonte: INPE (2010)

3.2 – CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO

Conforme Goetz et al. (2003), apesar das enormes potencialidades que um aumento da resolução espacial apresenta, verificam-se também algumas limitações na sua aplicação devido à maior variabilidade espectral e à acentuada presença de sombras e ruídos, o que provoca erros na classificação final.

A aplicação de técnicas de classificação automática tradicional às imagens provenientes dos novos sistemas sensores orbitais de elevada resolução espacial no modo pancromático, tais como o QuickBird (0,61 metro), IKONOS II (1 metro), HRC (2,5 metros) e SPOT 5 (2,5 metros), tem encontrado muitas dificuldades, pois além do aumento da resolução espacial e radiométrica, essas imagens apresentam também um aumento de ruído e de variabilidade espectral intra e interclasses, ou seja, tornaram-se cada vez mais heterogêneos os alvos devido aos seus componentes físico-químicos, o que torna mais distinto um objeto do outro (PINHO, 2005).

Conforme G. J. Hay et al. (2003), os objetos representados na imagem digital apresentam distinções, uma vez que as paisagens são sistemas complexos compostos por um grande número de componentes heterogêneos que interagem de uma forma não-linear, na qual exibem propriedades físico-químicas adaptativas através do espaço e do tempo.

Segundo CHAGAS et al. (2009), para contornar tal problemática, faz-se necessário aplicar novas técnicas que possam auxiliar no processo de análise das imagens, com o intuito de separar os objetos não só pelas propriedades espectrais mas também pela característica de forma, auxiliando na etapa de discriminação dos objetos com valores espectrais similares, porém com formas diferentes.

Nesse contexto, a maioria dos estudos na área de meio ambiente utiliza, para caracterizar a fragmentação da cobertura vegetal, imagens orbitais de média resolução espacial, e, por conseguinte, classificadores tradicionais como o do tipo "*pixel a pixel*" que faz uso unicamente da informação espectral para encontrar regiões homogêneas, e o "por regiões", que, além da informação espectral do pixel, utiliza a informação espacial, pois a informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões (ANTUNES, 2003).

As classificações pixel a pixel (MAXVER–máxima verossimilhança, distância mínima e paralelepípedo), por regiões (ISOSEG não-supervisionado e Bhattacharya – supervisionado) e a automática (IsoData e K-means) são limitadas para classificar imagens de alta resolução, pois trabalham com informações espectrais em sua essência. Dessa forma, apenas as classificações automáticas e por regiões usam a resolução espacial em seus algoritmos; entretanto, seu uso fica restrito na extração de informações, pois a imagem digital não possui uma boa resolução espacial, o que ocasiona limitações na identificação com fidelidade de áreas heterogêneas (MATHIEU, et al., 2007; LILLESAND e KIEFER 2000).

Segundo Baatz (2006), normalmente os métodos não-supervisionados de segmentação falham completamente, e aqueles supervisionados baseados em pixels não apresentam bom desempenho em diversos campos de aplicação. Felizmente, a classificação orientada a objeto para análise de imagens tem alcançado um progresso significativo nos últimos anos.

Na classificação por *pixel*, por exemplo, busca-se a extração de informações para o reconhecimento de padrões e objetos homogêneos. Os classificadores *pixel* a *pixel* utilizam apenas a informação espectral isoladamente para definir regiões homogêneas, e o resultado final desse processo consiste numa imagem digital que é representada por um mapa de pixels representados por símbolos gráficos ou cores (TAVARES J. et al., 2006).

Já na classificação digital de imagens orientada a objeto, a análise é realizada sobre objetos ou segmentos na imagem e não apenas sobre pixels utilizando apenas o critério espectral. Sendo assim, na imagem, um objeto representa uma entidade que pode ser individualizada, possui atributos próprios e as mesmas propriedades da classe que lhe deu origem (MALLINIS, 2008).

Conforme as tendências mundiais, a classificação baseada em pixel e os métodos tradicionais de classificação de imagens digitais estão se tornando a cada dia uma metodologia ultrapassada. Os mais recentes estudos em sensoriamento remoto de alta resolução estão demonstrando novas metodologias de classificação para essas imagens baseadas no conceito de objetos ou segmentos. As técnicas de inteligência aplicada, como a *Logic fuzzy* e redes neurais, estão sendo utilizadas para tal finalidade (GONÇALVES, et al., 2009).

Para solucionar o problema da identificação de áreas heterogêneas em imagens com alta resolução espacial e radiométrica, têm sido desenvolvidos, para o mercado mundial, novos métodos automáticos de classificação, que, conforme Dal Poz (2003), permitem extrair feições a partir de duas etapas: primeiramente a partir do reconhecimento semântico dos elementos geográficos, o qual é estruturado numa rede hierarquizada por um especialista; e em segundo, pelo delineamento das feições, ou seja, após a etapa inicial de reconhecimento, o objeto pode ser delineado geometricamente usando informações geométricas e radiométricas.

Nesse contexto, Blaschke e Strobl (2001) evidenciam que os novos sistemas sensores orbitais, como o IKONOS-II e o QUICKBIRD, exigem novos métodos para a extração de informações das respectivas imagens. Sendo assim, Hoffmann e Van der Vegt (2001) sugerem a classificação orientada ao objeto como uma solução para classificar imagens com alta resolução.

Em um estudo de revisão literária sobre métodos de classificações de imagens orientada a objeto, Blaschke (2009) enfatiza que os métodos orientados a objetos propiciam um melhor delineamento das feições espaciais nas imagens, uma vez que integram informações espectrais e contextuais como as propriedades temáticas, geométricas e topológicas.

Gonçalves et al., 2001 (apud Tavares J. et al., 2006) apresenta duas justificativas para se adotar a classificação orientada a objetos: o processamento da imagem fica mais próximo dos processos cognitivos humanos; e as informações podem ser incorporadas mais facilmente.

O processo de classificação orientada a objeto utiliza os polígonos gerados na segmentação para definição dos objetos de imagem a partir de um conjunto de dados, no caso, as bandas. As características espectrais de forma e relações de vizinhança são as informações utilizadas na descrição desses objetos. A partir desses descritores, os objetos podem ser agrupados em categorias com significado ou em classes temáticas (BAATZ, 2006).

A segmentação é um processo realizado antes da classificação, com o objetivo de dividir a imagem em regiões homogêneas, para solucionar problemas de subjetividade em classificações supervisionadas. O processo consiste em separar os atributos espectrais da imagem em regiões homogêneas, isto é, os pixels com características similares (forma, textura, área, parâmetros espectrais) são associados (MOREIRA, 2001).

Neste estudo foi utilizado, para a classificação das imagens orbitais, o *software* *eCognition*. Conforme Hofmann e Vegt (2001), a classificação da imagem realizada no *eCognition* considera, além do nível de cinza, a forma, a textura e funções de SIG, isto é, tamanhos de bordas de objetos, as suas relações topológicas entre si.

Segundo Schwarz et al., (2002) o modelo de classificação da imagem orientado ao objeto no *eCognition* pode ser resumido como segue:

- as imagens são segmentadas em diferentes níveis com distintos detalhes;
- a hierarquia de classe e a descrição da classificação são definidas;
- a imagem é classificada com base na hierarquia da classificação;
- sobre a imagem segmentada é realizada a classificação;
- a exatidão temática da classificação é analisada.

Sendo assim, conforme Pinheiro (2003), o *eCognition* utiliza a Segmentação Multi-resolução, ou seja, um novo conceito que realiza a fusão de regiões (*region-merging*) que funciona da base para cima (*bottom-up*), onde os setores da imagem são agrupados par a par. Inicialmente, um pixel individual é sinônimo de um objeto da imagem ou de uma região. Ainda conforme o autor, o processamento de imagem orientado ao objeto baseia-se em sistema de classificadores *fuzzy*.

Na lógica Fuzzy, os elementos podem assumir graus de pertinência entre os valores 0 e 1, tornando-se uma aproximação matemática para quantificar declarações incertas (GUERRA e CALDAS, 2011).

No Brasil, poucas pesquisas avaliaram o método de classificação de imagens orientado ao objeto em áreas rurais. Nesse sentido, é importante analisar a funcionalidade desse método para a realidade das paisagens brasileiras (PINHEIRO, 2003).

3.3 – Métodos de Modelagem de Conhecimento

Sendo um dos principais eixos da pesquisa, a modelagem de conhecimento é descrita nos subitens posteriores, evidenciando os conceitos gerais sobre a terminologia, bem como as formas de representação do conhecimento. Também é feita uma abordagem sobre os sistemas especialistas automatizados de interpretação de imagens baseadas em conhecimento.

3.3.1 – Modelagem De Conhecimento

Por modelagem de conhecimento entende-se que é a organização, de forma hierárquica, de informações de determinada área no intuito de montar uma base de conhecimentos estruturada, que fará parte de um programa desenvolvido para lidar com questões específicas, interpretando-as da mesma forma que seu desenvolvedor o faria. Esse programa pode ser chamado de Sistema Especialista (MOTA, 2004a).

Segundo Perotto e Vicari (2001), esses sistemas derivam seu poder de muito conhecimento específico da parte do especialista, e, por isso, a modelagem do conhecimento é uma parte muito importante no seu desenvolvimento.

O conhecimento armazenado no banco de conhecimentos pode estar organizado e estruturado de diversos modos. Várias são as estruturas de dados e procedimentos de interpretação – as chamadas regras – que podem ser utilizados. As quais não são excludentes, mas complementares, podendo ser utilizadas todas em conjunto e gerar os chamados sistemas híbridos (BARRETO, 1999).

Em linhas gerais, segundo Pinho (2009), a modelagem de conhecimento se dá integrando algoritmos de segmentação, estruturação de classes e superclasses na forma de redes semânticas, classificação baseada em regras e a possibilidade de integração de imagens multisensores e dados vetoriais.

Conforme Campos et al. (2005b), na classificação de imagens orbitais, utilizando a modelagem de conhecimento, os padrões na cena (como cor, textura, métrica, contexto, dentre outros) auxiliam na interpretação visual com o intuito de identificar os elementos na imagem, a partir da utilização de técnicas ou modelos como a teoria *Fuzzy.*

Logo após ser finalizada, a modelagem de conhecimento com toda a estruturação do sistema especialista tende a auxiliar na interpretação e classificação de objetos contidos na imagem a ser manipulada. Tendo sido anteriormente associadas classes hierárquicas a

determinadas características encontradas na imagem, o sistema irá analisar e interpretar a cena de acordo com as informações nele depositadas, que representam o raciocínio do seu idealizador. E por fim espera-se uma classificação da imagem bem próxima da realidade, obtendo assim o sucesso no aplicativo (FERNANDES, 2003).

3.3.2 – Sistemas Baseados em Conhecimento

Denomina-se de sistemas baseados em conhecimento ou "*Knowledge-based systems*" aqueles sistemas que armazenam o conhecimento específico da aplicação de modo explícito e separadamente da estratégia geral da solução de problema (PAHL, 2008).

Esses sistemas, conforme Fernandes (2003), têm como objetivo principal a reprodução, em ambiente computacional, do raciocínio, lógico ou não, do especialista responsável por alimentá-los, o qual, tratando-se dos sistemas especialistas em interpretação de imagens, é o fotointérprete.

Com toda a evolução tecnológica vivenciada nos últimos anos, ainda não existem no mercado mundial métodos que consigam descartar a interação do ser humano no processo de classificação de imagens, ou seja, os sistemas de interpretação automáticos ainda necessitam de especialistas no processo de obtenção das classificações (CAZES, 2005).

Conforme Flores (2003), em um sistema baseado em conhecimento, uma das questões mais importantes é a definição do modelo de representação. Para ele, um sistema especialista incorpora ao modelo escolhido fatos, regras e heurísticas sobre o domínio, tal como um especialista humano faria, e deve transpor o comportamento de especialistas humanos na resolução de problemas do mundo real.

Os sistemas de interpretação de imagens baseados em conhecimento, segundo Pinho (2005), baseiam-se na introdução do conhecimento do analista a respeito da cena, sendo uma formalização da "visão" de um determinado indivíduo sobre uma cena específica, logo o resultado da classificação passa a ser um reflexo do conhecimento (informações coletadas a priori sobre a área a ser classificada) e da capacidade de compreensão do analista (fortemente influenciada por sua formação profissional e experiência) a respeito de uma determinada cena.

De um modo geral, utilizam-se principalmente dois conceitos para a representação do conhecimento, ou seja, as redes semânticas e as regras.

O primeiro conceito diz respeito à rede semântica, que é um sistema de representação, composto por nós interconectados. Essa rede pode ser usada para

representação de conhecimento ou como ferramenta de suporte para sistemas automatizados de inferências sobre o conhecimento (SOWA, 2002). Os nós são os conceitos ou categorias relativos a um determinado conhecimento e os arcos explicitam as relações entre os nós. Nessa representação, as classes herdam atributos e comportamentos que as contem (PINHO et al., 2007).

Segundo Lustosa (2004, p. 5), as redes semânticas podem ser consideradas "...como uma forma de programação orientada a objetos e tem as vantagens que esses sistemas normalmente apresentam, incluindo a modularidade e facilidade de visualização por parte das pessoas".

Segundo Benz et al. (2004), na rede hierárquica formada, cada objeto "sabe a que superobjeto pertence no nível superior, "reconhece" seus subobjetos no nível inferior e "conhece" seus vizinhos no nível hierárquico onde está contido.

À luz dessas informações, a Figura 06 demonstra a lógica da arquitetura de uma rede semântica para classificação do uso do solo em um sistema especialista.

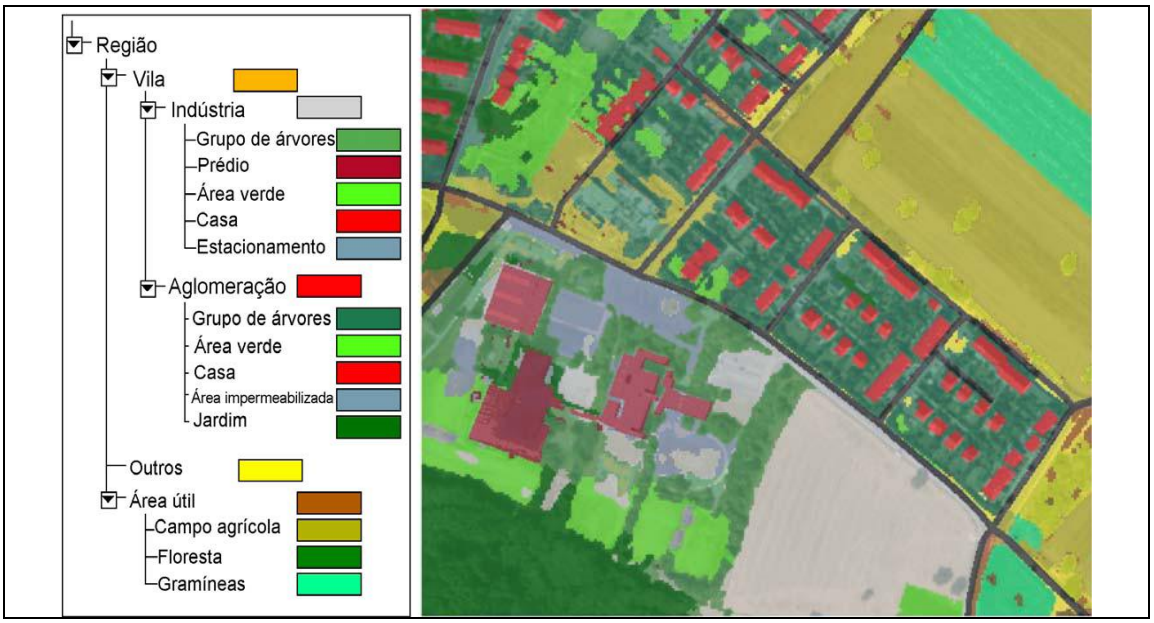


Figura 06: Exemplo de rede semântica para a classificação do uso do solo (à esquerda) e a superposição sobre a imagem (à direita). FONTE: Pahl (2008)

A Figura 06 demonstra a estrutura de uma rede semântica definida no InterIMAGE, na qual pode-se observar que a rede projetada é similar à hierarquia de classes do software *eCognition* da empresa *Definiens Imaging*. Nela pode-se observar que existe uma hierarquização de informações que vão sendo construídas nível após nível. Dessa forma, as classes vão herdando características das superclasses.

Depois de definidos os objetos (segmentação) e a rede semântica, tem-se o segundo conceito que define a representação do conhecimento, ou seja, a classificação é efetuada por meio de regras de decisão. Estas podem ser materializadas através do algoritmo vizinho mais próximo ou por regras de pertinência *fuzzy* (SCHIEWE et al., 2001).

3.3.3 – Sistemas Automáticos de Interpretação de Imagens Baseados em Conhecimento (Sistemas Especialistas)

Com o surgimento de sensores remotos que possuem uma capacidade de capturar imagens de alta resolução espacial e radiométrica da superfície terrestre, começaram a ser desenvolvidos sistemas de interpretação de imagens automáticas para solucionar a grande problemática nos estudos, especificamente os de áreas urbanas e rurais. A grande problemática enfrentada diz respeito à grande heterogeneidade de objetos no terreno, que constituem complexos alvos de análise.

As pesquisas em sistemas de interpretação baseadas em conhecimento tiveram início na década de 1980. As primeiras imagens utilizadas para tal finalidade foram as fotografias aéreas, utilizadas inicialmente para reconhecer objetos individuais, como construções, estradas e aviões. Para o controle da interpretação, a maioria dos sistemas dessa época utilizava regras que estavam contidas em um conjunto de regras para controlar a interpretação (NIEMANN et al., 1990).

Conforme Pahl op. cit. (2008, p. 9),

> *"a interpretação de imagens baseada em conhecimento é realizada com o objetivo de reconhecer objetos na imagem e lhes associar um significado. A interpretação de imagens subdivide-se em dois campos: a segmentação de imagens, que extrai regiões conexas a partir de uma imagem, e o processamento simbólico, que associa a essas regiões um significado específico, baseando-se em suas características, podendo também gerar objetos de nível superior, levando em conta as relações entre as regiões".*

Nesse contexto, a Figura 07 demonstra, de forma simplificada, a interatividade operacional dos componentes básicos de um sistema especialista, possibilitando observar que o papel do fotointérprete ou analista é de fundamental importância para a interpretação da imagem, tendo em vista que o mesmo procura obter, de forma preliminar, dados e informações que enfatizam localização e características da paisagem.

Além disso, pode-se observar (Figura 07), que a extração da informação no sistema especialista se dá através da extração automática dos dados através de mecanismos de inferência, ou seja, algoritmos que têm função de apoiar os fotointérpretes, dando-lhes um direcionamento e atenção a certos conteúdos da imagem. Dessa forma, o especialista, através das chaves ou estratégias de identificação – direta e associativa –, buscará detectar, identificar e informar conclusões sobre elementos vistos nas imagens após retornar do campo com o auxílio de amostra.

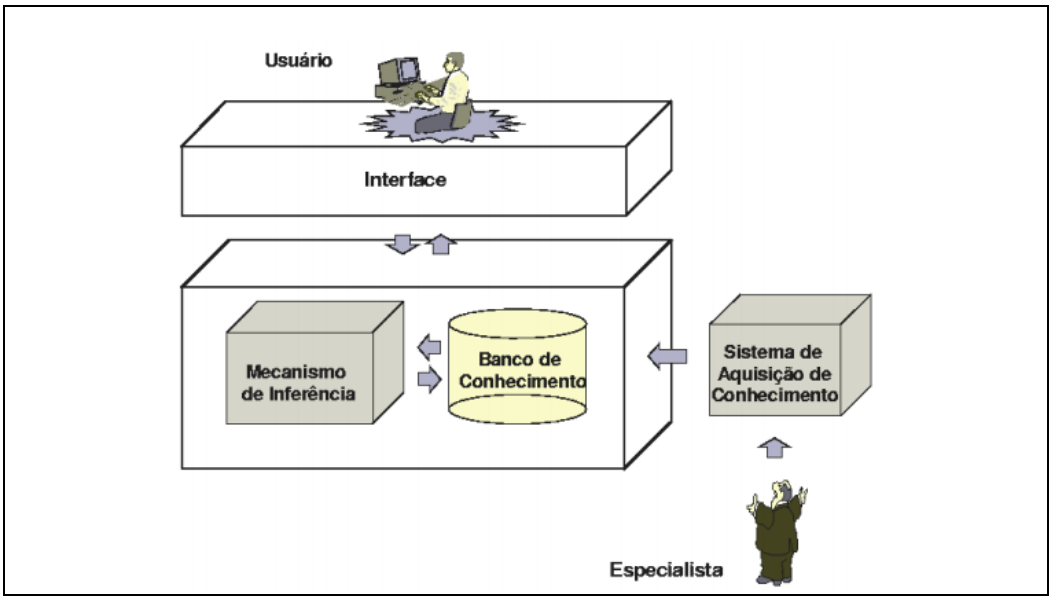


Figura 07: Arquitetura de Sistemas Especialistas. Fonte: Abel (1998, p.8)

Na representação de imagens baseada em conhecimento, os sistemas processarão automaticamente o conhecimento através de regras ou funções explícitas escolhidas por um especialista humano através de um conhecimento específico.

Atualmente, a maioria dos softwares que trabalham com processamento digital de imagens contemplam essencialmente métodos estatísticos e classificadores, os quais trabalham basicamente com pixel e têm bons resultados com imagens de média resolução espacial. Quando se trabalha com imagens de alta resolução espacial, essas análises feitas por tal *softwares* têm demonstrado limitações na detecção de alvos de maior complexidade. Seus resultados usualmente estão exigindo de forma prática um exame meticuloso por parte do especialista humano para a identificação e retificação das inconsistências geradas (FEITOSA, et al. 2005; BAATZ, 2006; BLASCHKE e KUX, 2007; PINHO, 2007).

Para resolver as situações de conflito e de ambiguidades, foram desenvolvidos na década de 1990 e aprimorados ao longo dos anos os sistemas de interpretação de imagens baseados em conhecimento. Dentre esses se podem destacar o ERNEST e o AIDA (***A**utomatic **I**mage **D**ata **A**nalyzer*) e o seu sucessor GeoAIDA (Geo Automatic Image Data Analyser). O sistema ERNEST foi desenvolvido tendo como finalidade a interpretação baseada em conhecimento de fotografias aéreas e imagens estéreo. Já o sistema AIDA não apresenta esse ponto fraco, pois nele as regras de controle são formuladas explicitamente (PAHL op. cit., 2008).

Segundo Liedtke (1999), o sistema AIDA é baseado em uma linguagem de representação do conhecimento, a qual está baseada em redes semânticas tendo como finalidade a representação explícita do conhecimento prévio dos objetos presentes na imagem. Também tinha como objetivo inicial a interpretação fundamentada em conhecimento de fotografias aéreas e imagens estéreo. Conforme Mota e Feitosa (2004, p. 36), “a inovação principal deste sistema de interpretação baseada em conhecimento é a utilização de informações provenientes de SIG em conjunto com o conhecimento prévio, modelado sob a forma de redes semânticas”.

A sucessão foi feita pelo Sistema denominado GeoAIDA, que herdou as funcionalidades do AIDA, tendo sido otimizado para lidar com dados provenientes de sensoriamento remoto e podendo ser aplicado na apreciação de outros tipos de dados geográficos. (PAHL op. cit. , 2008)

Os sistemas ERNEST, AIDA e GeoAIDA utilizam na sua essência uma técnica heurística, caracterizada por um conjunto de regras e métodos ou algoritmos exploratórios que conduzem à resolução de problemas.

Enfim, a partir desses novos sistemas especialistas - baseados na modelagem de conhecimento - e das novas concepções de formas de interpretação, entraram no mercado, na década de 2000, os produtos comercializados *eCognition,* da empresa alemã Definiens Imaging, o *ExpertClassifier,* da empresa ERDAS IMAGINE, e o software de código aberto (*open source*) - denominado de InterIMAGE – que foi desenvolvido em cooperação internacional com o *Institute of the Leibniz Hannover University* da Alemanha, pelo Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

3.4 – Ecologia Da Paisagem

3.4.1 – Concepções Gerais

A Ecologia de Paisagem é uma ciência de caráter emergente, sendo uma das mais novas áreas de conhecimento dentro das Geociências.

As primeiras discussões sobre o termo Ecologia de Paisagem (*Landschaftsökologie*) tiveram origem com o alemão Carl Troll, em 1939, ao estudar questões relacionadas ao uso da terra por meio de fotografias aéreas e interpretação das paisagens. Carl Troll conclamou geógrafos e ecólogos a trabalharem em estreita colaboração, visando à fundação de uma nova ecociência, que teria como objetivo central o estudo da paisagem (MORELLI, 2002).

A partir de 1950 essa visão foi inicialmente absorvida pelos estudiosos europeus, principalmente os da Europa Central e Ocidental, que estudavam os paradigmas da paisagem. Dessa forma, a Alemanha e a Holanda foram os primeiros países com a maior quantidade de trabalhos produzidos nessa área.

Efetivamente, os precursores da nova ciência – a Ecologia de Paisagem – foram os pesquisadores da Europa Central, Naveh e Lieberman, em 1984, que escreveram em conjunto o primeiro trabalho sobre o tema escrito em inglês intitulado "*Landscape Ecology: theory and aplications*", que foi introduzido nos EUA e em outros países de língua inglesa, e consolidou as bases teóricas do novo paradigma em Ecologia de Paisagem.

A Ecologia da Paisagem é vista na Europa como uma base científica para o planejamento, manejo, conservação, desenvolvimento e melhoria da paisagem. Ela sobrepujou os objetivos puramente naturais da bioecologia clássica e tem tentado incluir as áreas nas quais o ser humano é o centro da questão – sociologia, economia, geografia e cultura (NAVEH e LIEBERMAN, 1994).

De forma geral, a tônica a ser abordada nesse estudo será exclusivamente voltada para o uso da cobertura vegetal e suas mudanças, sem se aprofundar na questão da definição de paisagem, sua evolução, bem como a importância para as Geociências. A metodologia e variáveis de análise que serão descritas inserem-se, exclusivamente, num contexto de análise quantitativa da estrutura da paisagem – análise de padrões espaciais.

De acordo com o estatuto da *International Association for Landscape Ecology* (IALE, 2010), a "Ecologia da Paisagem é o estudo da variação espacial de paisagens em uma

variedade de escalas. Ele inclui as causas biofísicas e sociais e as consequências da heterogeneidade da paisagem. Acima de tudo, é amplamente interdisciplinar".

Essa nova definição Incorporou as concepções de Risser et al. (p. 7, 1984), os quais afirmavam que "*Landscape ecology considers the development and dynamic of spatial heteroneneity, spatial and temporal interactions and exchanges across heterogeneous landscapes, influences of spatial heterogeneity on biotic and abiotic processes, and management of spatial heterogeneity", ou seja,* a Ecologia da Paisagem considera o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, as interações espaciais e temporais nas trocas por paisagens heterogêneas, as influências da heterogeneidade espacial nos processos bióticos e abióticos (suporte físico, meio biológico e ação antrópica) e o manejo da heterogeneidade espacial.

À luz dessas informações, a análise de padrões espaciais heterogêneos, numa secção da paisagem, envolve a interação constante ao longo dos tempos dos ecossistemas e dos usos do solo.

Nesse contexto, a Ecologia de Paisagem aborda o estudo dos padrões espaciais da paisagem e as interações entre suas unidades (manchas – *paches* = pedaços, partes, remendos, fragmentos ou pequenos polígonos), analisando-se a heterogeneidade, fragmentação, isolamento e conectividade de todo o mosaico, ou seja, estudando os compartimentos ecológicos da paisagem como um todo sem distinções de áreas e escalas. Essa concepção vem desde 1980 e trata-se de uma abordagem denominada de "*land mosaic*" (mosaico do território), na qual prevalecem os preceitos da Ecologia de Paisagem (estrutura/forma, função/processo e mudança) que são aplicados a qualquer *land mosaic*, isto é, de qualquer área, seja do suburbano à agrícola até de desértico à floresta.

Essa concepção tem por base a escola norte-americana que trabalha no plano da quantificação dos padrões espaciais.

Numa conceituação mais geral em relação às definições anteriores, pode-se concluir que um mosaico é formado por unidades heterogêneas da paisagem. Esse conjunto de unidades é interativo ao longo do tempo e é composto por ecossistemas ou por unidades de cobertura ou de uso do território.

Segundo Metzger (p. 4, 2001),

> *"as unidades de cobertura do território podem ser definidas em função de três características básicas: a fisionomia da vegetação (predominância de herbáceas, arbustos ou árvores, ou por uma composição desses estratos);*

> *composição florística (espécies dominantes, em particular) e grau de perturbação. Já as unidades de uso e ocupação do território podem ser divididas em grandes classes (agricultura, pastagem, reservatórios, agro-florestais, vegetação natural, áreas urbanas, estradas, entre outros) ou então incluir um maior detalhamento (agricultura anual, semi-anual ou perene; campos naturais ou antrópicos, pastos limpos ou sujos, etc.). Todas essas formas de representar as unidades de paisagem são feitas (arbitrariamente) pelo especialista".*

Ainda segundo Metzger (2001), os limites entre esses conjuntos interativos da paisagem seriam então definidos por três fatores: o ambiente abiótico (formas de relevo, tipos de solos, dinâmica hidro-geomorfológica, parâmetros climáticos, em particular), as perturbações naturais (fogo, tornados, enchentes, erupções vulcânicas, geadas, por exemplo) e antrópicas (fragmentação e alteração dos habitats, desmatamento, criação de reservatórios, implantação de estradas, entre outros).

Conforme Drasdam, Olson e Forman (1996, p.14), a Ecologia de Paisagem concentra-se em três características fundamentais e nucleares da paisagem: estrutura – são as relações espaciais entre os distintos elementos ou ecossistemas presentes, mais especificamente a distribuição de energia material e espécies em relação às dimensões, formas, número, tipo e configuração do ecossistema; função ou funcionamento – são as interações entre os elementos espaciais representados pelos fluxos de energia, materiais e espécies dentro do ecossistema; e mudança ou alterações – é dada pelas alterações observadas ao longo do tempo na estrutura e na função do mosaico ecológico. Essas características podem ser entendidas como níveis hierárquicos de tratamento de paisagem com fins de planejamento ambiental.

3.4.2 – Composição da Estrutura da Paisagem

Para desenvolver uma determinada análise de uma paisagem, quer seja natural ou modificada, os critérios de reconhecimento e interpretação, em diferentes escalas, devem levar em consideração as interações dos padrões espaciais dos elementos de paisagem, os quais aparecem como manchas e variam de tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e características de bordas.

De uma forma mais particular, Forman e Godron (1986, apud MORELLI, 2002, p. 32) "denominam como elementos de paisagem os elementos ou unidades ecológicas básicas que possuem relativa homogeneidade entre alguns padrões espaciais, não importando se eles são de origem natural ou humana". Essa realidade fica bem exemplificada, quando se

observa que as unidades da paisagem são áreas nas quais existe homogeneidade quanto às variáveis ambientais consideradas na modelagem da paisagem: relevo, geologia, solo e uso/ cobertura do solo.

Para Forman (1995, apud MORELLI, 2002), a estrutura de uma paisagem é composta por três tipos de elementos (ver Figura 9): *Paches* (manchas, áreas, polígonos), *Corridors* (corredores) e *Matrix* (matriz). Segundo esse autor, as bordas entre os elementos da paisagem também desempenham um papel importante na estrutura da paisagem, entretanto, são consideradas como diferentes manchas.

Na Figura 10 são apresentados os elementos que compõem a base da estrutura da paisagem e a visualização de um mosaico com as homogeneidades das unidades de paisagem.

O termo ecologia de paisagem (*Landscape Ecology*) foi introduzido primeiramente por Carl Troll, em 1939, o qual fez amplo uso de fotografias aéreas para interpretar a interação da água, solo, vegetação e uso da terra através das técnicas de interpretação de imagens fotográficas.

Essa vertente de estudos tem sido praticada na Europa por muitas décadas e tornou-se amplamente reconhecida nos Estados Unidos a partir de 1980. Emergiu a partir da integração de várias tendências (geógrafos, biólogos, pedólogos, climatólogos e ecólogos) que abordavam a linha de pesquisa sobre os paradigmas da ecologia da paisagem. Essa unificação de várias tendências foi concretizada no início da década de 1980, graças à evolução dos sistemas de aquisição de dados espaciais como o sensoriamento remoto.

Várias agências governamentais, tais como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA - *Environmental Protection Agency*), baseiam grande parte de sua modelagem ambiental e caracterização da paisagem nessas métricas e indicadores (EPA Landscape Ecology, 2010).

Segundo Rodriguez et al. (2007), essa nova vertente integra principalmente as correntes geográficas (dimensão espacial) com a ecológica (funcional) no estudo das unidades paisagísticas, o que propiciou a reconceitualização da Ecologia, com a incorporação de proposituras para o estudo da organização da estrutura espacial da paisagem.

A paisagem caracteriza-se por compreender um conjunto de elementos naturais, artificiais e antropizados que estão em diferentes estágios de transformação ao longo do

tempo em um determinado território (DIAS e SANTOS, 2007). A Figura 08 mostra a relação de interatividade entre as categorias de elementos de uma paisagem.

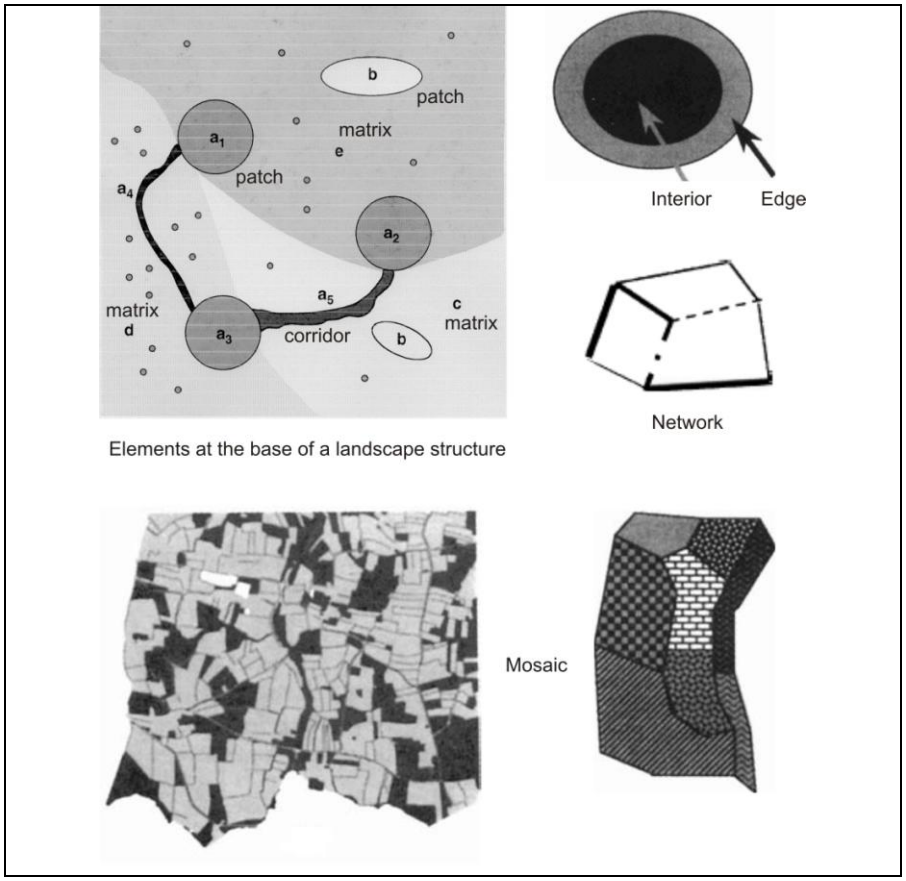


Figura 08: Categorias de elementos de uma paisagem. Fonte: Adaptado de Bureal et al. (p. 70, 2003)

Esses elementos que compõem a base da estrutura da paisagem são a raiz cognitiva e permitem a comparação entre paisagens distintas, proporcionando desenvolver princípios gerais. A linguagem espacial torna-se evidente quando se considera as manchas, corredores e matriz, que se combinam para formar a variedade de *land mosaics* na terra (CASIMIRO, 2000).

As manchas ou *pathes* são áreas geográficas homogêneas, restritas e não lineares que podem ser diferenciadas da matriz. Os padrões espaciais apresentam-se diferindo em aparência da sua vizinhança.

Os corredores são manchas alongadas que conectam um padrão espacial a outro. São áreas homogêneas e lineares da paisagem. Existem três tipos de corredores, isto é, os lineares, as faixas e as correntes. Os corredores de correntes variam em comprimento e por

definição margeiam um curso d'água. Já os corredores lineares e de faixas diferem primariamente em comprimento, sendo o último mais alongado.

Além da noção de corredores, existe a noção de conectividade. Em muitos casos práticos, esses corredores são, por vezes, o elemento de conexão entre manchas da paisagem. Sendo assim, pode-se considerar que existem vários outros termos de transformações de paisagem.

Conforme Casimiro (2000, p.11), os principais processos transformadores da paisagem podem ser:

• **Perfuração** (*perforation*) – criação de buracos dentro de um habitat essencialmente intacto;

• **Dissecação** (*dissection*) – divisão de um habitat intacto em manchas separadas por um corredor;

• **Fragmentação** (*fragmentation*) – quebra de habitats maiores/intactos em manchas mais pequenas e dispersas;

• **Contracção** (*shrinkage*) – diminuição da dimensão de um ou mais habitats;

• **Atrito** (*atrition*) – desaparecimento puro e simples de uma ou mais manchas de habitats.

Nesse contexto, a Figura 09 demonstra os principais processos espaciais de transformação da paisagem.

Spatial processes	Patch number	Average patch size [1]	Total interior habitat [2]	Connectivity across area [3]	Total boundary length [4]	Habitat	
						Loss	Isolation
Perforation	0	–	–	0	+	+	+
Dissection	+	–	–	–	+	+	+
Fragmentation	+	–	–	–	+	+	+
Shrinkage	0	–	–	0	–	+	+
Attrition	–	+	–	0	–	+	+

Figura 09: Principais processos espaciais de transformação do território. Fonte: (FORMAN R.T. – p. 407, 1999 – apud CASIMIRO, p.7-8, 2000)

No que se refere à matriz, esta contem as manchas e corredores e desempenha um papel dominante no funcionamento da paisagem, pois usualmente é o mais extenso e conectado elemento da paisagem. De forma geral, trata-se de uma área heterogênea, que contem uma variedade de unidades de não-habitat.

Segundo McGarigal e Marks (1995), uma definição básica de matriz é

> *"Uma criança brincando numa caixa de areia fica protegida do exterior e se concentra na criação de sua própria paisagem. Faz desenhos de formas, e amacia a superfície com suas mãos, formando uma matriz envolvente. Juntas, criam um mosaico para toda a caixa de areia. O mosaico é modificado e moldado continuamente, e, usualmente, pontilhado de enormes distúrbios. Nós somos as crianças e o mundo é nossa caixa de areia."*

Para mensurar e representar a heterogeneidade da paisagem e as mudanças que ocorrem na mesma – que se dão através do uso do solo –, faz-se necessário integrar técnicas de Sensoriamento Remoto e fotointerpretação com os métodos e técnicas da Ecologia de Paisagem. É dessa maneira que os padrões espaciais e a estrutura da paisagem terão uma melhor compreensão, pois será através dos mapas e imagens digitais que se poderá visualizar e interpretar melhor as interações homem/natureza.

À luz dessas informações, busca-se também neste projeto avaliar o efeito da estruturação da paisagem (padrões espaciais) aqui representada pelos três elementos (*Paches*, *Corridors* e *Matrix,*), e, juntamente com a técnica de Modelagem de Conhecimento e as técnicas de fotointerpretação, verificar se o processo de classificação e segmentação da imagem orbital de alta resolução está auxiliando nos estudos da Ecologia de Paisagem, uma vez que se utilizará a metodologia de aferição de padrões espaciais ligada a essa nova ciência.

3.4.3 – Métricas ou Indicadores De Paisagem

Segundo Carrão et al. (2001), a existência de inúmeras medidas quantitativas de composição da paisagem, conhecidas como métricas ou indicadores da paisagem, ganham cada vez mais atenção na medida em que ajudam a compreender a estrutura complexa da paisagem e a forma como esta influencia determinadas relações ecológicas.

A incorporação de dados de sensores remotos, visando avaliar a saúde e a diversidade da vegetação, resultou no desenvolvimento, na década de 1990, de numerosas

métricas de ecologia de paisagem ou índices que são de grande valor quando se analisam pastagens nativas, campos, florestas e planícies inundáveis (FROHN, 1998).

As métricas relativas ao nível de classe (*class-level metrics*) são calculadas levando-se em consideração todos os fragmentos de uma determinada classe, ou seja, mensura a configuração desse conjunto de fragmentos. Tendo como base as abordagens ecológicas elencadas por Metzger (2001), os fragmentos são "manchas originadas por fragmentação e/ou por subdivisão, promovida pelo homem, de uma unidade que inicialmente apresentava-se sob forma contínua como uma matriz".

Nos itens anteriores foram apresentados, sinteticamente, vários princípios básicos e métodos propostos pela Ecologia de Paisagem, sobretudo na sua vertente de pesquisa norte-americana de análise quantitativa da paisagem (*mosaic*). Nesses itens foram demonstrados a estrutura e os elementos base que compõem a paisagem (*Paches*, *Corridors* e *Matrix),* os princípios gerais da paisagem e os processos de transformações da mesma (*perforation*, *dissection, fragmentation, shrinkage e atrition)*. Todos esses aspectos paradigmáticos da Ecologia de Paisagem se complementam e contribuem para uma quantificação, medição e caracterização do mosaico.

Tendo em vista que o objetivo geral da Ecologia de Paisagem é quantificar os padrões espaciais da paisagem e entender o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, bem como as interações espaciais, o que nos remete à medição da estrutura e a complexidade da paisagem, é que se faz necessária a aplicação de índices de paisagem, os quais estão inseridos na denominada métrica de paisagem (*Landscape Metrics)*. Esses índices baseiam-se na análise da distribuição, forma e arranjo espacial das manchas.

A quantificação da paisagem, através da "*Landscape Metrics*", pode ser feita em três níveis: resolução individual das manchas (calcula todas, uma a uma), escala das classes de manchas (calcula todas as classes da classificação que foi utilizada como material base), e escala da paisagem como um todo (calcula a interação entre diferentes classes de manchas).

Conforme Farina (2000, p.169), as análises efetuadas utilizando a "*Landscape Metrics*" podem ser efetuadas segundo dois grupos de abordagens distintas:

• Composição da paisagem - Descreve a qualidade e quantidade de elementos (manchas) que compõem a paisagem. Sendo assim, a composição da paisagem engloba a variedade e abundância dos tipos de manchas da paisagem, mas não a posição e

localização dessas mesmas manchas no mosaico, sendo por isso descrita numérica e não espacialmente.

Segundo o autor, existem múltiplas formas de quantificar a composição: proporção de paisagem por tipo de manchas, riqueza de manchas, equidade de distribuição de manchas, diversidade e dominância de manchas entre outras.

• Configuração da paisagem – Descreve a distribuição física das manchas da paisagem. Algumas das variáveis consideradas são: isolamento de manchas, dimensão e forma da área interna das manchas, justaposição e distância entre as manchas do mesmo tipo de complexidade da fronteira.

Alguns índices são espacialmente explícitos somente porque representam, segundo o autor, ao nível da paisagem, a localização relativa individual das manchas. Esse procedimento faz com que se reconheçam os processos ecológicos e organismos afetados pela inter-dispersão e justaposição de tipos de manchas numa paisagem. Por exemplo, tem-se polígono de maior área, número de polígonos, tamanho médio dos polígonos e densidade de bordas.

Nesse contexto, algumas métricas quantificam a composição, representando a variedade e abundância de fragmentos, e outras quantificam a configuração, estando relacionadas à forma e à posição dos elementos na paisagem.

Assim, conforme McGarical e Marks (1995, p.11) "...mais importante do que classificar os índices da métrica de paisagem numa dicotomia composição – configuração é reconhecer que a estrutura da paisagem consiste tanto na composição como na configuração, e que foram desenvolvidos índices para representar estes aspectos da estrutura da paisagem, separadamente ou de forma combinada".

A aplicação de índices para avaliar a estrutura em estudos de paisagem, deve-se ao fato de que eles foram deliberadamente projetados para minimizar a necessidade de informação adquirida em campo (O'NEILL et al., 1988). Com isso, a utilização desses índices abre uma nova perspectiva para a aplicação do sensoriamento remoto em estudos da paisagem, com a finalidade de acompanhar e compreender as transformações numa determinada paisagem.

O uso de índices é particularmente interessante por permitir o realce de determinadas características e o obscurecimento de características secundárias, o que é fundamental quando se trabalha em áreas de grande extensão como bacias hidrográficas, por exemplo. Da mesma forma, o emprego de sensoriamento remoto e Sistemas de

Informação Geográfica (SIG) são de grande valia nesse tipo de avaliação e facilita a compreensão do território, sua evolução e consequentemente sua gestão.

Para calcular os índices/métricas de uma paisagem, existe uma série de softwares e aplicativos que foram elaborados, por exemplo, o *Fragstats* (*Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*, desenvolvido por McGarigal e Marks em 1995, o *Patch Analyst*, desenvolvido por Elkie *et al*. em 1999, e o LANDIC (aplicativo, desenvolvido para analise da estatística espacia)l. Segundo McGarigal e Marks (1995), no *Fragstats* podem ser calculados índices para os fragmentos, para as classes de uso e ocupação do solo, e para a paisagem como um todo, o que, dessa forma, permite a quantificação da estrutura da paisagem e dos padrões espaciais.

Com índices numéricos, pode-se quantificar os atributos espaciais de uma paisagem. O uso, entretanto, das métricas desenvolvidas em Ecologia, tem sua correta aplicação com o pré-requisito do conhecimento minucioso dos parâmetros e fenômenos envolvidos.

Segundo alguns especialistas, com o *Fragstats* não é possível descrever de modo adequado a paisagem somente com os resultados quantitativos produzidos. O uso das métricas tem sua grande aplicação nas comparações entre paisagens, podendo-se avaliar as mudanças temporais, as diferenças de paisagem provocadas pelo uso de diferentes parâmetros na classificação de imagens, implicações das diferenças espaciais provocadas por diferentes fragmentos de uma paisagem, etc.

O *Fragstats* pode ser utilizado, matematicamente, para analisar a classificação realizada sobre uma imagem. As formas geradas, as diversidades e a uniformidade da área produzida ficam bastante caracterizadas nos resultados Esse software analisa a estrutura da paisagem, usando mais de 50 métricas da mesma, realizando pesquisas na imagem para buscar fragmentos contíguos de cada tipo e, então, calcula um conjunto compreensivo de valores de paisagem e índices baseados nos fragmentos encontrados. Os índices são calculados em três níveis: o fragmento individual, cada tipo de classe encontrada (p. ex., toda cobertura vegetal) e a paisagem como um todo (VOLOTÃO, 1998).

No software *Fragstats*, as métricas da paisagem são classificadas em oito categorias: métricas de área, de fragmentos, de bordas, de forma, de área central ("*core*"), de vizinho mais próximo, de contágio e mistura e de diversidade. Dentro de cada categoria, as métricas são agrupadas em ordem nos três respectivos níveis: fragmentos, classes e paisagem, respectivamente.

Conforme Tenedório (2001, p.11), a análise quantitativa da paisagem através da "*landscape metrics"*, conceitualizada pela Ecologia de Paisagem, é aplicável estritamente

para análise de mosaicos paisagísticos. Segundo o mesmo, “estes índices permitem dissecar e aprofundar a análise dos padrões espaciais, constituindo uma ferramenta importante na análise do uso do solo - coberto vegetal”.

Além das métricas elencadas anteriormente, ainda existem inúmeras métricas de paisagem, mais simples, mas de grande importância para quantificar paisagens.

Para a quantificação dos padrões espaciais deste projeto, serão escolhidos alguns indicadores, os quais deverão obedecer aos seguintes critérios: escala de abordagem e extensão territorial.

3.5 – Bioma Caatinga: Diversidade de Paisagens

O Bioma Caatinga, cobre a maior parte da área com clima semi-árido da região Nordeste do Brasil, que de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2010), possui uma área aproximada de 826.411 km² e se estende pela totalidade do estado do Ceará (100%) e mais de metade da Bahia (54%), da Paraíba (92%), de Pernambuco (83%), do Piauí (63%) e do Rio Grande do Norte (95%), quase metade de Alagoas (48%) e Sergipe (49%), além de pequenas porções de Minas Gerais (2%) e do Maranhão (1%).

Mesmo sendo a única grande região natural brasileira cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional, pouca atenção tem sido dada à conservação da heterogênea paisagem da Caatinga (SILVA et al., 2004)

Essa região caracteriza-se por evapotranspiração elevada, ocorrência de períodos de secas, solos de pouca profundidade e reduzida capacidade de retenção de água, o que limita conseqüentemente seu potencial produtivo. Todos esses elementos conjugados evidenciam um Ecossistema muito frágil, o qual se agrava principalmente devido à degradação da cobertura vegetal e do uso incorreto das terras, através da exploração predatória da caatinga e dos desmatamentos e queimadas.

Os estudos na região Nordeste do país, e principalmente nesse ecossistema, são imprescindíveis, pois esse Bioma é um dos mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável dos recursos naturais.

Nessa região, os baixos índices de precipitação, a irregularidade de chuvas, a temperatura elevada e a alta radiação solar, propiciam a escassez de água, que, junto com os aspectos litoestratigráficos, influencia na natureza dos solos, os quais se apresentam, na região, rasos ou pouco profundos, quase sem húmus, pedregosos e pouco desenvolvidos.

Nesse contexto, a vegetação natural dessa área seria um reflexo do solo, do relevo e do clima, já que os mesmos interferem de forma decisiva na natureza daquela.

Segundo Branco (2004, p. 07), o nome “Caatinga” é de origem Tupi-Guarani, que significa “Floresta Branca”. Esse termo evidencia a vegetação na estação seca, quando ocorre a queda das folhas e apenas os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos permanecem na paisagem seca, compondo, dessa forma, um ambiente acinzentado.

As principais características da caatinga, segundo Joly (1970) e Ferri (1985), são:

- Possuir um complexo vegetacional onde predominam arvoretas e arbustos que perdem suas folhas na estação seca;

- A vegetação apresenta resposta rápida após o aumento da umidade ou chuva, deixando-a com o aspecto verde viçoso;

- A vegetação possui geralmente árvores baixas e delgadas, com intensa ramificação;

- A vegetação apresenta troncos retilíneos, com folhagem delicada e cascas finas e lisas;

- As árvores e arbustos apresentam órgãos subterrâneos tuberizados nos quais se armazenam água;

- Apresentam os estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo.

Segundo diversos autores (ALVES e MEDEIROS 2005, MELO et al. 2007), o que define a paisagem botânica das caatingas é o número imenso de espécies lenhosas da Família Mimosaceae, como as juremas (*Mimosa ssp.*), e da Euphorbiaceae, como os marmeleiros (*Croton sp.*) e herbáceas de pequeno porte, além das famílias Cactaceae e Bromeliaceae.

Tendo em vista as variadas fisionomias que a flora do Bioma Caatinga apresenta nas suas mais diversas situações edafoclimáticas (Seridó, Sertão, Cariri, entre outros), fez-se necessário, para este estudo, enfatizar as principais espécies encontradas na área de estudo.

De acordo com alguns trabalhos científicos, a Caatinga apresenta classificações diferenciadas quanto à sua tipologia florestal, devido sua fisionomia e florística variada. Dessa forma, segundo Prado (2003), no Brasil existe um grande esforço para caracterizar os diferentes tipos estruturais da vegetação de Caatinga através de classificações fisionômicas hierárquicas. Essas inúmeras discussões acerca da classificação dos tipos de caatingas envolvem a conceitualização dos termos e expressões acerca do porte da floresta, o adensamento, a caducidade das folhas e a adaptação ao déficit hídrico.

Essas discussões acerca das classificações fitogeográficas da Caatinga estão entrelaçadas com outras formações vegetais das regiões semi-áridas do mundo tropical. Por exemplo, a equipe composta por Veloso et al. (1991) adotou e propôs para os especialistas de fitogeografia do país uma classificação internacional para a Caatinga nacional, denominando-a de Savana Estépica.

O IBGE (1992) também segue a mesma linha, classificando-a nas seguintes classes: Savana–Estépica, Savana Estépica Florestada, Savana Estépica Parque e Savana–Estépica Gramíneo–Lenhosa. No entanto, a equipe da SUDEMA (MELO et al., 2004 p. 108–109) evidencia que é muito estranho se pretender equiparar as Caatingas arbustivas arbóreas do Nordeste a uma tipologia campestre, às savanas, que são originalmente campos da Venezuela, não matas. Já segundo Prado (2003), é difícil aceitar a palavra Estepe para denominar a vegetação de Caatinga nordestina, pois a mesma representa os campos, ou seja, as Estepes encontradas na Rússia e na Sibéria, cujas características são os arbustos baixos e espalhados, que sofrem um inverno rigoroso.

Todavia, a equipe do PNUD/FAO/IBAMA (1994), Melo et al. (2004) evidenciam que a vegetação de Caatinga é predominantemente constituída de árvores, arvoretas, arbustos e ervas que secam no período de seca. Dessa forma, no presente trabalho, foram utilizadas terminologias e classificações dos trabalhos acima citados, pois as mesmas caracterizam melhor a vegetação da Caatinga paraibana e da área em estudo.

Por fim, toda essa discussão acerca da classificação do Bioma Caatinga é de grande importância para este estudo, porque a área de estudo encontra-se inserida totalmente nesse ecossistema. Ambiente esse que possui características específicas, o que o torna único no mundo, pois possui solo sílico argiloso, seco, raso, quase sem húmus e pedregoso contendo regular teor de cálcio e potássio. É de fundamental importância conhecer as suas características e problemáticas, já que é considerado um ambiente frágil. Além disso, nas últimas décadas, a vegetação local tem sido bastante modificada e descaracterizada, o que desencadeia um intenso processo de degradação dos solos devido à substituição da vegetação natural por culturas e pastos.

4 – ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido em uma sub-bacia hidrográfica denominada de Riacho do Fundão ou Santa Maria, cuja extensão territorial é de 458,03 Km ².

A área de estudos está localizada na região do semiárido nordestino, no Planalto da Borborema, especificamente na microrregião geográfica do Cariri Oriental paraibano, no município de São João do Tigre, entre as latitudes de 8°15'00" e 7°59'18" Sul e as longitudes de 36°54'21" e 36°37'17" Oeste de Greenwich (Figura 10).

Figura 10: Localização da área de estudo

É uma área bastante heterogênea do ponto de vista geomorfológico e dos processos de fragmentação dos padrões espaciais e da estrutura da paisagem, pois uma parte da área está localizada dentro de uma unidade de proteção ambiental e a outra apresenta ações de exploração e de degradação intensiva.

Segundo a classificação de W. Köppen (1948) - baseada principalmente na temperatura e na precipitação e complementada e atualizada até os dias atuais – o clima é do tipo semiárido (BSwh') quente seco com chuvas de verão. Para essa região, os índices de precipitação alcançam os níveis mais baixos do Estado, com totais pluviométricos anuais entre 350 mm e 700 mm, possuindo temperaturas em média de 26^{o}C para as máximas, e 20^{o}C para as mínimas. Além disso, a umidade relativa do ar é inferior a 75% (AESA, 2011).

A área possui em seu interior uma Unidade de Proteção Ambiental denominada de "Onças" (APA das Onças), que apresenta muitos sítios arqueológicos e constitui uma unidade de conservação por parte do Governo do Estado da Paraíba, sob a tutela da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA).

Nessa região, conforme levantamento fitoecológico e pedológico realizado em campo e com base nas séries pluviométricas locais, foi possível diagnosticar que parte da APA apresenta uma formação de mata de brejo (Floresta Estacional Decidual Montana) com altitude acima de 750 metros, ou seja, apresenta uma vegetação de mata serrana com espécies nativas de brejo de altitude – árvores altas com presença de palmeiras e orquídeas típicas de mata atlântica.

Conforme o Ministério do Meio Ambiente (2004), trata-se de "ilhas" de floresta úmida que estão inseridas ou estabelecidas na região semiárida, as quais estão predominantemente cercadas por vegetação típica de caatinga, que apresenta estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo.

Na Figura 11, pode-se constatar o relevo do município de São João do Tigre gerado a partir das imagens do radar interferométrico SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e a Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão ou Santa Maria (destacado em vermelho), bem como o limite territorial da APA das Onças (destacado em preto). Pode-se observar que a unidade ambiental da APA das onças encontra-se inserida em uma região acidentada do ponto de vista geomorfológico devido às altas cadeias de montanhas. É dentro dessa unidade ambiental que existe uma divisão natural de faixas de umidade entre a região do distrito de Santa Maria e a região da sede municipal, ou seja, São João do Tigre.

Essa divisão natural de faixa de umidade é condicionada pela influência do relevo e dos ventos que são provenientes do sudeste – em boa parte do ano – advindos do Estado de Pernambuco e do leste da Paraíba, conforme medições (Velocidade do vento, Direções preferenciais, Umidade relativa do ar e Pressão atmosférica) realizadas *in situ* e comparadas com informações do Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba.

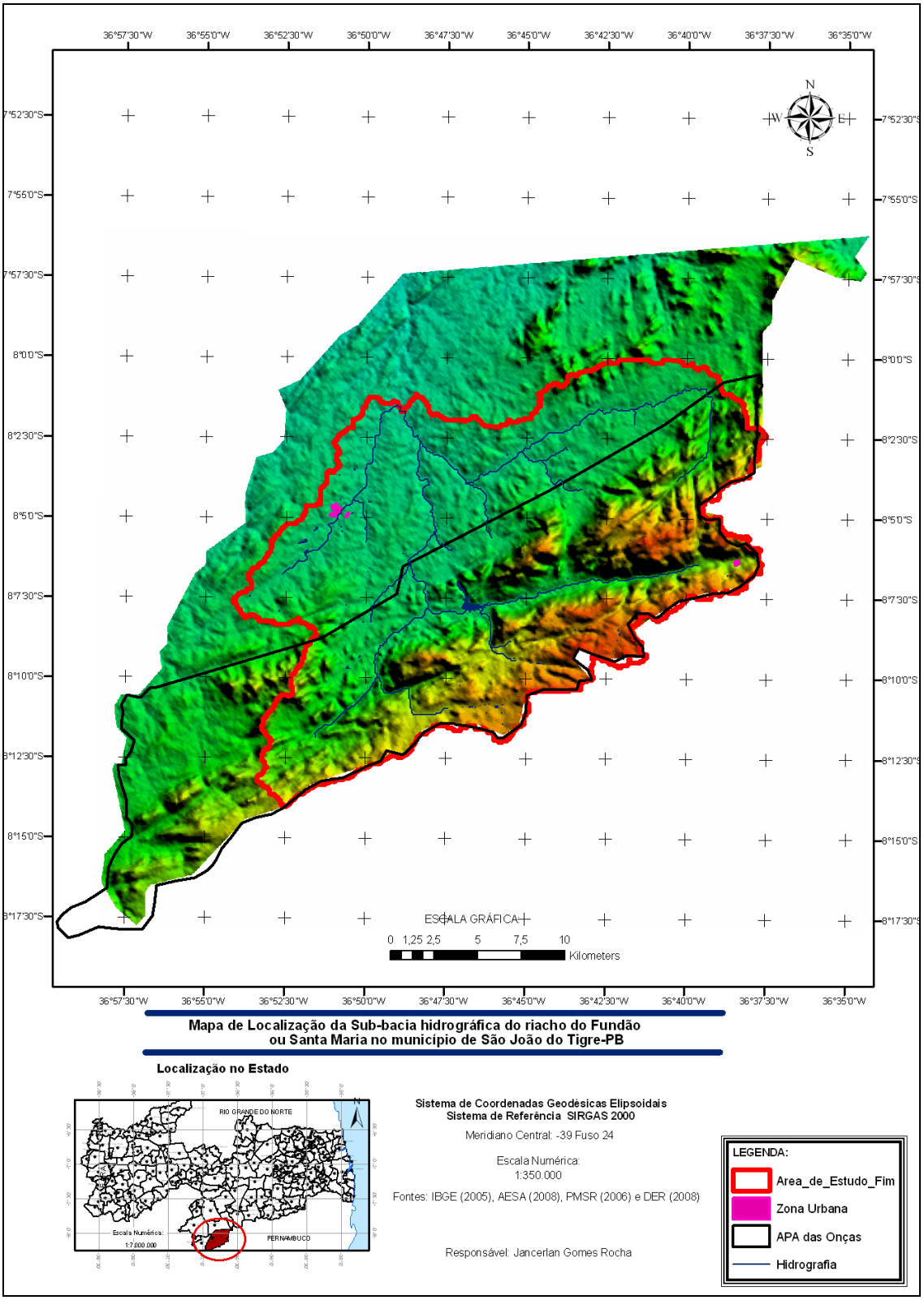


Figura 11: Localização da área de estudo em relação ao município de São João do Tigre/PB.

4.1 – Caracterização das Microbacias Hidrográficas

A Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão ou Santa Maria, por possuir uma dimensão territorial igual a 458,03 Km ², apresenta-se com uma unidade espacial repleta de diversidades do ponto de vista biogeográfico, uma vez que o modelado do relevo, a umidade, os solos, a cobertura vegetal e a geologia variam de setor para setor.

A condição geomorfológica local, o tipo de solo, a litoestratigrafia, o clima e os ventos interferem de forma decisiva no tipo de vegetação local, uma vez que em parte da Sub-bacia existem diferentes classes de vegetação, pois como já mencionado anteriormente, têm uma faixa de umidade que propicia a formação de uma vegetação de mata serrana com espécies nativas de brejo de altitude (Floresta Estacional Decidual Montana) na porção da APA das onças, e outra formação que a cerca, ou seja, a vegetação propriamente típica de Caatinga, que apresenta estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, os quais predominam em toda a região de São João do Tigre.

A unidade de proteção APA das onças é o setor onde existem as espécies nativas de brejo de altitude, bem como um regime de chuvas diferenciado, superando as médias da sede do município (São João do Tigre). O pluviógrafo está localizado no distrito de Santa Maria e registra anualmente uma pluviosidade atípica, destoante, conforme dados da AESA, em relação às demais áreas da Microrregião do Cariri Ocidental, uma vez que a variabilidade das precipitações é menor ao longo do ano, ou seja, está entre 25 mm a 30 mm/ano, enquanto para as demais áreas está entre 30 mm a 40 mm/ano). Além disso, a nebulosidade ou cobertura de nuvens anual está acima de 6/10 de céu encoberto o que indica que essas nuvens proporcionam regularidade na precipitação (DCA/UFCG, 2011).

À luz dessas informações, e com base no levantamento fitoecológico e pedológico realizado em campo e nas séries pluviométricas locais, podemos diagnosticar que existe uma faixa de umidade condicionada pela influência do relevo e pela posição das massas de ar e dos ventos da circulação planetária. Sendo assim, a Figura 12 exemplifica como ocorre a existência desses brejos de altitude, ou seja, são formações com uma espécie de microclima local que surge a partir das chuvas orográficas, onde a pluviosidade é bastante superior à do entorno. As massas de ar alimentam essas faixas de terra ao longo do ano.

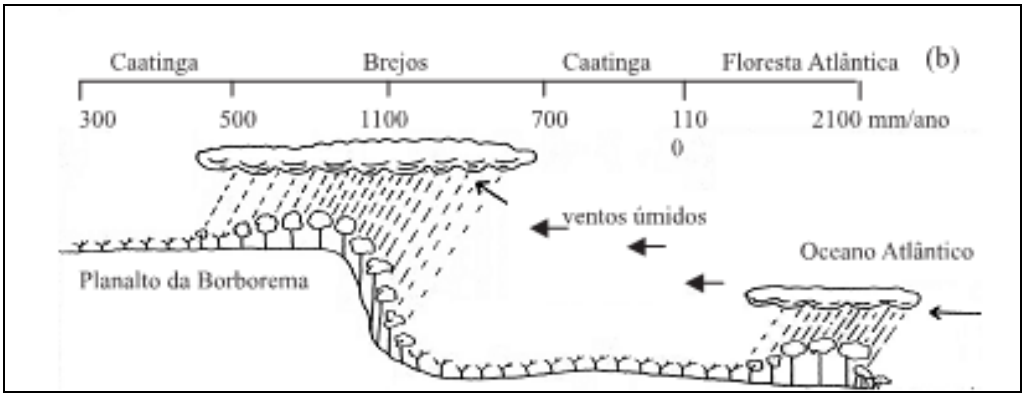


Figura 12: Perfil esquemático dos brejos de altitude no Nordeste do Brasil. Fonte: Adaptado de Cavalcanti &Tabarelli (2004, p. 287)

A Figura 13 evidencia o modelo digital de elevação gerado para o município de São João do Tigre, e em destaque, na cor vermelha, tem-se o limite da microbacia hidrográfica do Riacho do Fundão ou Santa Maria. Também em destaque, aparece o limite territorial da área de proteção ambiental APA das Onças (linha preta). A drenagem local está representada pela cor azul, e na cor rosa tem-se a sede do município a Oeste, e a Leste, o distrito de Santa Maria.

Na Figura 13, pode-se observar que a unidade ambiental da APA das Onças encontra-se inserida em uma região altamente acidentada do ponto de vista geomorfológico devido às serras que possuem altitudes acima de 600 metros. É uma unidade ambiental inserida, do ponto de vista geomorfológico, no Planalto da Borborema e apresenta algumas unidades geomorfológicas que estão acima do nível da Borborema, ou seja, apresenta serras elevadas com topos aplainados ou não.

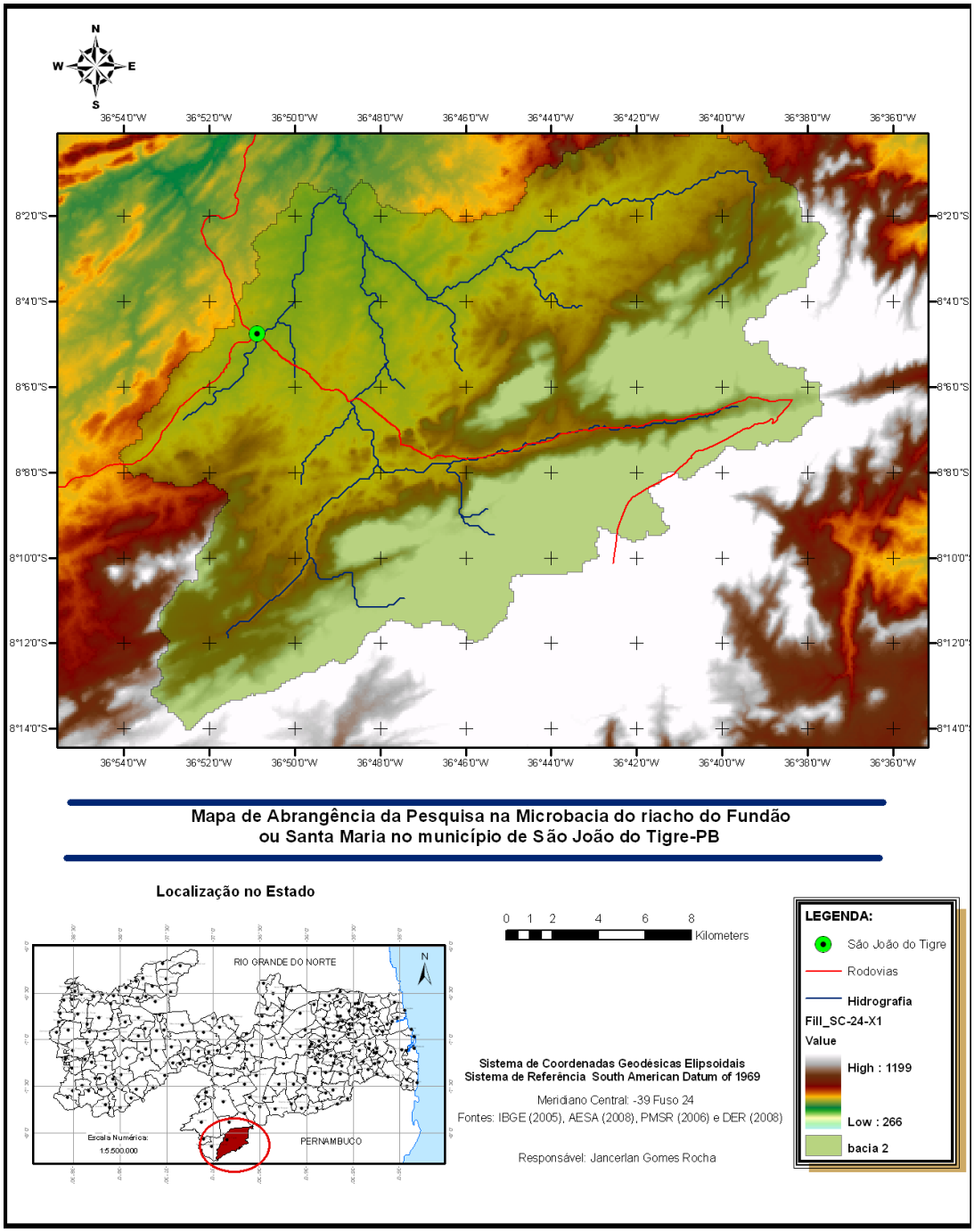


Figura 13: Modelo Digital de Elevação para a microbacia do Riacho do Fundão.

A Figura 14 demonstra a caracterização de parte do corredor – faixa do terreno entre duas elevações de grande extensão – que liga a sede administrativa ao distrito de Santa Maria. Nessa região, as formas de relevo são do tipo denudacional, ou seja, é dissecado por agentes atmosféricos que atuam sobre o modelado e podem ser de superfície pediplanada

na divisa com Pernambuco e com formas tabulares, convexos e topos aguçados para as demais regiões da Sub-bacia.

Ponto 01: 755098 m (E); 9102273 m (N)

Ponto 02: 749904 m (E); 9101797 m (N)

Figura 14: Vista da superfície tabular denudacional com formas tabulares. Fonte: o autor.

A Figura 15 evidencia melhor a altimetria do terreno, a orientação das vertentes o relevo sombreado, as quais demonstram como ocorre o modelado do relevo para toda a Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão. O relevo é um dos elementos biogeográficos mais importantes para a formação de ambientes com diferentes características físicas e biológicas para toda essa Sub-bacia, e principalmente para essa porção meridional, onde está localizada a APA das onças, a microbacia 5 (Riacho do Fundão III) e porções meridionais das microbacias 4 (Riacho Comprido) e 6 (Riacho da Grota do Saco Grande).

O uso intensivo do solo na Sub-bacia do Riacho do Fundão está condicionado à ocupação de áreas planas e pediplanadas, ou seja, nos topos das serras, pois os acessos são precários em quase todas as regiões, o que inclui as montanhosas.

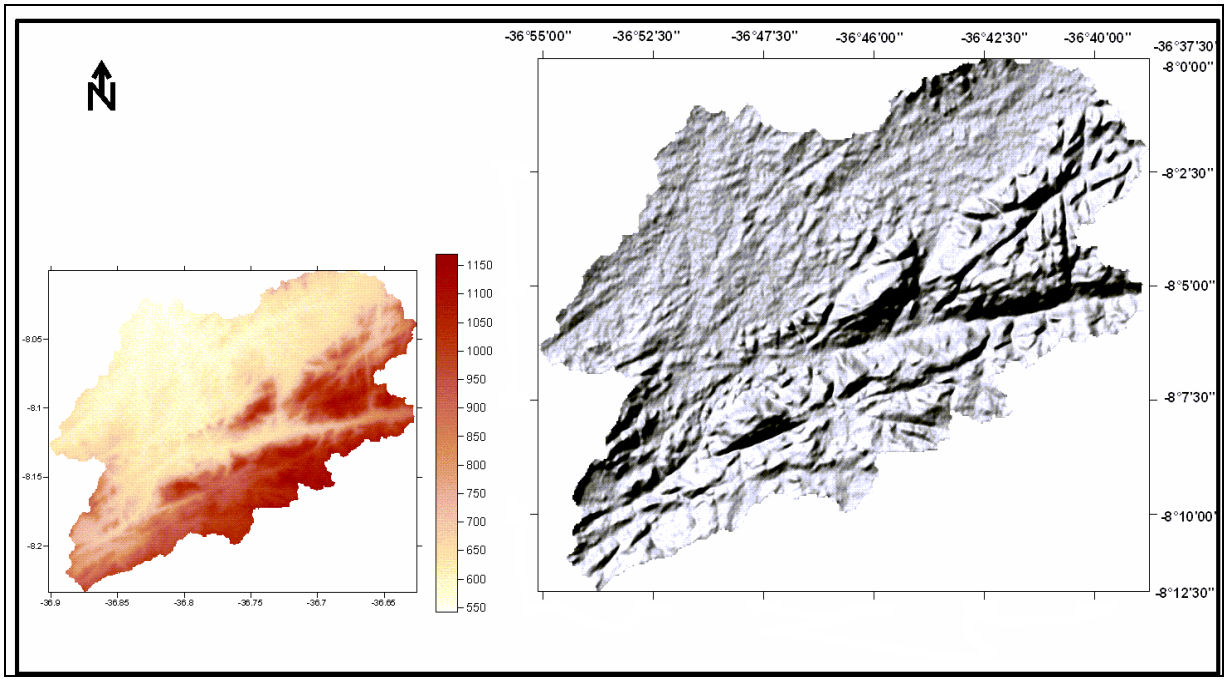


Figura 15: Variáveis geomorfológicas locais derivadas dos dados SRTM.

Sob o ponto de vista geológico, toda a área encontra-se sobre rochas do Complexo Cristalino, ou seja, um conjunto de rochas ígneas e metamórficas.

Os estudos realizados em campo também demonstram que devido a região ser de uma origem geomorfológica, geológica e hidrológica complexa, isso contribuiu para que os solos dominantes sejam pouco desenvolvidos e pedregosos (Litólicos Eutróficos, que estão associados a solos Bruno Não-Cálcicos e Afloramentos Rochosos). Existem na Sub-bacia áreas com o tipo de solo Regossolo, mas apenas na região da APA das Onças na divisa com Pernambuco.

Por estarem inseridos dentro da Província das Caatingas e sobre o Embasamento Cristalino, os solos do município de São João do Tigre apresentam muitas limitações naturais devido ao próprio clima (semiárido) que ocasiona, por sua vez, altas temperaturas e escassez de água. Essas limitações, segundo Lepsch (2002), interferem na pedogênese, que se torna mais lenta devido à falta de um fornecimento abundante de matéria orgânica (detritos vegetais) ou pode ser parcialmente interrompida durante a estação seca – prolongada – devido à falta de água. Conforme Oliveira et al. (1992), a falta de umidade propicia a existência de solos pouco desenvolvidos, rasos ou pouco profundos, além de pobres em matéria orgânica, cascalhentos e/ou pedregosos.

Fora da unidade de proteção ambiental, a região apresenta baixos índices de precipitação, onde a irregularidade de chuvas, a temperatura elevada e a alta radiação solar

propiciam a escassez de água, que, junto com os aspectos litoestratigráficos, influenciam na natureza dos solos, os quais se apresentam, na região, rasos ou pouco profundos, quase sem húmus, pedregosos e pouco desenvolvidos. Nesse contexto, a vegetação natural predominante é a Caatinga hiperxerófila.

A área foi bastante degradada ao longo do tempo para a exploração da lenha, produção de carvão, ocupação do solo com agricultura e com pasto para a pecuária, além da mineração.

Pode-se detectar também que a vegetação predominante nessa região é reflexo do solo, do relevo e do clima predominante; por isso, predomina um alto grau de empobrecimento da vegetação, constituindo-se de estratos compostos por árvores (de pequeno porte, com 3 a 7 m de altura), arvoretas, arbustos e ervas que secam no período da estiagem.

A heterogeneidade biogeográfica existente na Sub-bacia, bem como alguns problemas nas imagens de alta resolução HRC, levou a segmentar essa área em seis microbacias hidrográficas, justamente para facilitar a descrição e análise de cada unidade de paisagem.

A problemática com a imagem de alta resolução só pôde ser identificada após a geração do mosaico final da Sub-bacia, pois para recobrir a área de estudos, foi necessária a utilização de quatro cenas com datas distintas de passagem.

A Figura 16 demonstra a imagem – modo pancromático – do mosaico final gerado para toda a Sub-bacia do Riacho do Fundão. Pode-se perceber, na porção mais central do mosaico, uma mancha de coloração mais escura, bem como na parte oeste e sul da citada figura. Além disso, uma coloração branca mais acentuada na parte norte também foi detectada. Essas alterações no mosaico geraram uma problemática no que se refere à criação de regras para classificar os objetos na imagem como um todo, uma vez que, após definida uma regra, esta deveria ser aplicada para todo o mosaico. Em virtude desses problemas isolados, não estava sendo possível concretizar a hierarquização, pois o brilho e o contraste estavam apresentando valores destoantes, o que, por sua vez, estava provocando uma interpretação dúbia para todas as classes.

Após alguns testes no software *e-Cognition,* não foi possível eliminar esses problemas, dessa forma, foi necessário subdividir a área de estudos em áreas menores.

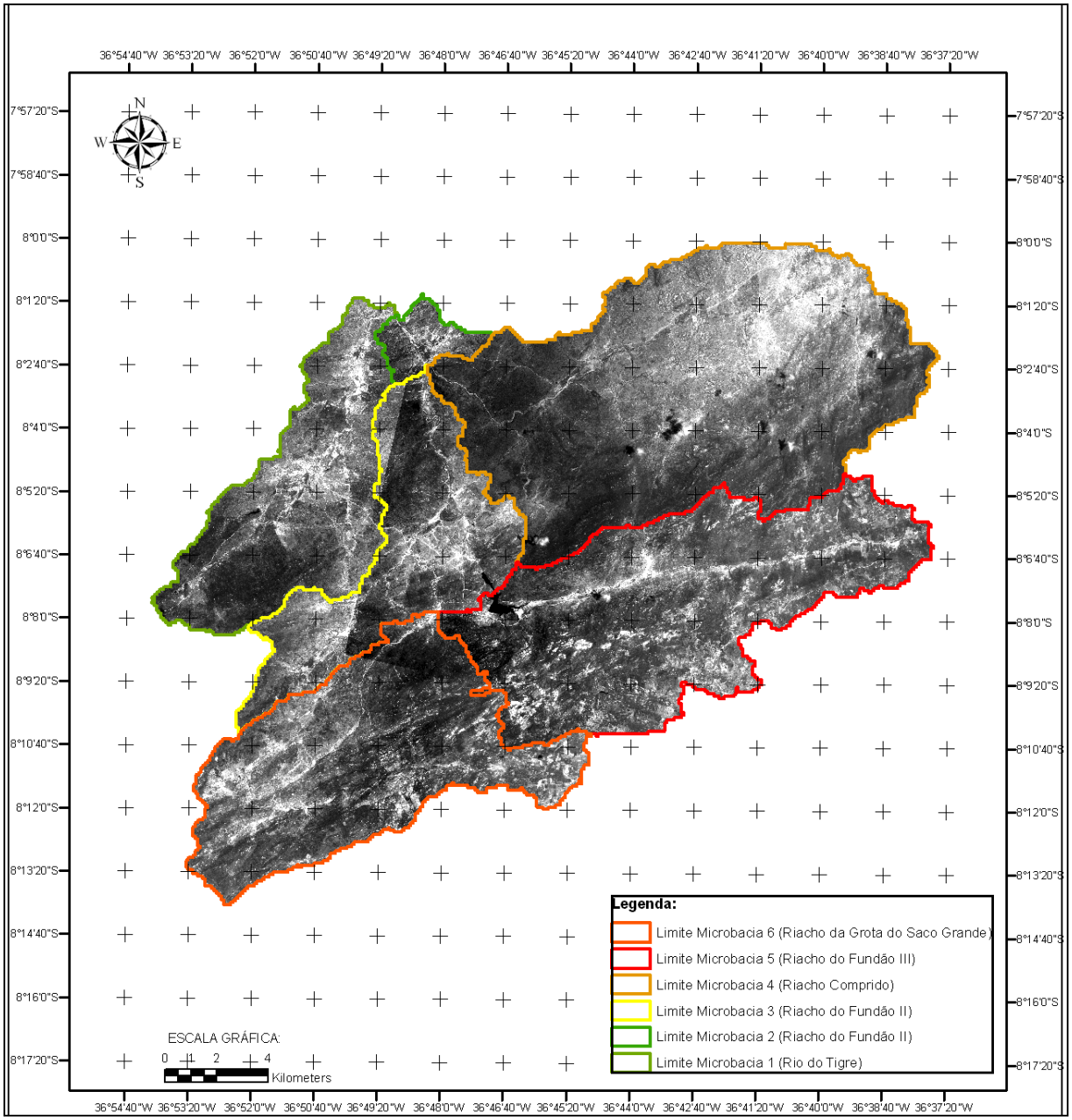


Figura 16: Mosaico final da Sub-bacia hidrográfica do riacho do Fundão ou Santa Maria no município de São João do Tigre.

Na microbacia 1 (Rio do Tigre) a vegetação predominante é a Caatinga hiperxerófila. É uma região onde o uso do solo é intenso devido ao relevo ser pouco ondulado e por estar próxima da sede administrativa do município de São João do Tigre. Ocupa uma área de 58,31 Km² e, conforme as análises, está em segundo lugar dentre as seis microbacias, com um alto nível de antropização devido às inúmeras formas de pressão antrópica que estão sendo exercidas principalmente nos períodos de preparação da terra para o plantio ou em

situações em que o comércio da madeira é utilizado como provimento financeiro de alguns agricultores.

Conforme algumas informações obtidos *in situ,* muitas práticas estão relacionadas ao desmatamento da Caatinga nativa para a formação de campos agrícolas destinados ao plantio de culturas de subsistência, tais como o feijão e o milho, ou à retirada de madeira nativa para ser vendida aos proprietários de olarias, panificadoras, cerâmicas e para consumo próprio, como produto energético para o abastecimento de fornos.

Conforme dados da ATECEL (2002), em grande parte dessa microbacia predominam os solos Bruno não Cálcicos e, em pequena porção, os solos Litólicos Eutróficos (solos pouco desenvolvidos) localizados na parte mais ao Sul.

O relevo apresenta-se como sendo uma superfície no nível do Planalto da Borborema, com formas tabulares com relevo plano com colinas pequenas e suaves de topo arredondado, separados por vales de fundo plano.

A variabilidade das precipitações é maior nesse setor, uma vez que as precipitações são menores. As precipitações obedecem às médias anuais em torno de 500 mm a 700 mm.

A Figura 17 evidencia uma porção da microbacia caracterizada pelo uso intensivo do solo, a qual está em estágio de recuperação, tendo espécies ralas de vegetação de Caatinga, uma alternância com solo exposto e área agrícola.

Ponto 03: 739906 E m (E); 9103884 m (N)

Figura 17: Vista parcial de vegetação em estágio de recuperação na microbacia 1 (Rio do Tigre). Fonte: o autor.

Na Figura 18, pode-se observar que nas áreas de tonalidades mais clara da microbacia é onde ocorre grande parte do uso intensivo do solo, uma vez que se trata de áreas próximas ao Rio do Tigre que corta a área no sentido Norte/Sul e em pontos próximos

às estradas municipais não-pavimentadas. O acesso nessa região é um dos melhores, se comparado às outras cinco microbacias, justamente pelo relevo ser mais plano.

Na parte mais ao sul da microbacia 1 (Rio do Tigre), pode-se identificar uma tonalidade mais escura devido a algum problema na imagem proveniente do sensor HRC que ocasionou saturação dos níveis de cinza das imagens.

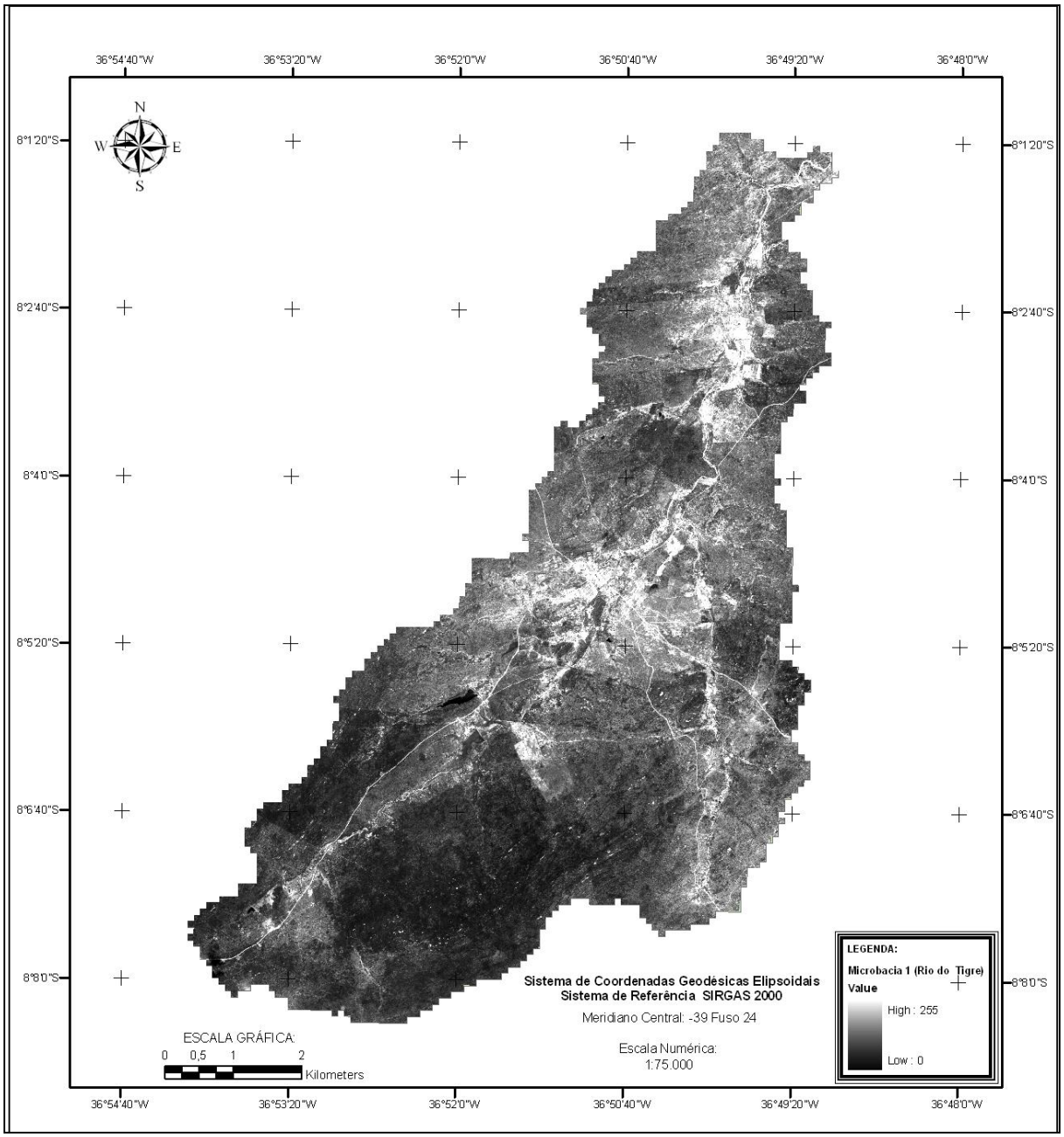


Figura 18: Imagem pancromática da microbacia 1 (Rio do Tigre).

A microbacia 2 (Riacho do Fundão I – Figura 19) ocupa uma área de 7,40 Km² e também apresenta as mesmas características climáticas, geológicas, geomorfológicas e de cobertura vegetal que a microbacia 1 (Rio do Tigre). É uma região onde o uso do solo também é intenso devido ao relevo ser pouco ondulado e por possuir em seu interior o principal rio de toda a Sub-bacia. O tipo de solo predominante são os Brunos não Cálcicos.

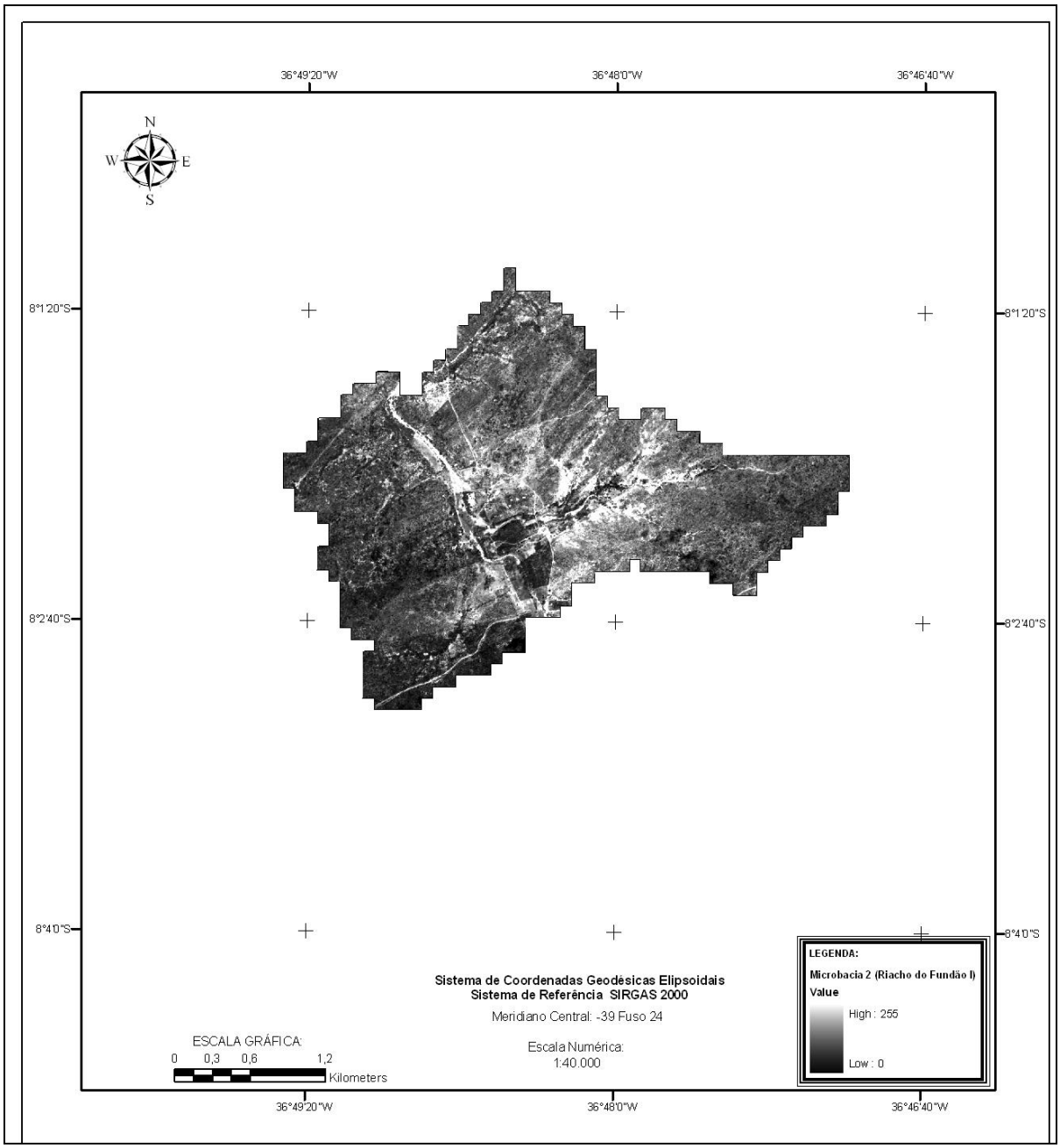


Figura 19: Imagem pancromática da microbacia 2 (Riacho do Fundão I).

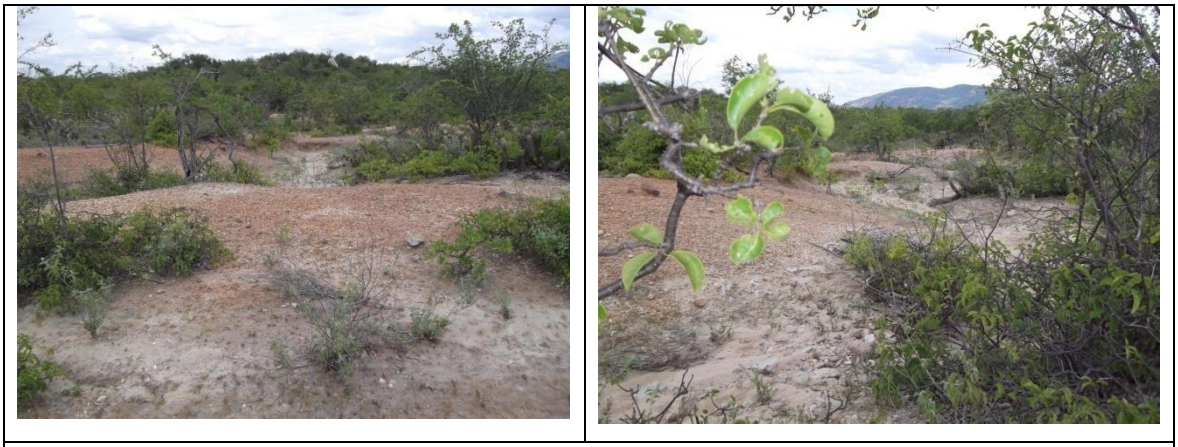
Na Figura 19, observam-se áreas mais claras que remetem à classe solo exposto; ao redor desse, em boa parte da imagem, encontram-se áreas agrícolas, pois o leito do rio, ou seja, a área de proteção permanente (APP), é utilizada para práticas agrícolas na região semiárida.

A microbacia 3 (Riacho do Fundão II) é uma sequência do Riacho do Fundão ou Santa Maria e possui uma área de 54,58 Km². As áreas próximas aos rios, nesse setor, são utilizadas com menor intensidade para as práticas agrícolas, se comparadas às microbacias 1 (Rio do Tigre) e 2 (Riacho do Fundão I), uma vez que naquelas existe um aprofundamento de drenagem, nas quais as encostas formam vales profundos em "V". Isso acontece principalmente nas proximidades das Serras, ou seja, na parte Sul, Sudoeste e Sudeste da microbacia. Nas outras áreas, os leitos dos rios são utilizadas para o cultivo e para a pecuária.

Os solos predominantes nesse setor, conforme ATECEL (2002), são o Bruno não Cálcico e o Litólico Eutrófico (solos pouco desenvolvidos). A geomorfologia local apresenta-se na forma de superfície plana a ondulada com formas tabulares. No que se refere à geologia e ao clima, apresentam as mesmas características das microbacias 1 (Rio do Tigre) e 2 (Riacho do Fundão I).

A microbacia 3 apresenta características de uma vegetação de Caatinga, em maior parte, do tipo aberta, possuindo, em alguns setores, vestígios de degradações ambientais devido à retirada da madeira ou queimadas, gerando uma substituição de uma vegetação nativa por uma sucessora.

Devido a essas práticas implantadas e em decorrência do desmatamento, pode-se observar que os solos jovens e pouco profundos da região sofrem uma série de problemas relacionados ao processo de degradação, como a erosão, que, por sua vez, é acentuada pela severidade do clima. Esse processo de erosão ocorre graças à vulnerabilidade dos solos Litólicos Eutróficos e Bruno não Cálcicos. Dessa forma, a Figura 20 demonstra uma porção da microbacia que apresenta formação de sulcos profundos no solo.



Ponto 02: 741848 m (E); 9103178 m (N)

Figura 20: Formação de sulcos profundos no solo da microbacia 3 (Riacho do Fundão III). Fonte: o autor.

Os processos erosivos, aliados ao vento, evoluem com mais intensidade nesses solos, pois os mesmos são pobres em argila e matéria orgânica. Nessas áreas encontra-se a erosão pluvial (chuva), já que a água escoa com mais força devido à ausência de cobertura vegetal, retirando, dessa forma, o material fértil do solo, o qual fica exposto à erosão eólica (vento) o qual, por sua vez, remove as camadas superficiais do solo.

A Figura 21 demonstra a vegetação de Caatinga arbustiva aberta (esquerda) e fechada (direita), que dominam grande parte da microbacia 3 (Riacho do Fundão III).

Ponto 03: 742842 E m (E); 9102350 m (N)

Figura 21: Vegetação Arbustiva na microbacia 3 (Riacho do Fundão III). Fonte: o autor.

Na Figura 22 pode-se observar um dos inúmeros pontos de solo exposto na microbacia 3 (Riacho do Fundão III). Essa microbacia possui uma cobertura vegetal com a predominância dos tipos arbustivo (arvoreta) e herbáceo (planta herbácea).

Ponto 03: 742929 E m (E); 9102680 m (N)

Figura 22: Vista de uma porção da microbacia 3 (Riacho do Fundão III) que evidencia uma área de solo exposto. Fonte: o autor.

Mesmo com a subdivisão em microbacias hidrográficas, o recorte (Figura 23) para esta microbacia 3 sofreu problemas com relação às bordas das duas cenas do sensor HRC. É possível identificar o alinhamento das duas passagens pela área de estudo (2008 e 2009). A tonalidade escura evidencia bem o contraste e o brilho diferenciados para o resto da imagem. Em virtude disso, as regras do e-Cognition foram modificadas, ou seja, foram adicionadas regras a mais que nas outras microbacias, justamente para tentar sanar essa problemática.

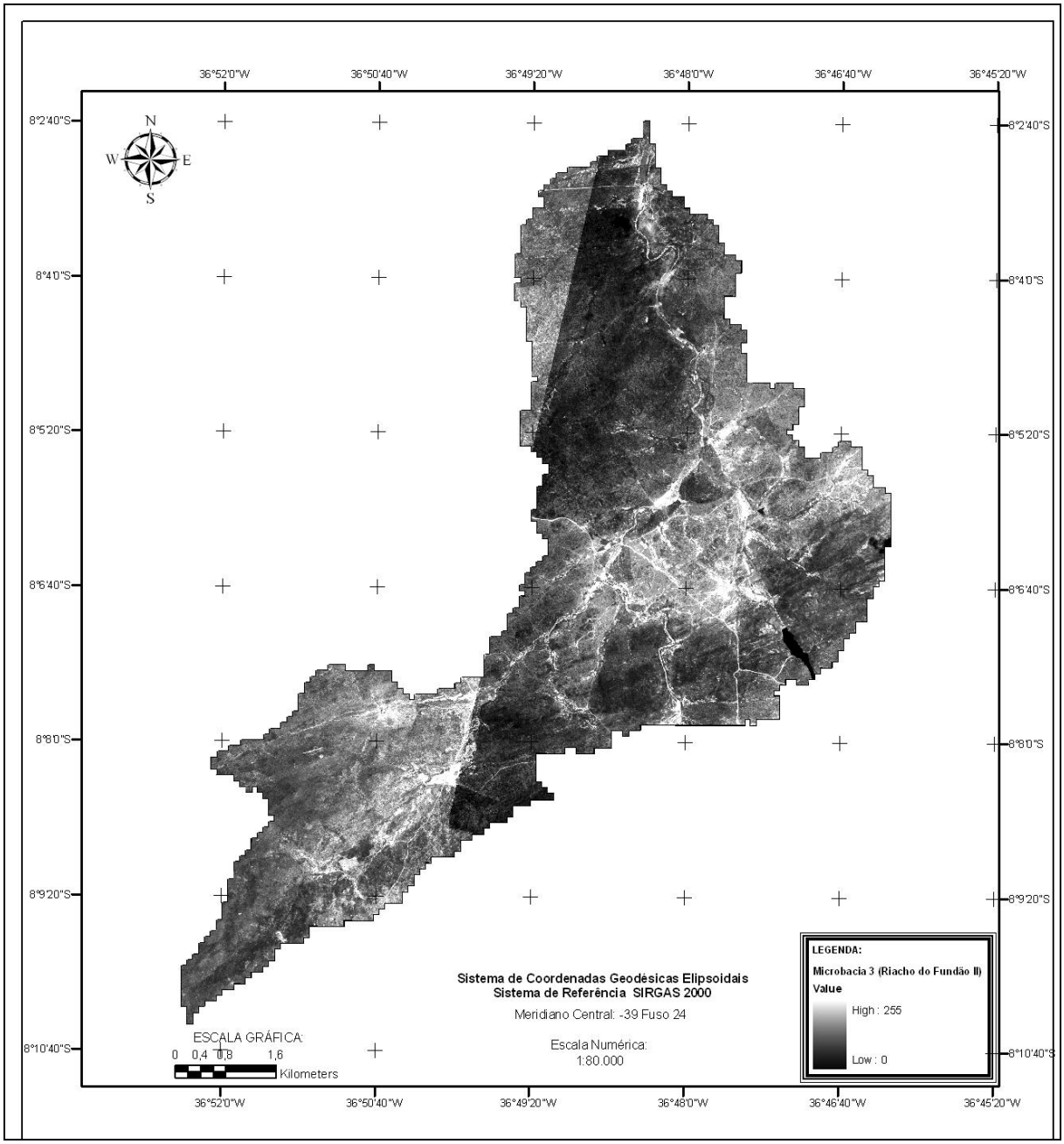


Figura 23: Imagem pancromática da microbacia 3 (Riacho do Fundão II).

A microbacia 4 (Riacho Comprido) possui uma área de 150,9 Km²; é a maior das microbacias, o que já lhe garante um caráter de heterogeneidade dos elementos da paisagem.

Apresenta diferentes classes de vegetação desde a Caatinga até resquícios de mata de brejo de altitude na sua porção Meridional, nas proximidades do distrito de Santa Maria.

Como possui uma extensão territorial correspondente a 32,75 % de toda a Sub-bacia do Riacho do Fundão, o relevo, por sua vez, apresenta uma dinâmica bem diversificada das demais áreas, pois se mostra na forma de superfície suave ondulada com formas tabulares e convexas numa pequena porção ao Norte. Também são encontrados maciços e serras residuais que fazem parte do Planalto da Borborema na parte sul e ao centro. No que se refere à geologia e ao clima, apresentam as mesmas características das microbacias 1 (Rio do Tigre), 2 (Riacho do Fundão I) e 3 (Riacho do Fundão II). A única exceção diz respeito a uma que possui maior umidade localizada ao sul da microbacia, pois é onde está inserida uma faixa territorial que caracteriza a mata de brejo de altitude.

Os solos predominantes nesse setor, conforme ATECEL (2002), são os Litólicos Eutróficos (solos pouco desenvolvidos). São pedregosos e rasos em sua maioria.

O uso do solo fica restrito às margens das estradas municipais não-pavimentadas e em zonas mais aplainadas.

A Figura 24 demonstra uma porção mais a oeste (esquerda) onde predomina a vegetação de Caatinga Arbustiva Aberta; e na parte mais ao norte (direita), uma área em que predominam as atividades agrícolas,sendo o uso do solo mais intenso nessa microbacia.

Ponto 03: 744453 E m (E); 9110353 m (N)

Ponto 03: 753627 E m (E); 9112960 m (N)

Figura 24: Diferenciação de tipos de vegetação na microbacia 4 (Riacho Comprido).
Fonte: o autor.

A Figura 25 evidencia a microbacia 4 (Riacho Comprido). Pode-se constatar uma tonalidade mais clara na parte nordeste da microbacia, onde encontra-se uma grande área de solo exposto, devido às áreas em pousio, vegetação muita rala devido à pedregosidade do solo e áreas de afloramentos rochosos. Também é possível observar a cadeia de serras

na parte sul, as quais são fator de delimitação natural para a drenagem e para a ocorrência de maior.

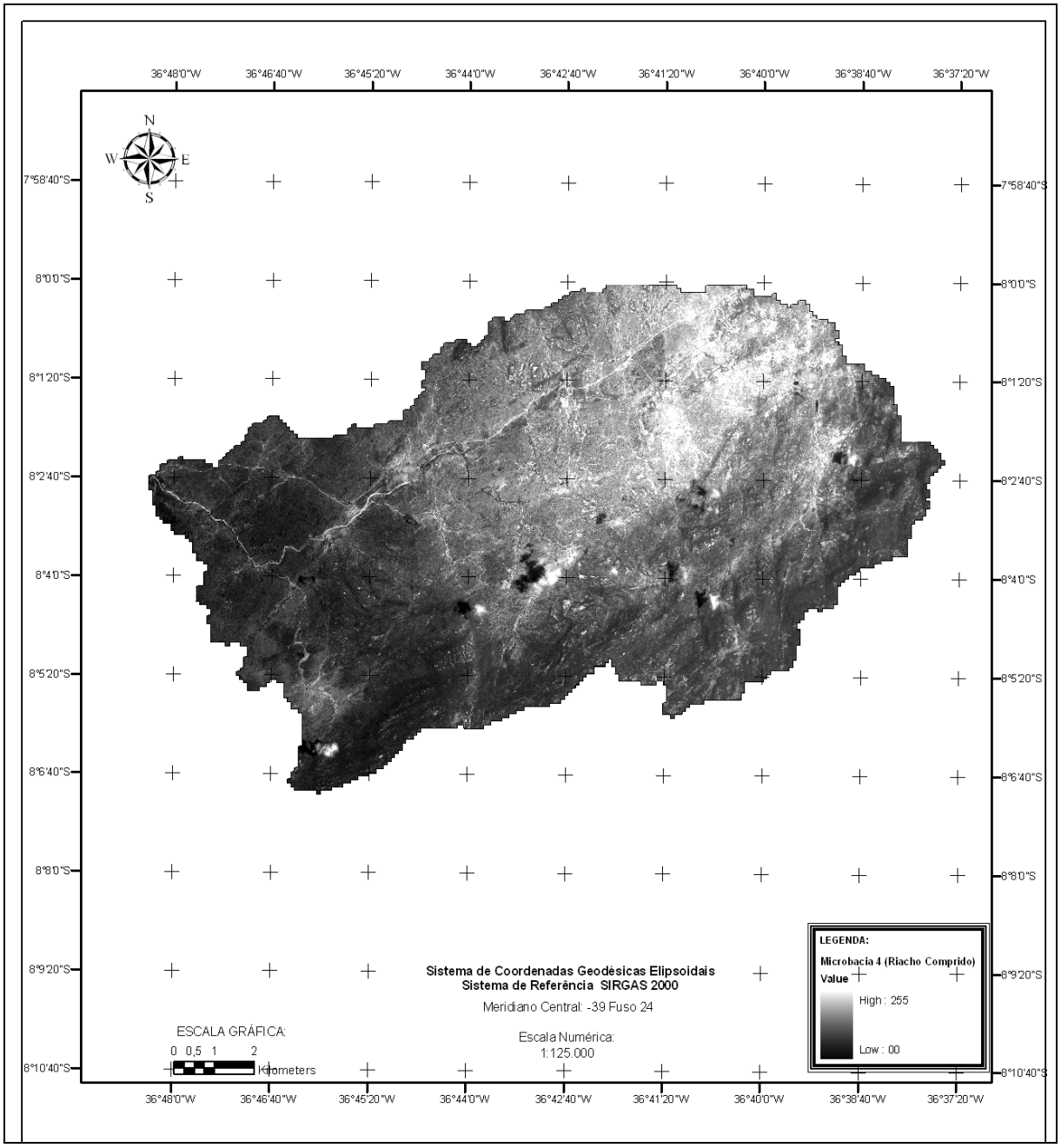


Figura 25: Imagem pancromática da microbacia 4 (Riacho Comprido).

A microbacia 5 (Riacho do Fundão III) possui uma área de 104,00 Km², sendo a segunda maior da Sub-bacia e está inserida totalmente na APA das Onças. Apresenta características biogeográficas distintas de todas as outras áreas, uma vez que possui uma

pluviosidade elevada, tipo de solo mais fértil, geomorfologia marcada pela altimetria acentuada, que varia entre 600 e 1200 metros, bem como a ação de massas de ar e a ação dos ventos. Essas variáveis apontam para uma área que apresenta uma variabilidade de precipitações menores em relação às demais áreas da Sub-bacia, o que constitui um faixa de umidade já descrita em capítulos anteriores. A Figura 26 mostra a imagem (PAN) da microbacia 5 (Riacho do Fundão III).

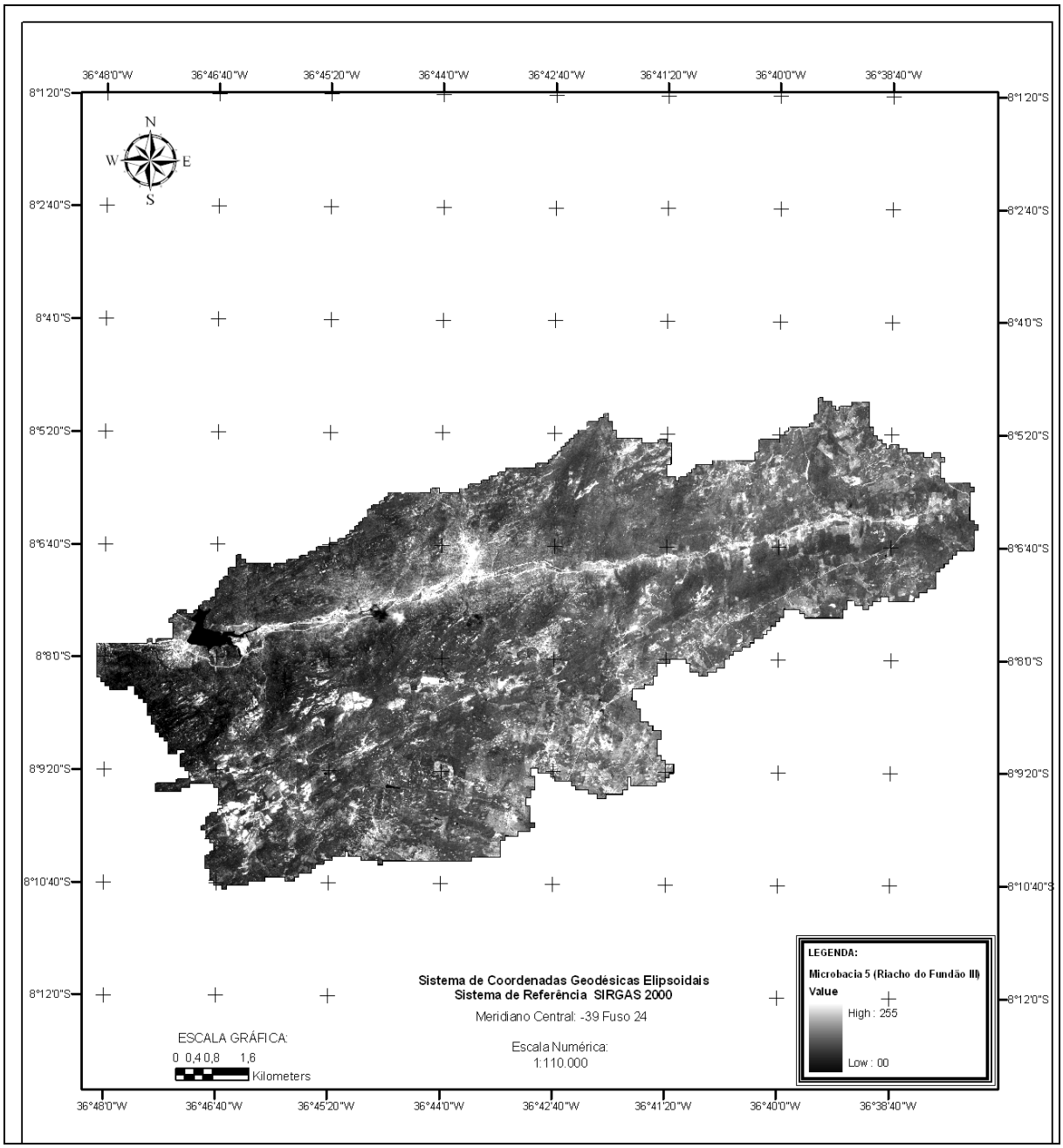


Figura 26: Imagem pancromática da microbacia 5 (Riacho do Fundão III).

Na Figura 42, podemos observar o Riacho do Fundão – cor branca – que se trata de um segmento que corta a microbacia no sentido leste/oeste. Esse riacho encontra-se situado entre duas cadeias de serras, as quais formam juntas, conforme a Figura 42, um corredor que interliga o distrito de Santa Maria, a sede do município. Esse corredor é composto por serras ao Norte (Serras do Pesa, da Roncadeira e da Paula) e ao Sul (Serra do Tabaqueiro e da Serraria). A Figura 27 evidencia essas formas tabulares de relevo. Também é possível identificar feições pontuais – áreas de afloramentos rochosos de cor branca – situadas na porção sudoeste.

Ponto 03: 750872 E m (E); 9102083 m (N)

Ponto 04: 750341 E m (E); 9101966 m (N)

Figura 27: Vista panorâmica do relevo com formas tabulares na microbacia 5 (Riacho do Fundão III). Fonte: o autor.

A topografia dessa microbacia é bastante diversificada. A influência do relevo, das massas de ar e dos ventos propiciam a formação de solos mais férteis e ricos em húmus nos setores sul e norte. Os tipos de solos predominantes são os Regossolos situados na porção sul da microbacia – divisa com o Estado de Pernambuco – e acima de cotas em torno de 800 metros para a porção norte; e para as demais áreas, os solos predominantes são os Litólicos Eutróficos e suas associações.

Na região existem as espécies nativas de brejo; além disso, a nebulosidade ou cobertura de nuvens anual e a regularidade na precipitação propiciam a criação de zonas agrícolas. Essa microbacia é a que apresenta o maior índice de área agrícola conforme as análises realizadas após a classificação temática, ou seja, possui 25,13 % de área destinada ao cultivo. O uso do solo também é praticado nas margens do Riacho do Fundão, ou seja, na área de proteção ambiental, como demonstra a Figura 28. Nessa porção de terra

entre as serras, a agricultura é praticada apenas durante o inverno; e na época da estiagem, transforma-se em área de pasto para provimento alimentar dos animais.

Ponto 03: 758368 E m (E); 9103415 m (N) Ponto 03: 758767 E m (E); 9103390 m (N)

Figura 28: Ocupação agrícola dentro da APA das onças em área de preservação ambiental. Fonte: o autor.

A Figura 29 evidencia a existência de campos agrícolas que dividem o espaço com as matas de brejo – localizadas na porção ao Norte da microbacia – já bastante degradada pela ação antrópica. A degradação da mata de brejo de altitude dá-se nessa porção entre as Serras da Jararaca e a Serra do Paulo.

Ponto 03: 756003 m (E); 9104535 m (N)

Figura 29: Vista panorâmica das áreas agrícolas e da mata de brejo na microbacia 5 (Riacho do Fundão III) Fonte: o autor.

A mata de brejo ou brejo de altitude existe nessa faixa de terra devido a um sistema eficiente de chuvas orográficas, que fornece todas as condições de umidade e temperatura

necessárias para a preservação da fauna e da flora. O porte dessa vegetação lembra os da floresta atlântica nordestina.

Segundo Andrade-Lima (1982) “são ilhas florestais mais ou menos úmidas, em função de sua condição climática peculiar, já que o relevo cria uma barreira às massas de ar, que acabam depositando umidade nas vertentes à barlavento, grotões e vales de Serras”. A Figura 30 exemplifica melhor essa tipologia florestal.

Ponto 03: 757734 E m (E); 9104107 m (N)

Ponto 03: 757682 E m (E); 9105015 m (N)

Figura 30: Vista parcial da tipologia de mata de brejo de altitude na microbacia 5 (Riacho do Fundão III) Fonte: o autor.

A percepção *in situ* que distingue a faixa de umidade dá-se no sentido oeste – leste, precisamente entre as coordenadas Este = 751000 m/Norte = 9102130 m. Neste setor existe uma abertura do relevo que se alarga em virtude de um afluente do Riacho do Fundão, o que pode ser visto pela hipsometria gerada a partir dos dados SRTM (ver Figuras 13 e 15). A descontinuidade das Serras do Norte, ou seja, Serra do Pesa com a Serra da Roncadeira e Serra do Paulo, provoca uma zona de conversão de ventos, que, por sua vez, atua sobre o clima local e modifica o regime de chuvas. A Figura 31 evidencia bem essa descontinuidade da cadeia de Serras.

Ponto 03: 750872 E m (E); 9102083 m (N)

Ponto 04: 750341 E m (E); 9101966 m (N)

Figura 31: Vista parcial do local onde aparecem as mudanças de vegetação na microbacia 5 (Riacho do Fundão III) Fonte: o autor.

É nesse setor que acontece uma mudança entre as classes de vegetação, pois ocorre a separação entre a faixa de umidade que favorece a formação da mata de brejo de altitude com a Caatinga.

A Figura 31 demonstra uma porção de terra que representa a descontinuidade das cadeias de Serras do Norte (esquerda) – especificamente a Serra do Pesa – e a vegetação na parte sul da microbacia (direita). Nesse setor, a vegetação se torna mais típica de Caatinga, ou seja, com características arbustivas e herbáceas. Nessa região, a Caatinga arbórea encontra-se no sopé das Serras – base de montanha, parte inferior da encosta – e nas bordas dos afloramentos rochosos.

A partir desse ponto até as coordenadas Este = 753400 m/Norte = 9102214 m, pode-se perceber a mudança no comportamento da vegetação. A Figura 32 mostra (sentido Oeste/Leste) a vegetação de mata de brejo sub montana.

Ponto 03: 752360 E m (E); 9102141 m (N)

Ponto 04: 7528749 E m (E); 9102206 m (N)

Figura 32: Vegetação de mata de brejo sub montana (sentido Oeste/Leste) na microbacia 5 (Riacho do Fundão III) Fonte: o autor.

À medida que se avança no sentido da sede municipal, ou seja, no sentido Oeste/Leste, aumentam as discrepâncias em relação ao tipo de vegetação. Isso se torna evidente quando visualizam-se as Figuras 33 e 34, que mostram tal realidade. Dessa forma, a Caatinga vai se tornando cada vez mais aberta e rala com um porte muito baixo, inferior a 2,00 metros de altura.

Nas Figuras 33 e 34 pode-se observar uma situação bem típica para este setor, que é a diminuição das áreas com cobertura vegetal de Caatinga arbustiva aberta e o aumento de áreas de solo exposto.

Ponto 03: 744205 E m (E); 9100576 m (N)

Ponto 04: 743891 E m (E); 9100600 m (N)

Figura 33: Vista parcial das proximidades do açude de São João do Tigre (sentido Oeste/Leste) na microbacia 5 (Riacho do Fundão III). Fonte: o autor.

Ponto 03: 743413 E m (E); 9100580 m (N)

Ponto 04: 744445 E m (E); 9100263 m (N)

Figura 34: Vista parcial da Vegetação de Caatinga arbustiva aberta (sentido Oeste/Leste) na microbacia 5 (Riacho do Fundão III). Fonte: o autor.

A microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande) ocupa uma área de 82,86 Km² e apresenta as mesmas características climáticas, geológicas, geomorfológicas e de cobertura vegetal que a microbacia 5 (Rio do Tigre). É uma região onde o uso do solo também é intenso devido ao solo Regossolo, o qual está localizado na porção leste. O uso intenso nesse local é devido à umidade e à precipitação, as quais propiciaram o surgimento da mata de brejo de altitude. Para o restante da microbacia, o tipo de solo é o Litólico Eutrófico e suas associações.

A geomorfologia local é caracterizada como as demais por estar inserida no Planalto da Borborema e por possuir uma superfície pediplanada na parte leste e formas Tabulares nas demais áreas. Os afloramentos rochosos, conforme demonstra a Figura 35, encontram-se mais no centro da microbacia.

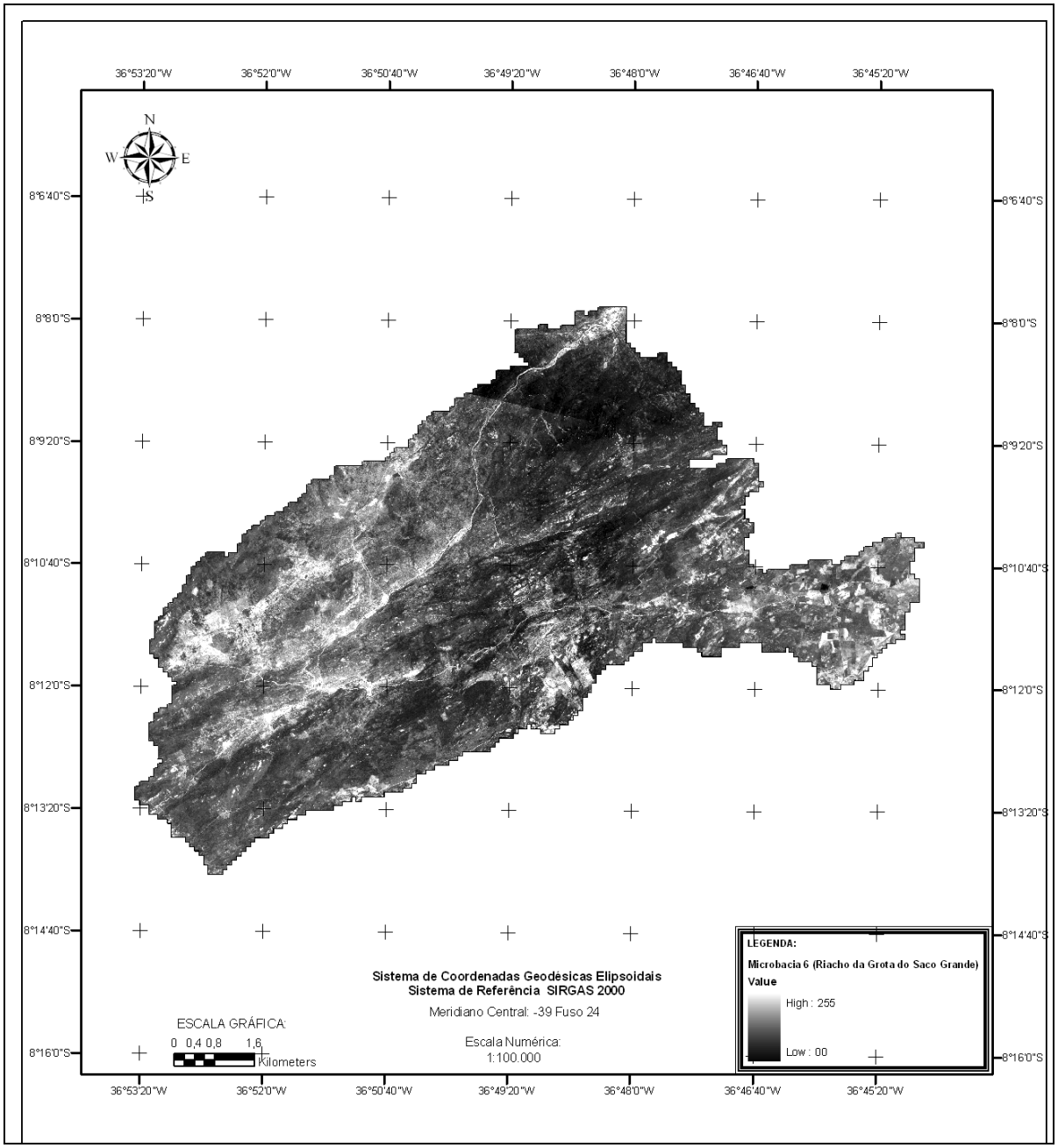


Figura 35: Imagem pancromática da microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande).

A faixa com alta umidade que abrange a área de mata de brejo de altitude ocupa quase 20% de toda a área da microbacia. Nessa região, a ocupação intensiva se dá em virtude do clima e também do acesso ao município pernambucano de Poções, importante centro de distribuição e escoamento de produção.

A diversidade de formações vegetais também impera nessa microbacia, uma vez que apresenta ambientes de Caatinga do tipo arbórea com porte elevado de árvores; em outras

partes, surge uma vegetação mais arbustiva e herbácea com predomínio de arvoretas. A Figura 52 evidencia essa realidade.

Na Figura 36 pode-se constatar que na porção mais ao sul existe uma Caatinga arbórea fechada (esquerda), e na porção sudoeste uma vegetação de Caatinga arbustiva aberta (direita).

Ponto 03: 733111 E m (E); 9090370 m (N)

Ponto 03: 736833 E m (E); 9096007 m (N)

Figura 36: Vista parcial das tipologias de Caatinga na microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande). Fonte: o autor.

Enfim, a diversidade de paisagens é marcante para toda a Sub-bacia, a qual tem uma heterogeneidade nas formações vegetais, que se acham distintas em função da altimetria que varia entre 500 e 1200 metros. A Sub-bacia é caracterizada, principalmente, por estar inserida na unidade geomorfológica classificada como Planalto da Borborema, com drenagem temporária e em um ambiente semiárido encravado na província do Bioma Caatinga.

5 – MATERIAL E MÉTODOS

Nesse capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados ao longo da pesquisa.

5.1 – Material

Foram utilizados nesse trabalho dados orbitais que foram adquiridos de forma secundária, ou seja, através de *sites* que possuem sistemas de catálogos de imagens em institutos de pesquisas e órgãos governamentais do Brasil e dos Estados Unidos.

As imagens pancromáticas foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obtidas através de um sistema de catálogo de imagens do Projeto de cooperação internacional CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), disponibilizadas no atendimento ao usuário (ATUS) do próprio Instituto no seguinte *site* (http://www.dgi.inpe.br/CDSR).

As imagens HRC solicitadas junto ao INPE contêm a seguinte identificação: exemplo: **CBERS_2B_HRC_20091201_148_E_109_3_L2_BAND1.tif**, cujos detalhes são:

20091201: ano/mês/dia da aquisição – 01 de dezembro de 2009;

148: órbita ou path (o mesmo da CCD equivalente);

E: sub-path E de uma CCD;

109: ponto ou row (o mesmo da CCD equivalente);

3: sub-row 1 de uma CCD;

L2: nível de processamento 2;

Band1: única banda da HRC (0,5 – 0,8 µm).

As imagens adquiridas são provenientes do satélite CBERS-2B, por meio da Câmera Pancromática de Alta Resolução HRC (*High Resolution Camera*) com resolução espacial de 2,5 metros, referentes às órbitas 147 A (pontos 109_3 e 109_4_L2) e 148 E (pontos 109_3 e 109_4_L2) (Figura 37.), com data de passagem de 17 de setembro de 2008 e 01 de dezembro de 2009, respectivamente, com cobertura de nuvens inferior a 10% para todas as cenas escolhidas.

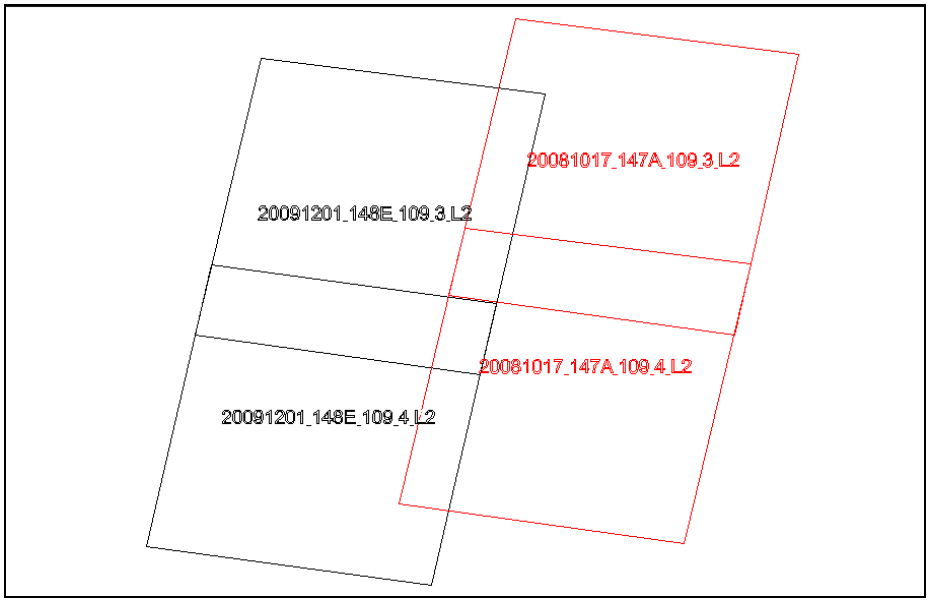


Figura 37: Grade de referência do Sistema CBERS-2B na Mesorregião da Borborema paraibana

Além dessas imagens, foram utilizadas também as imagens provenientes da missão topográfica do SRTM acoplado ao ônibus espacial *Endeavor*, com resolução de captura de 3 *arc-second-degree* e resolução espacial de 90 metros, cujas coordenadas geográficas são 8°19'32" e 7°48'28" de latitudes Sul e 37°07'33" e 36°31"48" de longitudes Oeste de Greenwich compiladas da rede mundial de computadores diretamente no *site* (http://seamless.usgs.gov) oficial do *U. S. Geological Survey (USGS*), Serviço Geológico dos Estados Unidos. As imagens SRTM foram utilizadas para delimitar a Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão e das suas seis subdivisões em microbacias.

A utilização dos termos Sub-bacia e microbacia, neste trabalho, estão ligadas às definições de Faustino (1996) e de Cecílio e Reis (2006), os quais estabelecem inúmeros critérios para delimitar e determinar uma rede de drenagem não só do ponto de vista de sua superfície total, mas também com a adoção de outros critérios, como os ecológicos e geomorfológicos.

5.1.1 – Hardware, Softwares e Equipamentos Utilizados

Os equipamentos e aplicativos utilizados no trabalho foram os seguintes:

i. - Notebook HP Pavilion dv4 – 1145br, HD 250 GB, 3.0 GB memória, Windows Vista 32 bits, Processador Intel Core 2 Duo;

ii. - Impressora a jato de tinta HP, modelo Deskjet F4480;

iii. - Software de processamento automático de Imagens e-Cognition Developer 8 Quickstart (32 bits), desenvolvido pela DEFINIENS;

iv. - Software SPRING 5.1.7 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo DPI/INPE, e seus Módulos IMPIMA -Leitura de Imagens - e SCARTA - confecção de cartas, (*software livre*);

v. - Software de quantificação ambiental *Fragstats* 3.3, desenvolvido por Kevin McGarigal e Barbara J. Marks, na Universidade "*Oregon State University"* dos EUA. (*software livre*);

vi. - Software ArcGIS (ArcInfo) 9.3, desenvolvido pela ESRI e licenciado para a Universidade Federal de Pernambuco;

vii. - Software ENVI 4.5 (*Environment for Visualizing Images*) licenciado para a Agência Executiva das Águas da Paraíba;

viii. - Receptor topográfico NAVSTAR-GPS modelo PROMARK 2 – que capta o sinal da onda portadora L1 (modulada pelo código C/A + mensagem GPS), desenvolvido pela ASCHTEC SOLUTIONS (patrimônio da Universidade Federal da Paraíba);

ix. - Software de processamento de dados NAVSTAR-GPS Project Manager, desenvolvido pela ASCHTEC SOLUTIONS 2.7 (patrimônio da Universidade Federal da Paraíba);

x. - Máquina fotográfica Cyber–shot (14.1 mega pixels) da marca Sony;

5.2 – Metodologia

De forma geral, para o desenvolvimento deste trabalho, os procedimentos metodológicos contemplaram as seguintes atividades: reconhecimento prévio; delimitação da área de estudos e atualização da rede de drenagem; aquisição dos dados; pré-processamento; aplicação de método de segmentação de imagens digitais; reconhecimento dos elementos espaciais pelo fotointérprete; elaboração da rede semântica e extração de atributos baseados na modelagem de conhecimento; classificação orientada ao objeto através de regras, como, por exemplo, a lógica fuzzy; definição e caracterização das classes; classificação e avaliação dos resultados (análise qualitativa e quantitativa); aplicação de métricas de paisagem; quantificação dos padrões espaciais da estrutura da paisagem; comparação com os dados da classificação da imagem de alta resolução; e a elaboração do diagnóstico final.

Enfim, a Figura 38 busca sintetizar os procedimentos metodológicos do trabalho e suas inter-relações.

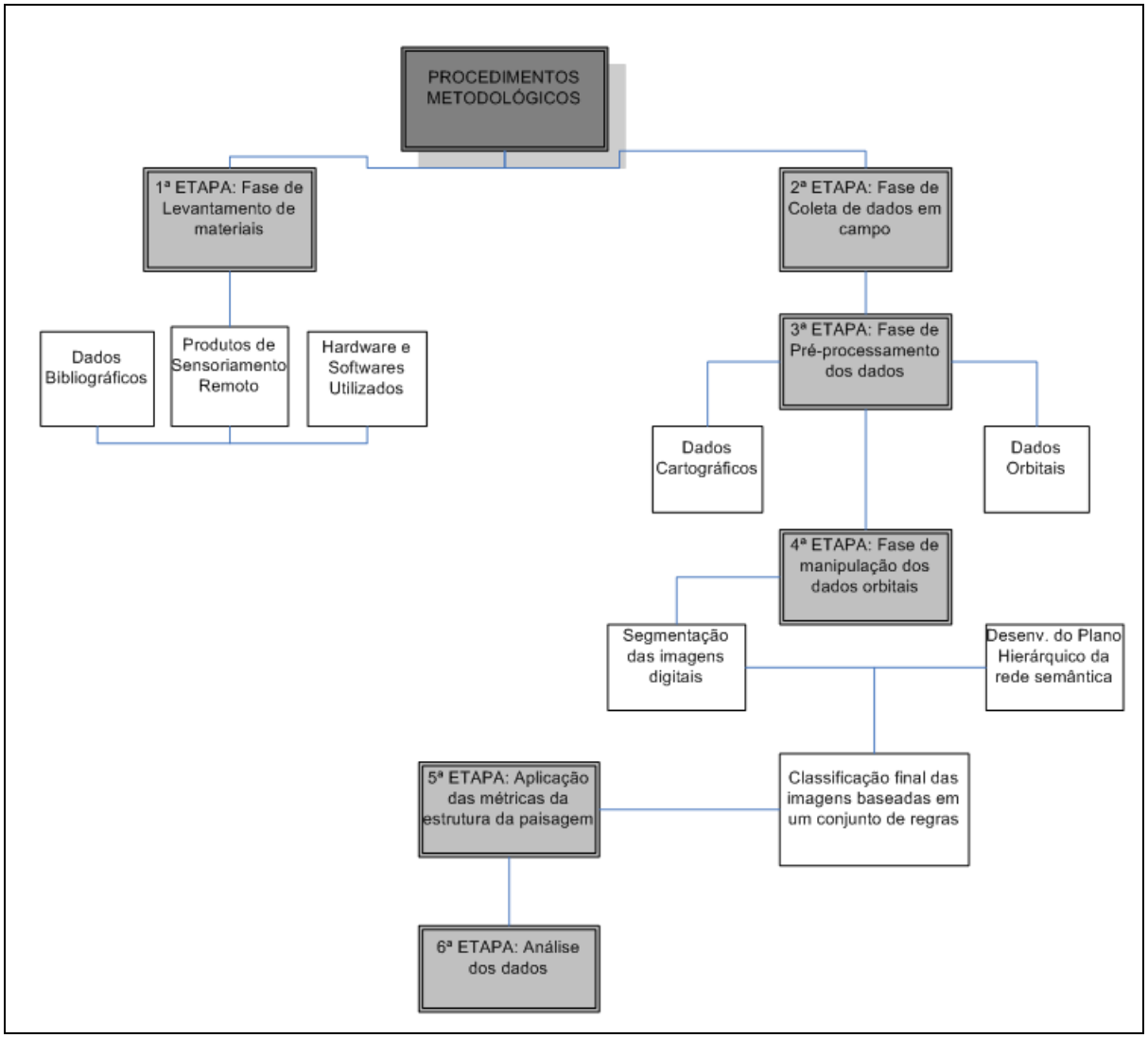


Figura 38: Esquema metodológico da pesquisa

Para compreender melhor o esquema metodológico apresentado na Figura 38, o trabalho se desenvolveu conforme a seguinte ordem:

1ª Etapa: Fase de levantamento de materiais e revisão e estudo da literatura atinente ao campo de estudo e ao objeto definido (Bibliográfico, Cartográfico, Temático e de Imagens Orbitais). Essa fase foi considerada suporte para as demais, pois a mesma envolveu investigação, organização e aquisição dos materiais necessários ao trabalho;

2ª Etapa: Fase de coleta de dados em campo utilizando instrumentos. Nessa fase foram realizados estudos de reconhecimento da área, o que possibilitou adquirir diversos dados espaciais através do uso de receptor NAVSTAR-GPS, máquina fotográfica e outras técnicas (coleta de amostras de solo, testes de infiltração de água no solo e medição da direção dos ventos) e instrumentos (trado, infiltrômetro e anemômetro digital);

3ª Etapa: Fase de Pré-processamento dos dados. Essa fase equivaleu à geração e criação da base de dados georreferenciada em formato digital, sendo caracterizada pela entrada e edição de dados espaciais provenientes das coletas de dados geodésicos realizadas em campo. Nessa fase, através do software de Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING versão 5.1.7), foi possível realizar o georreferenciamento das quatro cenas orbitais e a construção do mosaico final. Também foi confeccionada, nessa etapa, a partir das imagens SRTM e do aplicativo *ArcHydro Groundwater Tools* utilizado no software ArcGIS (ArcInfo versão 9.3), a delimitação da área da pesquisa, ou seja, da Sub-bacia do Riacho do Fundão, a geração das seis microbacias e a atualização da rede de drenagem local;

4ª Etapa: Fase de Segmentação e Classificação dos dados orbitais. Nessa fase aconteceram sucessivos testes de segmentação das imagens orbitais utilizando o software e-Cognition. As segmentações testadas levaram em consideração a modelagem de conhecimento orientada a objeto, na qual os padrões das cenas (cor, textura, métrica, dentre outros) e o conhecimento prévio do especialista tiveram papel decisivo na segmentação das imagens. Dessa forma, foi desenvolvido um plano hierárquico da rede semântica final. Nesse contexto, após as segmentações e a estruturação de classes (rede semântica), foi possível classificar as imagens das microbacias hidrográficas baseando-se em regras (forma, contexto, brilho e textura).

5ª Etapa: Aplicação das métricas da estrutura da paisagem "*Landscape Metrics*". Nessa fase foi realizada a seleção das métricas/índices de paisagem para quantificar a classificação espacial advinda do software e-Cognition. A imagem classificada foi convertida para o formato ASCII para em seguida ser importada para o software *Fragstats* (*Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps),* o qual quantificou a estrutura da paisagem das microbacias a partir das métricas selecionadas;

6ª Etapa: Análise de Dados. Fase de interpretação através da análise comparativa do material classificado no software e-Cognition e nas observações quantitativas do software *Fragstats*.

5.2.1 – 1ª Etapa: Fase de Levantamento de Materiais

Essa foi a primeira etapa deste trabalho e teve como objetivo levantar todo o material necessário ao desenvolvimento da mesma.

Devido à nova tendência mundial em que as diversas universidades, institutos de pesquisas e órgãos governamentais estão disponibilizando todo tipo de informação através da Internet, esta etapa visou, através da consulta em diversos domínios da rede de alcance mundial (WWW), com o auxílio dos motores de buscas nacionais e internacionais, à compilação de material básico para a formação dos pressupostos teórico/conceituais, para explicar e compreender os aspectos da realidade em estudo.

Nesse contexto foi feita uma pesquisa bibliográfica e documental começando pelas obras de caráter geral (catálogos, artigos, dissertações e periódicos) em bibliotecas e *sites*.

5.2.2 – 2ª Etapa: Fase de Coleta de Dados em Campo

Nesta etapa foram desenvolvidos a aquisição e o registro fotográfico de diversos pontos geográficos e de controle da Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão ou Santa Maria. A aquisição dos pontos de controle (geodésico) em campo foi efetuada tendo em vista as condições geomorfológicas e de infraestrutura rodoviária local, uma vez que as comunidades rurais são de difícil acesso, pois as estradas rurais não apresentam um bom estado de conservação. Dessa forma, o adensamento dos pontos de controle foi feito de maneira a suprir os grandes espaços territoriais que abrangem as quatro cenas orbitais que recobrem a área de estudo. O relevo movimentado na parte Nordeste da área de estudo também dificultou a aquisição de pontos de controle (geodésico).

Dessa forma, foram coletados – determinadas as coordenadas geodésicas – cerca de noventa e quatro pontos, os quais apresentaram desvio padrão médio de posicionamento horizontal da ordem de 0,64 centímetros, que atendeu os propósitos do registro da imagem o que está dentro dos padrões de resolução espacial de 2,5 metros da imagem HRC do sensor CBERS-2B.

As aquisições de dados geodésicos e fotográficos em campo foram realizadas em diferentes estações do ano, buscando a percepção das mudanças da paisagem na vegetação local, uma vez que as mudanças na pluviosidade, principalmente as de caráter estacional (estações do ano), ou seja, que vão da estação seca – na qual a vegetação

permanece sem folhas e acinzentada- até a estação chuvosa – em que a vegetação retoma suas características naturais e regenera-se novamente, tendo a floração imediata das árvores e arvoretas da caatinga.

Dessa forma, os trabalhos de campo foram realizados em setembro de 2010 (13 a 15), novembro de 2010 (12 a 16), janeiro de 2011 (20 a 22) e fevereiro de 2011 (25 a 27).

A aquisição das coordenadas geodésicas foi executada com receptor NAVSTAR-GPS Topográfico – marca MAGELLAN da empresa ASHTECH SOLUTION, modelo ProMark 2 de Frequência L1. Nos procedimentos de aquisição de dados, o modo de operação de rastreio escolhido foi o Estático, com taxa de gravação de 5 segundos para cada época, com o tempo de ocupação de cada ponto igual ou superior a sete minutos, dependendo das condições locais na hora do rastreio. A máscara de elevação ou ângulo de corte de elevação para o rastreio de sinal – horizonte mínimo de rastreamento – foi de quinze graus (15º) sobre a linha do horizonte, visando diminuir os efeitos da Ionosfera. Para alcançar uma melhoria na precisão, foram levadas em consideração algumas condições técnicas, como: PDOP máximo: < 5; Razão Sinal/Ruído mínima do sinal GPS : > 6; e Operação sempre no modo 3D.

Acoplada ao receptor, foi utilizada uma antena externa da ASHTECH SOLUTION, cuja altura vertical - 2,051 metros - foi configurada no receptor baseando-se no valor lido na escala do bastão mais o valor da altura da base da antena até o seu centro de fase.

5.2.3 – 3ª Etapa: Fase de Pós-processamento dos Dados

5.2.3.1– Dados Cartográficos

As coordenadas geodésicas oriundas da aquisição com receptor NAVSTAR-GPS Topográfico foram descarregadas no software de processamento de dados NAVSTAR-GPS Project Manager, desenvolvido pela ASCHTEC SOLUTIONS 2.7. Nesse software foram convertidos os dados brutos em formato nativo “ashtech B-files” para “RINEX Obs-files” e exportados para serem utilizados no Aplicativo do IBGE no seguinte endereço eletrônico http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm.

O Pós-Processamento foi efetuado através do Aplicativo de Processamento Posicionamento por Ponto Preciso desenvolvido *pela Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada* (*NRCan*) e utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estátistica

(IBGE) para correção e diluição de erros posicionais. Esse processamento foi feito por código. Dessa forma foram processados e corrigidos os arquivos levando-se em consideração as observáveis do sistema GPS, ou seja, a pseudodistância C/A e a fase de onda portadora L1, bem como as Efemérides Precisas/correções dos relógios dos satélites e os Modelos para fenômenos físicos. Esse aplicativo utiliza o Serviço *GNSS* Internacional que possui uma rede de 400 estações distribuídas pelo mundo, as quais são atualizadas constantemente.

5.2.3.2– Dados Orbitais

Os dados de sensoriamento remoto tiveram tratamentos diferenciados conforme sua resolução espacial, ou seja, cada uma obedecendo a um critério de exatidão cartográfica. Os softwares escolhidos também foram específicos para o tratamento e manipulação de cada imagem.

No Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING versão 5.1.7) foi possível realizar o georreferenciamento das quatro cenas orbitais e a construção do mosaico final das imagens oriundas do sensor HRC do satélite CBERS 2B.

A primeira etapa foi a construção de um banco de dados geográficos e a escolha do gerenciador do banco de dados (software que armazenou e gerenciou as informações contidas no banco de dados). Após, foi criada o banco de dados denominado BancoUFPE, gerenciado pelo Dbase. Dentro desse banco de dados foram armazenados todos os projetos, categorias e planos de informação utilizados na elaboração deste trabalho. Após a etapa de definição do banco de dados geográficos, foi necessária a criação de um projeto que determinou a área geográfica a qual foi preenchida pelos dados importados e/ou gerados pelo software.

Após a criação do banco de dados e do projeto, iniciaram-se os procedimentos de georreferenciamento (fase de registro) das quatro cenas orbitais e a construção do mosaico final a partir de pontos de controle coletados em campo.

Os procedimentos utilizados para a realização do registro foram:

1. Escolha dos pontos de controle que eram perfeitamente identificados nas imagens HRC;
2. Correção geométrica que permitiu a reorganização dos “pixels” da imagem em relação a um determinado sistema de coordenadas de referência. Essa etapa envolveu a definição dos quatro pontos da área de estudo (os cantos do projeto da

Sub-bacia), o que correspondeu à definição do tipo de projeção (UTM), o sistema de coordenadas (plano-retangulares), DATUM (SIRGAS 2000) e ao Meridiano central (39°);

3. Definição da correção de sistema e do processo de interpolação – vizinho mais próximo;
4. Definição do tipo de mapeamento, ou seja, do grau do polinômio (igual a 1).
5. Inserção dos pontos de controle.

Também foi possível identificar nessa etapa que as imagens não apresentavam resoluções espaciais efetivas, ou seja, não eram equiparáveis com a resolução espacial nominal de 2,50 metros como está definido no catálogo de imagens do CBERS 2B

Nesse contexto, a combinação de Pontos de Controle adquiridas em campo e georrefrenciadas no SPRING apresentaram como erro horizontal – dos pontos de controle –, para as imagens HRC do ano de 2009 (1) 1,84 metros e para 2009 (2) 1,82 metros. Para as demais imagens HRC, ou seja, 2008 (1) e 2008 (2), os erros foram 2,20 metros e 2,18 metros, respectivamente. Os erros estão abaixo do padrão da resolução espacial que, para as imagens HRC, são de 2,50 metros. A Figura 39 evidencia o mapa de localização dos pontos de controle coletados em campo com critérios de precisão.

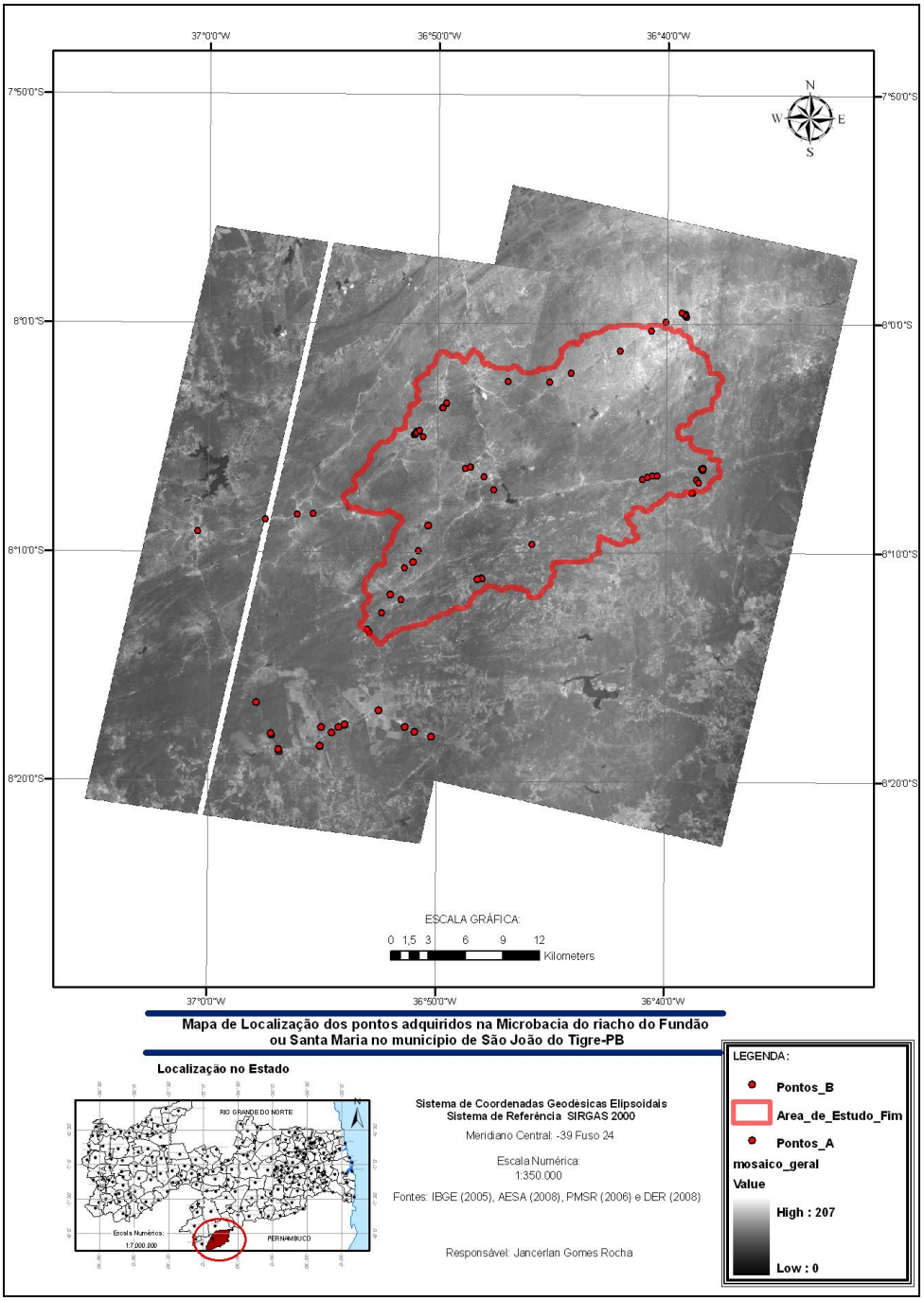


Figura 39: Mapa de localização dos pontos de controle.

A delimitação automática da Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão ou Santa Maria – área da pesquisa –, foi confeccionada a partir das imagens SRTM e do aplicativo *ArcHydro Groundwater Tools* utilizado no software ArcGIS (ArcInfo versão 9.3).

A etapa de extração automática da rede de drenagem foi executada com base no Modelo Digital de Elevação das imagens SRTM com utilização da ferramenta ArcHydro Tools.

A definição dos limites da Sub-bacia obedeceu aos seguintes procedimentos: 1) cálculo para preencher as depressões (*fill sinks*) do MNT, o qual determina a consistência da drenagem, eliminando possíveis áreas de sumidouros que ocasionam retenção de fluxo;

2) cálculo da direção de fluxo (*flow direction*);

3) obtenção da matriz com acumulação de fluxos (*flow accumulation*);

4) geração da rede de drenagem (*stream definition*), na qual é definido o tamanho mínimo de bacia hidrográfica através da indicação do número de células pelo usuário;

5) segmentação de rede de drenagem (*stream segmentation*);

6) delimitação da grade de mini-bacias (*catchment grid delineation*);

7) geração dos polígonos das minibacias (*catchment polygon processing*) através da conversão da grade para formato vetorial, obtendo os limites das minibacias na forma de vetor;

8) conversão da rede de drenagem na forma matricial em vetorial (*drainage line processing*);

9) definição do exutório da bacia (*batch point*);

10) delimitação da Sub-bacia (*batch watershed delineation*).

Nesse contexto, foi delimitada a área da pesquisa, ou seja, a Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão ou Santa Maria (Figura 40). Entretanto, logo após gerar o mosaico das 4 cenas que envolviam a Sub-bacia hidrográfica, cuja extensão territorial é de 458,03 Km ², foi identificado que as imagens pancromáticas obtidas pelo sensor HRC do satélite CBERS 2B apresentavam distinções referentes às resoluções espaciais efetivas, ou seja, não é compatível com a resolução espacial nominal de 2,5 metros .

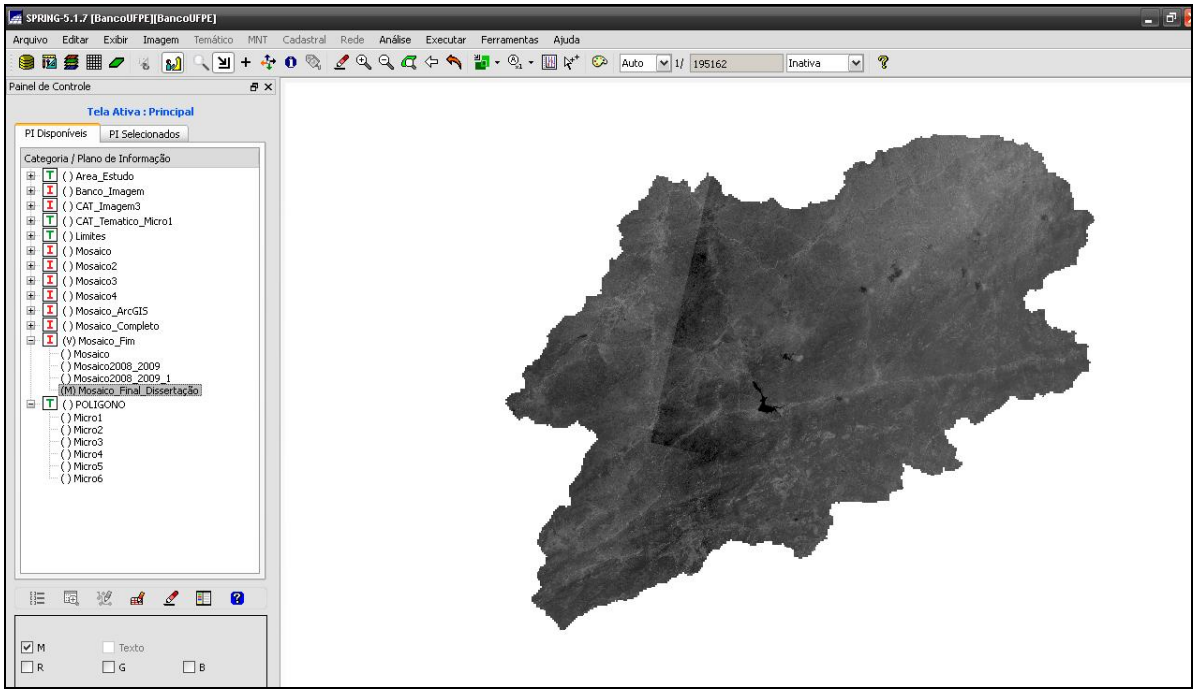


Figura 40: Banco de dados geoespacial do SPRING 5.1.7 evidenciando o mosaico da Sub-bacia do riacho do Fundão ou Santa Maria.

Além disso, problemas radiométricos das imagens como, por exemplo, o efeito de borramento na parte Sul da Sub-bacia, nas imagens de 2009, e a saturação (brancos) dos níveis de cinza dos *pixels* na parte Norte da Sub-bacia, obtida no ano de 2008, bem como as discrepâncias de brilho e contraste das imagens, possibilitaram, após o mosaico das 4 cenas, a geração de uma zona intermediária localizada no centro da Sub-bacia com valores de brilho e contraste altos que levam a crer tratar-se de saturação dos valores de nível de cinza da imagem. Os níveis de cinza estão bem diferentes da sua vizinhança: escuros (pretos) ou saturados (brancos) conforme demonstra a Figura 40 e a Figura 41.

Conforme Espindola et al. (2004), tais pontos saturados podem aparecer distribuídos aleatoriamente ou de forma sistemática (listras verticais e horizontais) e suas causas podem ser falhas nos detetores ou limitações do sistema eletrônico do sensor.

Além disso, conforme a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (2011), para o ano de 2008, a precipitação anual foi de 483,8 mm, e para o ano seguinte, ou seja, 2009, a precipitação foi de 867,3 mm, o que apresenta diferenças significativas para a cobertura vegetal local nos períodos em análise, pois tiveram balanços hídricos variados, o que pode ter colaborado para uma resposta espectral diferenciada para as duas datas.

A Figura 20 demonstra, após a realização do mosaico, discrepâncias de brilho e contraste ocorridas nas bordas das imagens HRC, para o ano de 2008.

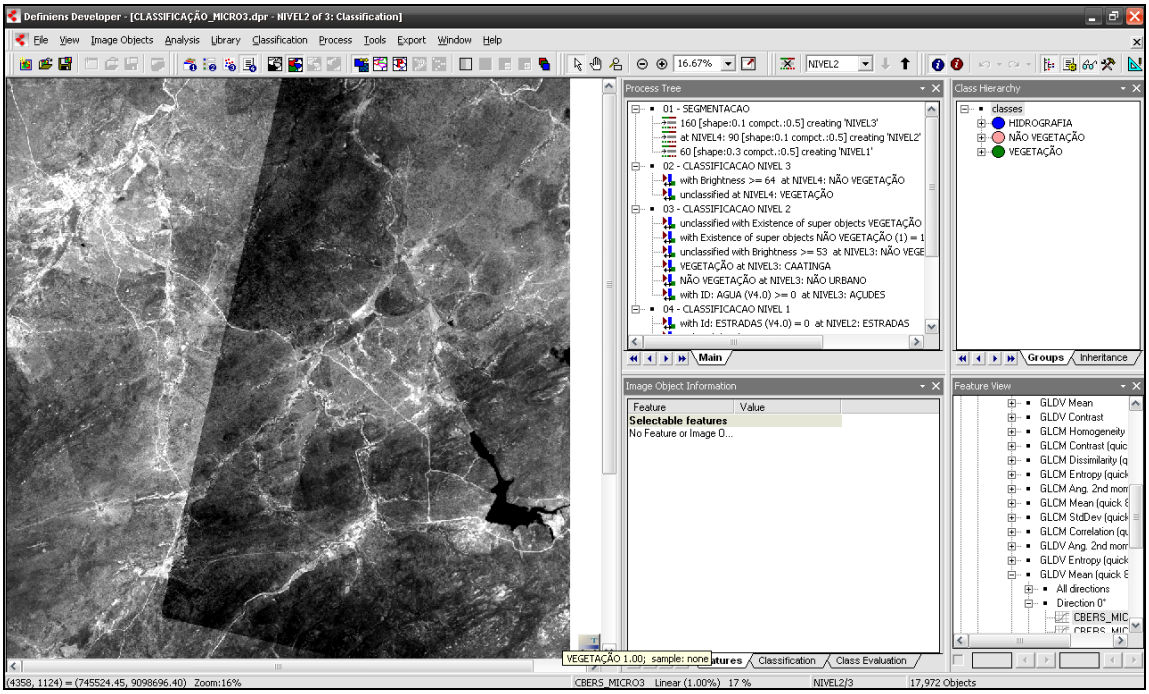


Figura 40: Banco de dados geoespacial do e-Cognition, evidenciando a saturação ocorrida após a realização do mosaico da Sub-bacia do Riacho do Fundão ou Santa Maria.

Após evidenciar que as discrepâncias nas resoluções espaciais, espectrais e radiométricas, o tamanho territorial e a diversidade ecológica e geomorfológica da Sub-bacia afetariam a classificação final orientada ao objeto, foi necessário subdividir a Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão em outras seis microbacias (Figura 42).

O Quadro 03 apresenta as dimensões territoriais e as nomenclaturas para as seis microbacias.

Quadro 03 – Definição das Microbacias hidrográficas da área de estudo

Microbacias	Área territorial	Nome da hidrografia
Micro 1	58,31 Km²	Rio do Tigre
Micro 2	7,40 Km²	Riacho do Fundão I
Micro 3	54,58 Km²	Riacho do Fundão II
Micro 4	150,90 Km²	Riacho Comprido
Micro 5	104,00 Km²	Riacho do Fundão III
Micro 6	82,86 Km²	Riacho da Grota do Saco Grande

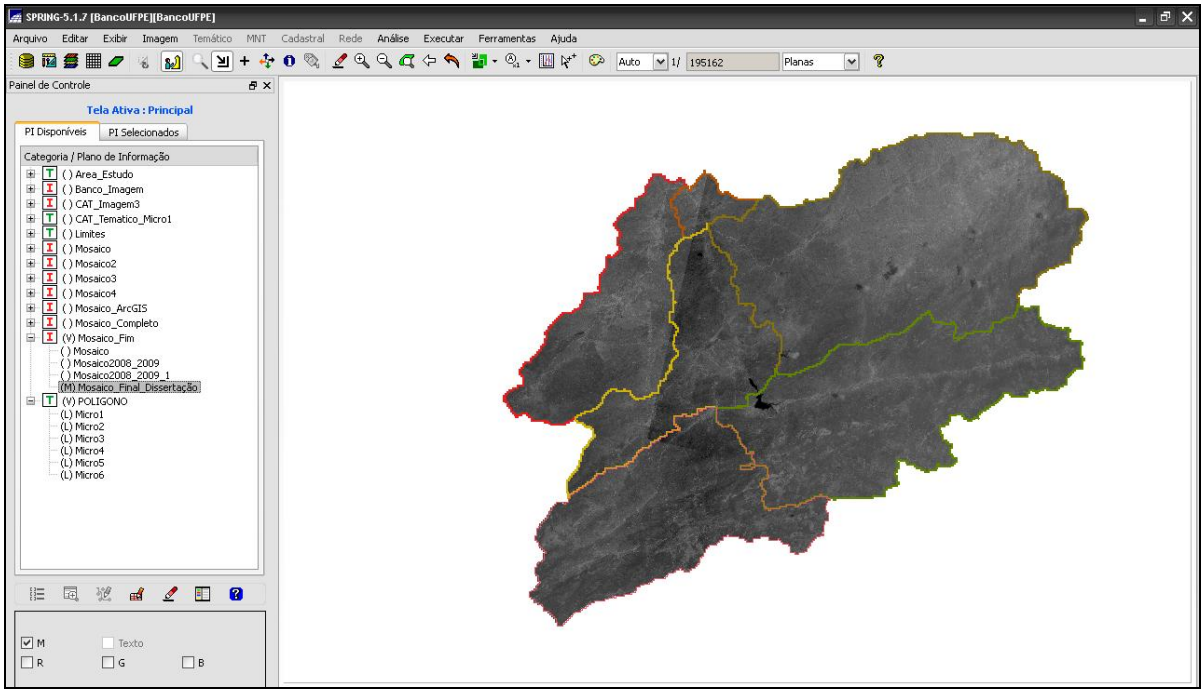


Figura 42: Banco de dados geoespacial do SPRING 5.1.7, evidenciando a delimitação em microbacias da Sub-bacia do Riacho do Fundão ou Santa Maria.

Essa nova subdivisão foi importante, separar espacialmente da Sub-bacia de forma mais real, proporcionando que paisagens tidas como mata de brejo e vegetação propriamente dita de caatinga fossem evidenciadas. O que facilitou a montagem das regras ou funções explícitas no e-Cognition. Se estivesse em uma única unidade geoespacial, a modelagem das regras não teria sido validada, uma vez que a área é grande, a paisagem é heterogênea demais devido aos deslocamentos de massa de ar que influenciam diretamente no solo e na cobertura vegetal, e a imagem é pancromática, o que não permite distinguir algumas feições espaciais pormenorizadamente.

5.3 – 4ª Etapa: Elaboração da Rede Hierárquica

Essa etapa foi essencial para todas as outras fases, uma vez que foi a mais demorada em virtude da tomada de decisão para montar o plano hierárquico da rede semântica e definir o tipo de classificação para a vegetação de caatinga, tendo como base os trabalhos de campo e a imagem pancromática do sensor HRC. O processo de montagem e estruturação das regras dentro do software de processamento automático de imagens

digitais e-Cognition, tendo como base a fotointerpretação das imagens e a experiência de campo, também contribuiu para o desenvolvimento dessa etapa.

Antes de iniciar a segmentação, criaram-se quatro níveis hierárquicos que foram desenvolvidos e adaptados às classificações morfoestrutural e fisionômicas de estudos sobre a caatinga brasileira.

Essa adaptação foi necessária devido ao grau de detalhamento da classificação morfoestrutural da caatinga. Dessa forma, a hierarquização desenvolvida com fins na classificação morfoestrutural – com vistas à estratificação tipológica – foi adaptada para facilitar a interpretação visual dos elementos geográficos das imagens orbitais, baseando-se no padrão de reflexão tonal e no delineamento das formas.

Essa adaptação foi essencial para a área de estudo e para o ambiente de caatinga local, pois a área de estudos está inserida em um ambiente atípico do semiárido, uma vez que contem uma vegetação de mata serrana com espécies nativas de brejo de altitude, ou seja, “ilhas” de floresta úmida que estão inseridas ou estabelecidas na região semiárida.

A base epistemológica necessária à construção de uma classificação para a área de estudo foram as obras de Dárdano de Andrade-Lima (ANDRADE-LIMA, 1981), que propôs um sistema de classificação para compreender a diversidade de ambientes e fisionomias da caatinga, a classificação oficial da vegetação brasileira (IBGE, 1991) e a descrição e avaliação de biomassa da vegetação de caatinga de Iede de Brito Chaves et al. (CHAVES et al., 2008).

A primeira hierarquização resultou em uma estrutura mais detalhada com quatro níveis de detalhes que partiam de um geral para um mais detalhado. Inicialmente foi desenvolvido o esquema conceitual do plano hierárquico da rede semântica, que representa a abstração de alto nível, dentro da estrutura de modelagem de dados. Esse esquema procurou obedecer à representação dos conceitos e características observadas no ambiente, além de considerar particularidades de implementação que levavam em consideração o processo da modelagem de conhecimento orientada a objeto.

Logo após, foram testadas algumas segmentações e geradas algumas classificações. O Quadro 04 demonstra a primeira hierarquização desenvolvida na pesquisa para a área de estudo.

O grau de detalhamento do Nível 1 (4° classificação) da primeira hierarquização – que teve como base a classificação orientada ao objeto para as imagens pancromáticas de alta resolução em ambiente de caatinga – gerou alguns problemas com relação aos alvos, uma vez que ocorreu uma mistura frequente dos níveis de cinza dificultando a interpretação

das feições, ou seja, para um determinado alvo específico numa determinada localidade, as regras desenvolvidas geravam resultados com diferenças internas na classe, o que não era compatível com a realidade de campo.

Quadro 04 – Primeira hierarquização desenvolvida para a Sub-bacia do Riacho do Fundão

1ª classificação de Nível 4 (1ª CLASSIFICAÇÃO)
VEGETAÇÃO
NÃO VEGETAÇÃO
2ª classificação de Nível 3 (2ª CLASSIFICAÇÃO)
VEGETAÇÃO
Mata de Brejo (acima de 850 metros)
Caatinga (abaixo de 850 metros)
NÃO VEGETAÇÃO
Nuvem
Sombra
Urbano (zona urbana e distritos)
Não Urbano (estradas, solo exposto e afloramentos)
Corpos d' água (açudes e riachos)
3ª classificação de Nível 2 (3ª CLASSIFICAÇÃO)
VEGETAÇÃO
Mata de Brejo (acima de 850 metros)
Caatinga (abaixo de 850 metros)
Caatinga Arbóreo
Caatinga Subarbóreo
Caatinga Arbustivo
NÃO VEGETAÇÃO
Nuvem
Sombra
Urbano (zona urbana e distritos)
Não Urbano
Afloramento rochoso
Solo Exposto
Área Agrícola (pastagem ou área em pousio e zona agrícola)
Estradas
Açudes
Rios e Riachos
4ª classificação de Nível 1 (4ª CLASSIFICAÇÃO)
VEGETAÇÃO
Mata de Brejo (acima de 850 metros)
Caatinga (abaixo de 850 metros)
Caatinga Arbóreo
Caatinga Arbóreo Muito Denso
Caatinga Arbóreo Denso
Caatinga Subarbóreo
Caatinga Subarbóreo Muito Denso
Caatinga Subarbóreo Denso
Caatinga Arbustivo
Caatinga Arbustivo Muito Denso
Caatinga Arbustivo Denso
Caatinga Arbustivo Aberta
Caatinga Arbustivo Rala
Caatinga Arbustivo Muito Rala

Após detectar essa problemática e após alguns testes, a hierarquização foi modificada e desenvolvida uma segunda hierarquização. Nessa segunda hierarquização, criaram-se três níveis que obedeceram aos mesmos critérios para a construção da primeira hierarquização, isto é, as classificações morfoestruturais e fisionômicas dos autores citados anteriormente. O Quadro 05 evidencia a segunda hierarquização, a qual foi utilizada de fato na classificação final das classes.

Quadro 05 – Segunda hierarquização desenvolvida para a Sub-bacia do riacho do Fundão

1ª classificação de Nível 3 (1ª CLASSIFICAÇÃO)
VEGETAÇÃO
NÃO VEGETAÇÃO
HIDROGRAFIA
2ª classificação de Nível 2 (2ª CLASSIFICAÇÃO)
VEGETAÇÃO
Mata de Brejo (acima de 850 metros)
Caatinga (abaixo de 850 metros)
NÃO VEGETAÇÃO
Nuvem
Sombra
Urbano (zona urbana e distritos)
Não Urbano (estradas, solo exposto e afloramentos)
HIDROGRAFIA
Açudes
Rios e Riachos
3ª classificação de Nível 1 (3ª CLASSIFICAÇÃO)
VEGETAÇÃO
Mata de Brejo (acima de 850 metros)
Caatinga (abaixo de 850 metros)
Caatinga Arbórea Fechada
Caatinga Arbórea Aberta
Caatinga Arbustiva Fechada
Caatinga Arbustiva Aberta
NÃO VEGETAÇÃO
Nuvem
Sombra
Urbano (zona urbana e distritos)
Não Urbano
Solo Exposto
Área Agrícola (pastagem ou área em pousio e zona agrícola)
Estradas
HIDROGRAFIA
Açudes
Rios e Riachos

6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos experimentos realizados. Na seção 6.1, é apresentado à segmentação das imagens. Na seção 6.2, tem-se a classificação das imagens com base na definição de atributos e regras de pertinência. E por fim, temos na seção 6.3 a aplicação das métricas de paisagem, bem como, as análises das mesmas para os níveis de classe e paisagem.

6.1 – Segmentação

Nesse contexto, após a estruturação de classes (rede semântica), iniciaram-se as segmentações finais que partiram do nível mais genérico (nível 3) até o mais detalhado (nível 1). No nível 3, os objetos apresentam um tamanho maior e em menor quantidade; a partir desse nível, os elementos ou feições espaciais vão sendo subdivididos em partes menores conforme os parâmetros da segmentação até chegar ao nível 1, no qual os objetos são menores e em maior quantidade. Basta salientar que as segmentações foram feitas por etapas para cada nível, ou seja, a imagem sofreu várias segmentações para cada nível hierárquico. O Quadro 06 evidencia a segmentação por nível de detalhe dos objetos.

Quadro 06: Parâmetros de escala, forma e compacidade aplicada para as microbacias hidrográficas segundo o nível de segmentação

Nível de Segmentação	**CBERS 2B (HRC)**
Nível 1	Escala: 60 Forma: 0.3 Compacidade: 0.5 N° de objetos: 30.105
Nível 2	Escala: 90 Forma: 0.1 Compacidade: 0.5 N° de objetos: 7.969
Nível 3	Escala: 160 Forma: 0.1 Compacidade: 0.5 N° de objetos: 2.488

As segmentações desenvolvidas no e-Cognition tiveram como base a implementação de uma abordagem de segmentação multiresolução, em que foi utilizado o algoritmo *Multiresolution Segmentation*, o qual utiliza-se de parâmetros de *scale* (escala), *shape factor*

(forma) e *compactness* (compacidade) para criar objetos maiores ou menores, mais homogêneos ou menos homogêneos, bem como suavizamos ou não. A Figura 43 apresenta as segmentações realizadas.

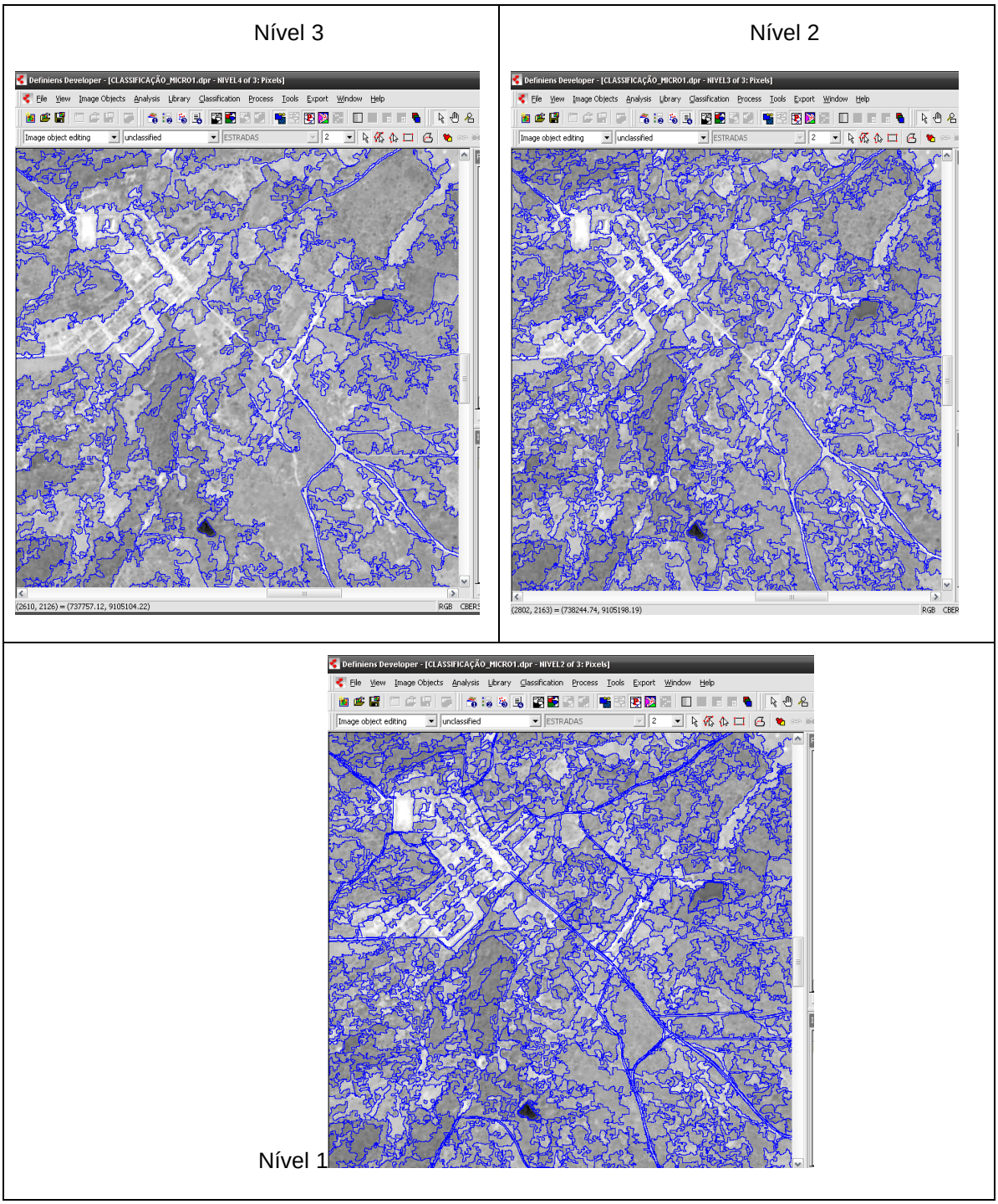


Figura 43: Segmentações realizadas no *e-Cognition* para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

6.2 – Classificação das imagens orbitais

Depois de obtida a segmentação, foi efetuada a classificação hierárquica orientada a objetos - fruto do conhecimento estruturado pelo especialista numa rede semântica -, que culminou com a imagem classificada.

A classificação obedeceu à estruturação de classes (rede semântica) desenvolvida para criar uma relação de dependência das classes e superclasses.

Desse modo, foi possível classificar as imagens das microbacias hidrográficas baseando-se em regras complexas que manipulam as características espectrais e as relações espaciais (forma, contexto, brilho, textura, dentre outros) para evidenciar melhor os alvos que caracterizavam cada classe e superclasse da estrutura hierárquica. Essas regras complexas ou condições impostas para validar as classificações hierárquicas foram distintas para todas as seis microbacias. Nesse sentido a Figura 44 demonstra as regras desenvolvidas e aplicadas para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

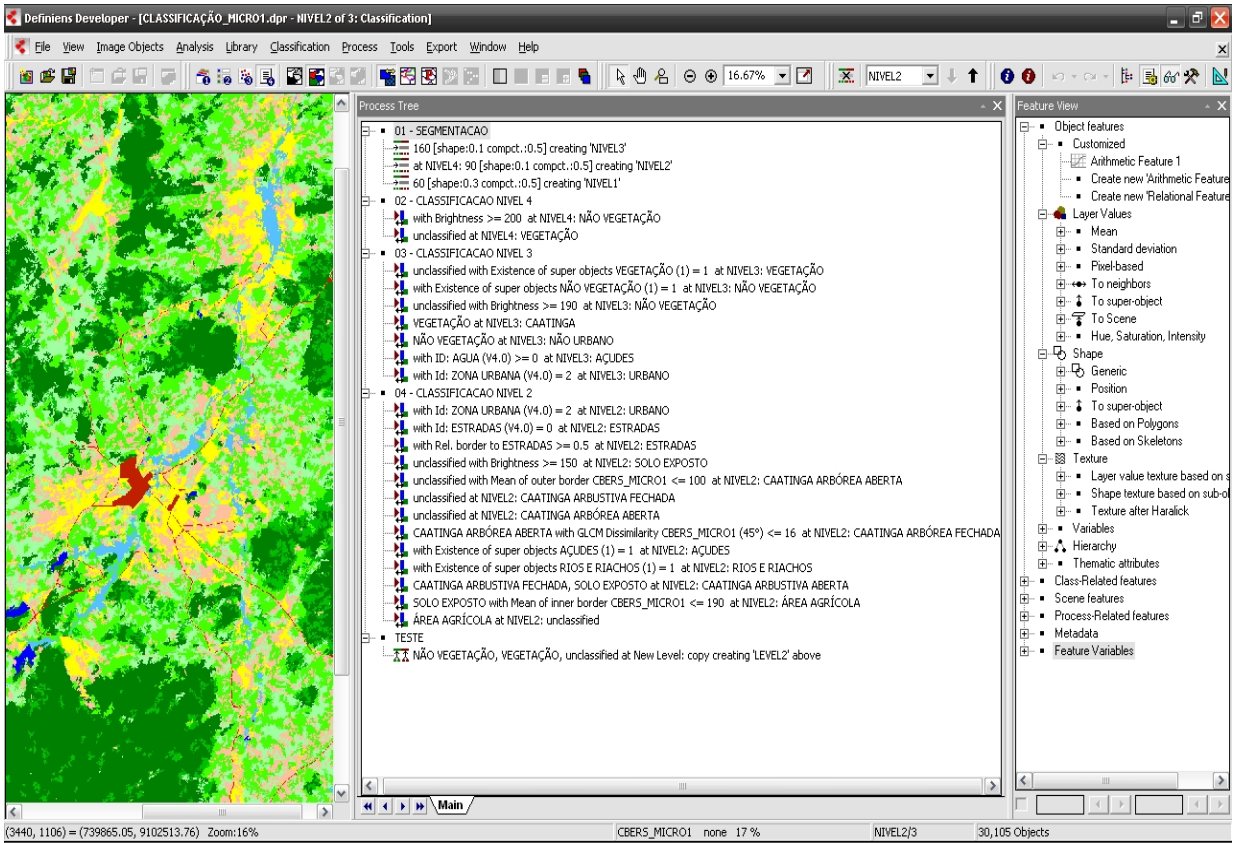


Figura 44: Regras desenvolvidas no *e-Cognition* para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

Após a criação das regras, obteve-se a classificação final do uso do solo para cada microbacia hidrográfica. A Figura 45 demonstra o resultado final da classificação do uso do solo para a microbacia 1 (Rio do Tigre), bem como a estrutura da rede semântica criada a partir das regras no *software* e-Cognition.

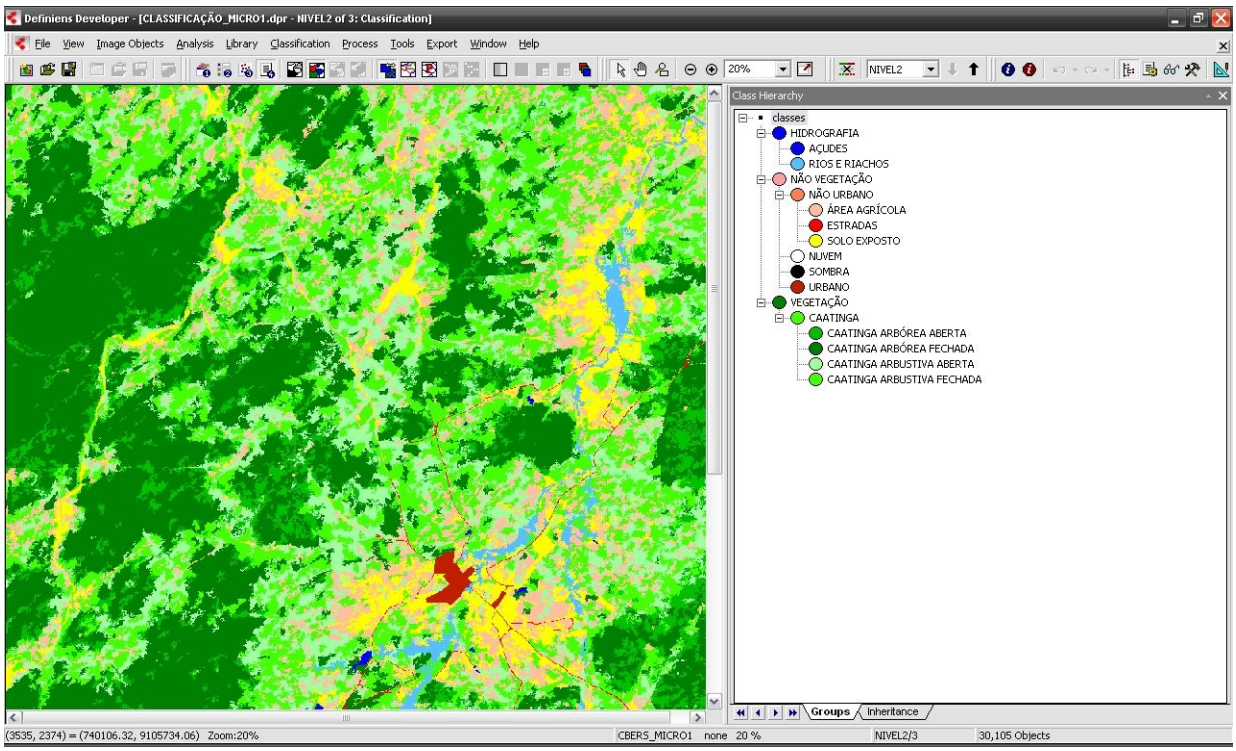


Figura 45: Rede semântica para a classificação do uso do solo desenvolvida no *e-Cognition* para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

Em cada microbacia foram feitas pequenas revisões nas classificações geradas – a partir das regras desenvolvidas no e-Cognition – nas seis microbacias com o intuito de eliminar pequenos alvos internos que foram classificados como sendo de outras classes, e na realidade do campo pertencente à mesma classe que a envolve. Essas pequenas confusões foram geradas porque as seis microbacias são totalmente heterogêneas do ponto de vista geológico, geomorfológico e biogeográfico. Sendo assim, as regras foram desenvolvidas para buscar uma resposta mais próxima da realidade do campo, por isso que algumas intervenções manuais foram aplicadas.

Ocorreram intervenções manuais principalmente para a delimitação da rede de drenagem, pois os rios são de caráter temporário, o que significa que estão sempre secos durante boa parte do ano. Além disso, a região próxima ou dentro do próprio rio ou riacho é utilizada para práticas de pecuária e de agricultura conforme a época do ano, o que, por sua

vez, condiciona os alvos a serem confundidos com área agrícola e solo exposto – devido à cor extremamente branca da areia.

As principais modificações de intervenção manual ocorreram nas microbacias três (Riacho do Fundão II), quatro (Riacho Comprido), cinco (Riacho do Fundão III) e seis (Riacho da Grota do Saco Grande). Na microbacia três (Riacho do Fundão II) ocorreu uma discrepância de brilho e contraste no mosaico conforme evidencia a Figura 20**.**

No que diz respeito à microbacia quatro (Riacho Comprido), a intervenção também foi mínima, e em pontos aleatórios, em virtude da saturação – para o branco dos pixels –, principalmente gerando confusão entre as classes de área agrícola e de solo exposto na parte Norte. Também foram feitas intervenções na parte Sul, devido ao limite entre a mata de brejo e a vegetação de caatinga. Basta salientar que a classe de mata de brejo é uma formação vegetal que se desenvolveu devido à altitude e das massas de ar úmidas advindas do Estado de Pernambuco. Nessa faixa territorial existe um contraste de uma flora que reúne tanto características da mata atlântica quanto da caatinga, contrastando com as áreas circundantes que possuem condições climáticas mais secas.

Já nas microbacias cinco (Riacho do Fundão III) e seis (Riacho da Grota do Saco Grande), a intervenção foi também em relação ao limiar territorial das classes de uso do solo, mata de brejo e vegetação de caatinga.

As classificações foram feitas através da combinação das regras existentes. Com as classificações foi possível mensurar e quantificar as classes de uso do solo para as seis microbacias, e diagnosticar, através de um comparativo descritivo, como está o comportamento atual das mesmas em relação às ações antrópicas, desencadeadoras dos processos de degradação ambiental.

Sendo assim, concluída a parte de classificações finais, os dados gerados foram exportadas do software e-Cognition para o formato de arquivo *Shapefile* (*shp), *Erdas Imagine Image* (*.img) e *Esri ASCII Grid files* (*.asc).

Os arquivos em *shapefile* (*shp) foram exportados por níveis, ou seja, individualizados para cada classe para facilitar a quantificação espacial dos atributos espaciais no ArcGis (ArcInfo versão 9.3).

A análise das classificações foi feita isoladamente para cada microbacia hidrográfica, uma vez que os mesmos critérios de escala foram adotados para as análises quantitativas da estrutura da paisagem, através dos fragmentos, das classes e da paisagem.

Para a microbacia 1 (Rio do Tigre), a vegetação de Caatinga Arbórea Fechada apresenta-se bem conservada, principalmente na porção sul, atingindo uma área de 21,58

Km² ou 2.158,00 hectares, correspondendo a 37% de toda a área da microbacia 1. Aliás, essa microbacia é a que obtém, dentre todas as áreas analisadas, o lugar de destaque no que diz respeito à conservação da vegetação nativa lenhosa de porte arbóreo, o que foge da tendência de grande parte dos municípios da Mesorregião da Borborema, uma vez que a tendência é a redução da vegetação de porte arbóreo, em consequência do desmatamento.

Conforme os dados obtidos através das classificações realizadas no e-Cognition foi possível mensurar que as áreas de vegetação nativa lenhosa, ou seja, todas as tipologias florestais de Caatinga trabalhadas nesta pesquisa, equivalem a aproximadamente 77% para toda essa microbacia (Rio do Tigre), ou seja, cerca de 44,90 Km² ou 4.490,1 hectares.

Após a classificação é possível visualizar que a ocupação agrícola ocorre nas cercanias das estradas municipais e nas várzeas dos rios, ou seja, nas áreas de preservação permanente, que em grande parte estão totalmente descaracterizadas (ver Figura 46).

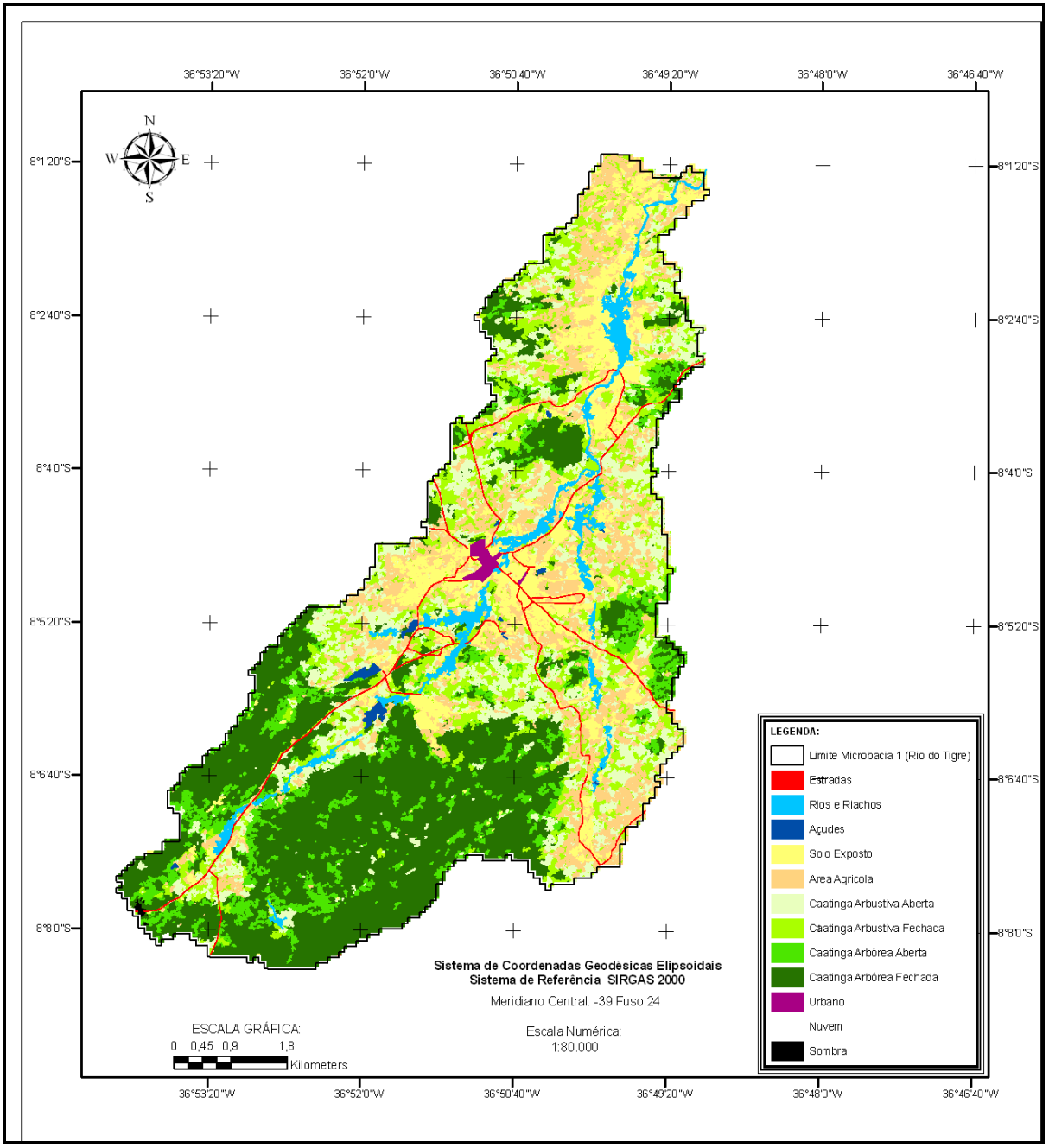


Figura 46: Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 1 (Rio do Tigre).

A Figura 46 mostra a classificação final para a microbacia 1 (Rio do Tigre). A quantidade de fragmentos conforme demonstra a Tabela 01, enfatiza uma área que está sendo fragmentada constantemente através do uso do solo. O terreno nesse setor é de superfície plana com poucas ondulações. Já na parte mais ao Sul, o relevo se torna mais

ondulado devido às Serras do Cascudo e Santo André, e o acesso é difícil; em virtude disso, existe uma maior concentração de vegetação de porte arbóreo.

Em complementação ao mapa de uso do solo, a Tabela 01 mostra as áreas quantificadas a partir da classificação final.

Tabela 01 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

Classe	N° de objetos gerados por classe da legenda	Área (Km²)	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área agrícola	1597	7,200	720,00	12,35
Açudes	221	0,173	17,30	0,30
Caatinga Arbustiva Aberta	1884	7,677	767,70	13,16
Caatinga Arbustiva Fechada	1843	11,864	1186,40	20,34
Caatinga Arbórea Aberta	1015	3,780	378,00	6,48
Caatinga Arbórea Fechada	3145	21,580	2158,00	37,00
Estradas	7031	0,310	31,00	0,54
Nuvem	3	0,011	0,01	0,02
Rios e Riachos	313	1,328	133,00	2,27
Solo Exposto	1314	4,092	409,20	7,02
Sombra	19	0,041	4,10	0,07
Urbano	155	0,230	23,00	0,40
Total	**18540**	**58,279**	**5827,71**	**100**

Em grande parte da microbacia, as áreas agrícolas sempre estão ligadas ou intercaladas espacialmente com a classe solo exposto ou capoeira, o que pode ser justificado, uma vez que nas regiões semiáridas os pequenos agricultores utilizam-se de técnicas rudimentares, como a prática da “coivara” e do desmatamento da vegetação para a criação de novas áreas de cultivo.

Nesse contexto, no período de estiagem, que se estende por cerca de oito meses, essas áreas se tornam ociosas, permitindo que a vegetação posteriormente, com a chegada das chuvas, re-estabeleça a sua autorrecuperação (regeneração da cobertura vegetal).

Sendo assim, a re-estruturação da vegetação ocorre devido à matéria orgânica que vai sendo depositada no solo ao longo do período de descanso, bem como a partir das sementes existentes no solo ou trazidas pelo vento e animais. Essa prática é conhecida como “pousio” e isso condiciona o crescimento da vegetação secundária ou a formação de capoeiras.

Enfim, áreas em pousio foram computadas para a classe de solo exposto apenas para essa microbacia. A diferenciação destas áreas – solo exposto, área agrícola e áreas em pousio – em uma imagem pacromática, através de uma classificação orientada ao objeto, torna-se complicada, uma vez que as áreas de pousio apresentaram características com formas, textura, brilho e contraste quase idênticas em relação às outras classes.

Na microbacia 2 (Riacho do Fundão I) a vegetação nativa lenhosa possui cerca de 79% de área. Apesar de ser a menor área das seis microbacias, a mesma, proporcionalmente às suas dimensões territoriais, encontra-se em terceiro lugar no ranking das microbacias que possuem as maiores áreas agrícolas, ou seja, possui 15,39% de suas terras destinadas a culturas e 2,95% para a classe solo exposto. A Tabela 02 demonstra a ocupação do solo em valores para essa microbacia hidrográfica.

Tabela 02 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 2 (Riacho do Fundão II).

Classe	N° de objetos gerados por classe da legenda	Área (Km²)	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área agrícola	59	1,140	114,00	15,39
Açudes	0	0	0	0
Caatinga Arbustiva Aberta	77	1,117	111,70	15,08
Caatinga Arbustiva Fechada	199	3,208	320,80	43,32
Caatinga Arbórea Aberta	68	1,350	135,00	18,23
Caatinga Arbórea Fechada	11	0,183	18,30	2,47
Estradas	398	0,031	3,10	0,41
Nuvem	0	0	0	0
Rios e Riachos	17	0,126	12,60	1,62
Solo Exposto	36	0,219	21,90	2,95
Sombra	1	0,009	0,90	0,12
Urbano	0	0	0	0
Total	**866**	**7,383**	**738,3**	**100**

A ocupação, como em outras microbacias, se dá em áreas de preservação permanente, ou seja, nas várzeas dos rios e riachos ou próximas às estradas.

As áreas agrícolas na Sub-bacia do riacho do Fundão próximas às estradas acontece em virtude de grande parte das áreas serem acidentadas, ou seja, o relevo apresenta uma declividade alta, assim como o acesso que se torna mais difícil.

Na porção Noroeste (ver Figura 47), nas proximidades das áreas agrícolas encontra-se uma vegetação secundária totalmente descaracterizada, ou seja, trata-se de uma formação de capoeiras (formação secundária arbustiva) associada às espécies herbáceas através da presença do capim panasco. Isso demonstra que a área foi utilizada anteriormente para a formação de plantios e roçados ou desmatada para outro fim.

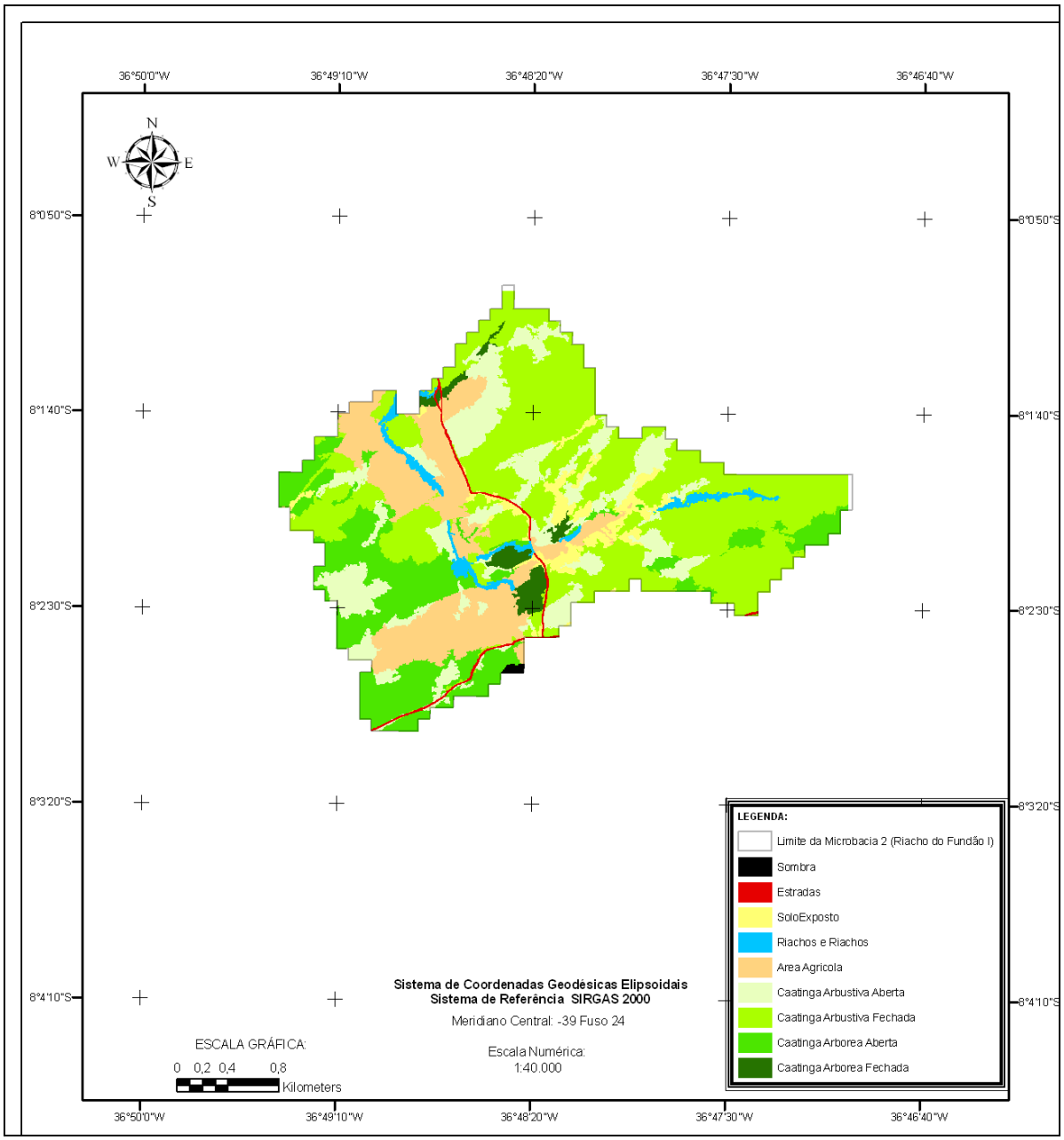


Figura 47: Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 2 (Riacho do Fundão I).

A microbacia 3 (Riacho do Fundão II) pode ser considerada como sendo uma área de transição entre o complexo de Serras – Serra do Tabaqueiro, Serra do Pesa e Serra Santo André – e a parte mais plana nas proximidades da sede municipal. Essa área apresenta vegetação do tipo arbustiva (arvoreta) e herbácea, além de capoeiras (formação secundária arbustiva). Em grande parte dessa área a vegetação encontra-se em estágios de regeneração – inicial, intermediária ou avançada. Neste trabalho não foi possível distinguir, de forma mais clara, esses estágios sucessionais devido à imagem ser pancromática e ter sido obtida em épocas distintas, assim como as diferenças de brilho, contraste e saturação após a geração do mosaico final (ver Figura 41, p. 85).

A vegetação nessa região é a xerófila de fisionomia e florística variada, com estrato arbustivo e herbáceo estacional, e adaptada à carência hídrica, aos afloramentos de rochas e aos terrenos praticamente desprovidos de solo. A Figura 48 mostra o mapa de uso do solo para a microbacia 3 (Riacho do Fundão II).

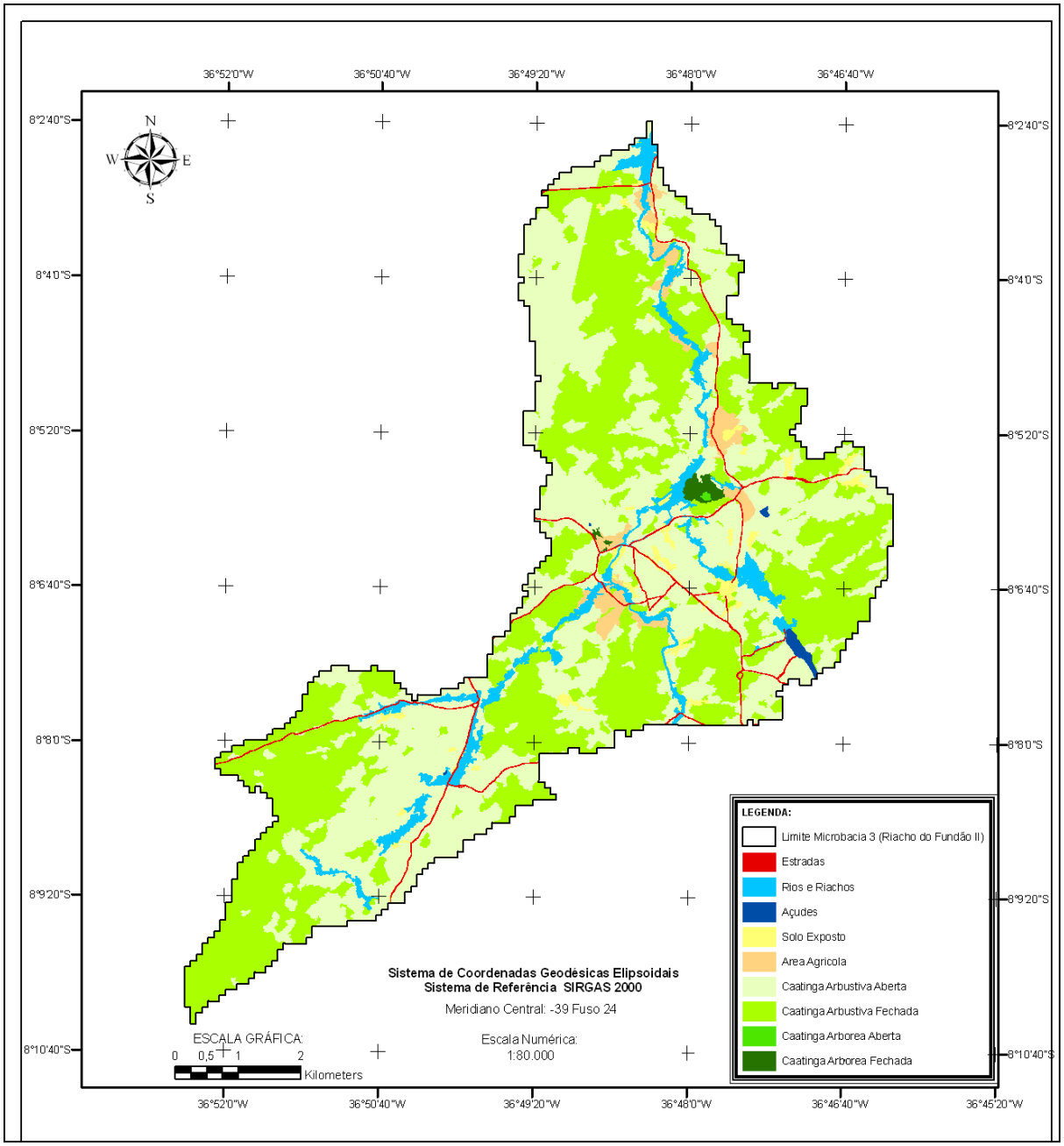


Figura 48: Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 3 (Riacho do Fundão II).

Na Figura 48 pode-se observar que em grande parte do mapa as tipologias de Caatinga que predominam são Arbustiva Aberta e Fechada. As áreas agrícolas ocupam poucos setores dos rios, uma vez que parte dos meandros possuem afloramentos rochosos em suas margens.

As vegetações de Caatinga Arbustiva Aberta e Fechada ocupam cerca de 91,5% de toda a área da microbacia, o que demonstra uma área com vegetação de baixo porte. Se

comparadas às outras cinco microbacias em termos de proporcionalidade, as vegetações de Caatinga Arbustiva Aberta e Fechada ocupam respectivamente, os primeiros lugares, ou seja, ambas possuem 43,97% e 47,58% da área como demonstra a Tabela 03.

Tabela 03 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 3 (Riacho do Fundão III).

Classe	N° de objetos gerados por classe da legenda	Área (Km²)	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área agrícola	47	1,152	115,20	2,11
Açudes	10	0,126	12,60	0,23
Caatinga Arbustiva Aberta	1138	24,000	2400,00	43,97
Caatinga Arbustiva Fechada	1065	25,974	2597,40	47,58
Caatinga Arbórea Aberta	1	0,011	1,10	0,02
Caatinga Arbórea Fechada	10	0,261	26,10	0,47
Estradas	3512	0,288	28,80	0,52
Nuvem	0	0	0	0
Rios e Riachos	428	2,095	209,50	3,83
Solo Exposto	116	0,671	67,10	1,22
Sombra	0	0	0	0
Urbano	0	0	0	0
Total	**6327**	**54,578**	**5457,8**	**100**

Ao analisar a Figura 48, percebe-se que o tipo de Caatinga Arbustiva Aberta, que compreende as áreas com vegetação lenhosa, onde o estrato dominante é o arbustivo, possui um porte inferior a 1,5 metros, sendo intercalada por indivíduos arbóreos esparsos. A recuperação dessa área é de vital importância, uma vez que a condição de recobrimento vegetal, devido ao espaçamento entre as espécies, pode favorecer o surgimento de áreas com erosão, graças à exposição dos solos às intempéries.

Na microbacia 4 (Riacho Comprido), a existência de 14,228 Km² ou 1.422,80 hectares da classe de solo exposto foi devido à saturação (brancos) dos níveis de cinza dos *pixels* na parte nor-nordeste da microbacia, através das discrepâncias de brilho e contraste. Isso aconteceu devido à problemática espectral, baixa resolução radiométrica (8 *bits*) e falta de bandas multiespectrais para delimitar melhor essas áreas. A intensidade exagerada de brilho e contraste possibilitaram para esse setor a associação de áreas como: capoeiras ou em fase de recuperação, recém cultivados ou em pousio, áreas degradadas ou desmatadas,

e em menor número afloramentos rochosos. A área da classe de solo exposto comparado proporcionalmente com as outras microbacias é a maior, com cerca de 9,5%.

A Tabela 04 evidencia melhor os quantitativos de áreas para essa microbacia.

Tabela 04 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 4 (Riacho Comprido).

Classe	N° de objetos gerados por classe da legenda	Área (Km²)	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área agrícola	124	2,734	273,40	1,81
Açudes	24	0,028	2,80	0,01
Caatinga Arbustiva Aberta	2335	43,381	4338,10	28,74
Caatinga Arbustiva Fechada	2151	55,044	5504,40	36,47
Caatinga Arbórea Aberta	133	3,575	357,50	2,36
Caatinga Arbórea Fechada	1068	25,917	2591,70	17,17
Estradas	7039	0,527	52,70	0,34
Nuvem	54	0,818	81,80	0,54
Rios e Riachos	138	1,565	156,50	1,03
Solo Exposto	1290	14,228	1422,80	9,42
Sombra	50	0,793	79,30	0,52
Urbano	0	0	0	0
Mata de Brejo	88	2,245	224,50	1,48
Total	**14494**	**150,855**	**15085,50**	**100**

A proporção da vegetação de Caatinga arbórea é de aproximadamente 19,53%, a qual está localizada em grande parte nas bordas das serras, principalmente as que se encontram próximas à faixa de umidade das Serras do Sul da microbacia.

A vegetação de Caatinga Arbustiva Aberta perfaz um total de 28,74%, ou seja, 43,38 Km² e é um delimitador natural entre a Serra da Roncadeira – parte sul e central – com os vilarejos de Angico e Aroeiras, localizados próximos à estrada municipal não pavimentada que liga o distrito de Cacimbinhas – nor-nordeste – à sede municipal – oés-sudoeste.

A existência da mata de brejo de altitude nessa microbacia, especificamente na porção su-sudeste é fruto do complexo de Serras e do microclima local, o qual é fruto da umidade proporcionada pela altimetria das Serras Residuais e dos ventos advindos do Estado de Pernambuco. A área é de 224,50 hectares ou 2,245 Km², o que equivale a 1,48% da área total da microbacia.

A Figura 49 evidencia o mapa de uso do solo para essa microbacia. Nesse pode-se observar que as áreas agrícolas não estão concentradas nas várzeas dos rios ou riachos de leito pedregoso, pois nessa região o solo é bastante pedregoso e raso, assim como os cursos d'água possuem um canal estreito.

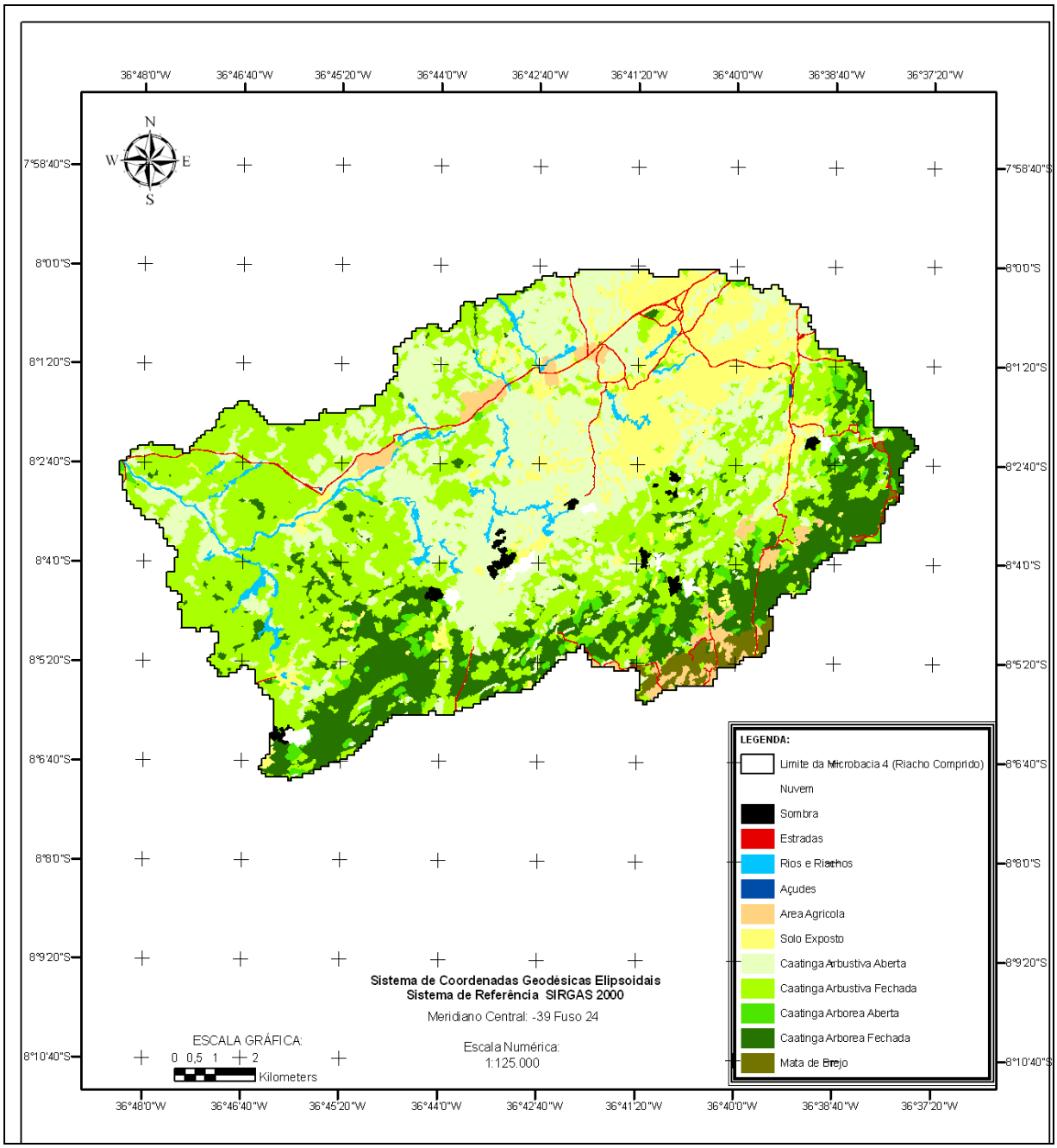


Figura 49: Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 4 (Riacho Comprido).

A microbacia 5 (Riacho do Fundão III) é composta por um complexo de serras nas porções norte – Serra do Pesa e Serra do Paulo – e sul – Serra do Tabaqueiro e Serra da Serraria – e um vale intra-montano. Nesses maciços residuais encontram-se porções de mata de brejo de altitude denominadas de montanas – acima de 700 metros – e sub-montanas – abaixo de 700 metros, as quais são compostas por vegetação típica de mata atlântica nordestina, que atualmente está sendo degradada aos poucos, sendo substituída por áreas agrícolas, principalmente na divisa com Pernambuco. Essa degradação é provocada por ações antrópicas, através da derrubada da floresta nativa para a ampliação dos campos agrícolas ou para o desenvolvimento da pecuária.

A mata de brejo de altitude nessa microbacia é maior em porcentagem e área se comparada com as outras cinco microbacias, ou seja, possuí 15,24 Km² ou 1.524 hectares, o que corresponde a 14,65%.

Nesse contexto pode-se observar na Figura 50 o uso e ocupação do solo nessa microbacia.

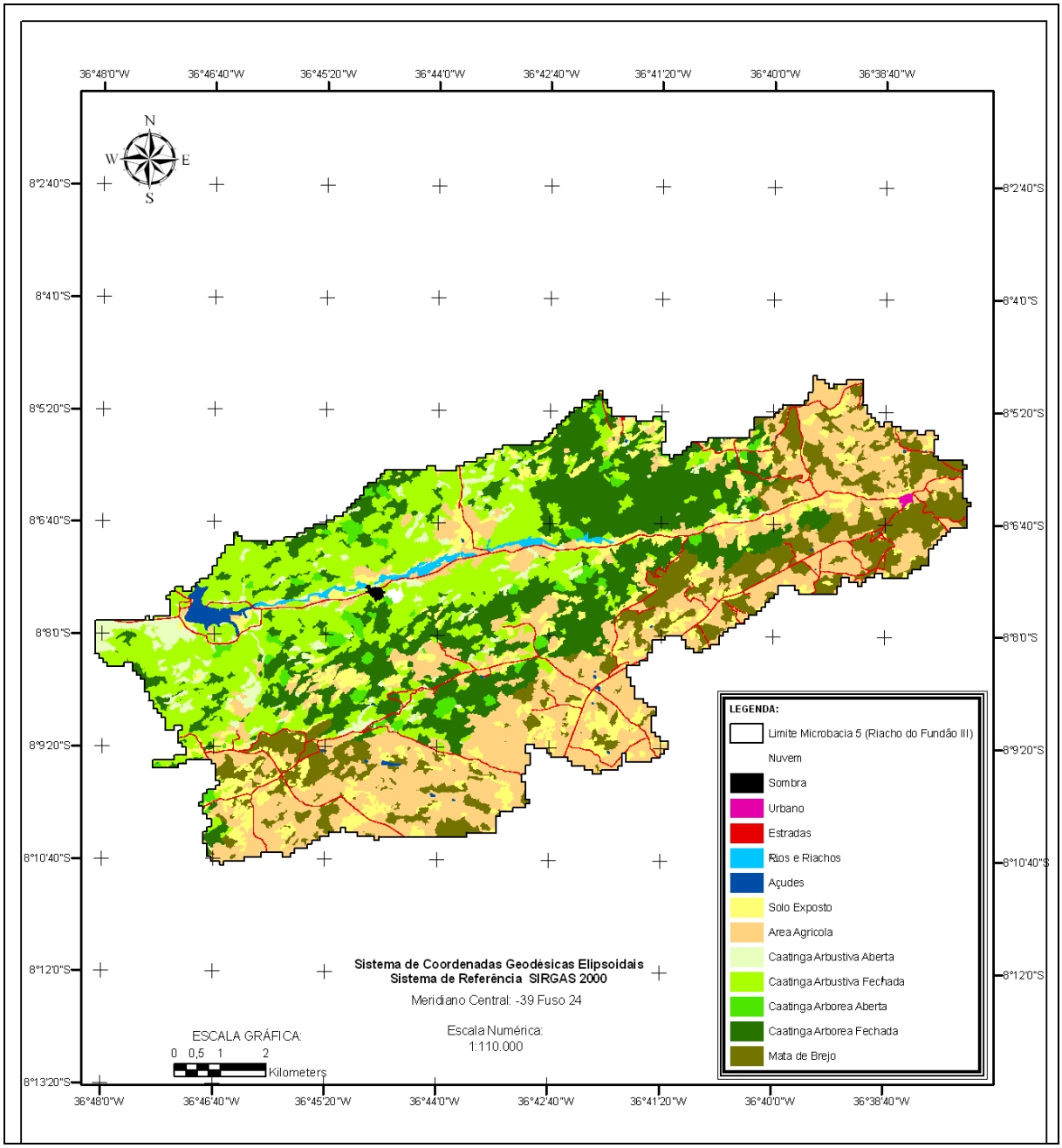


Figura 50: Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 5 (Riacho do Fundão III).

Embora esta microbacia esteja inserida em área de proteção ambiental, a mesma encontra-se bastante degradada entre todas as outras microbacias, uma vez que apresenta conforme a Tabela 05, cerca de 25,13% de área destinada à agricultura e 7,20% de solo exposto.

O processo de degradação ambiental é preocupante uma vez que a área é rica em espécies de orquídeas, bromélias, samambaias e palmeiras.

A ocupação das áreas de preservação ambiental nas margens do riacho do Fundão também demonstra o processo de degradação ambiental que está acontecendo no interior da APA das Onças. Essa substituição da mata nativa sub-montana por campos agrícolas está provocando o assoreamento do riacho.

A Tabela 05 demonstra os dados quantitativos gerados a partir da classificação orientada a objeto para a microbacia 5 (Riacho do Fundão III).

Tabela 05 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 5 (Riacho do Fundão III)

Classe	N° de objetos gerados por classe da legenda	Área (Km²)	Área (ha)	Porcentagem (%)
Área agrícola	1125	26,139	2613,90	25,13
Açudes	227	0,542	54,20	0,52
Caatinga Arbustiva Aberta	699	3,452	345,20	3,31
Caatinga Arbustiva Fechada	907	21,757	2175,70	20,92
Caatinga Arbórea Aberta	61	2,364	236,40	2,27
Caatinga Arbórea Fechada	830	25,354	2535,40	24,37
Estradas	9497	0,752	75,20	0,72
Nuvem	5	0,069	6,90	0,06
Rios e Riachos	31	0,483	48,30	0,46
Solo Exposto	748	7,726	772,60	7,42
Sombra	3	0,072	7,20	0,06
Urbano	14	0,050	5,01	0,04
Mata de Brejo	581	15,240	1524,00	14,65
Total	**14728**	**104,00**	**10400,01**	**100**

Os valores da Tabela 5 demonstram, apesar da substituição da mata de brejo e das áreas de proteção ambiental do riacho por campos agrícolas e para o desenvolvimento de pastos, a existência de uma vasta área de Caatinga Arbórea Fechada, ou seja, cerca de 24,37% da área ou 25,35 Km².

Na microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande), as áreas com estrato arbóreo encontram-se situadas nos topos e bordas das Serras da Porteira – su-Sudoeste – e Santo André – Norte. A distribuição das tipologias de Caatinga estão equiparáveis para o tamanho da microbacia, uma vez que apresenta para o estrato arbustivo cerca de 48,02%, ou 39,79 Km², enquanto o estrato arbóreo chega a 22,31%, ou seja, 19,15 Km². Contudo, o uso intensivo do solo é o segundo em porcentagem, proporcional conforme o tamanho da área,

se comparado às outras microbacias, já que a área agrícola corresponde a 17%, isto é, 14,65 Km². A Tabela 06 demonstra os valores de área e porcentagem das classes temáticas.

Tabela 06 – Valores de área e porcentagem das classes selecionadas de uso e ocupação do solo para a microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande)

Classe	N° de objetos gerados por classe da legenda	Área quilômetro quadrado (Km²)	Área hectares (ha)	Porcentagem (%)
Área agrícola	733	14,653	1465,30	17,68
Açudes	2	0,023	2,30	0,02
Caatinga Arbustiva Aberta	789	17,875	1787,50	21,57
Caatinga Arbustiva Fechada	737	21,922	2192,20	26,45
Caatinga Arbórea Aberta	78	2,582	258,20	3,11
Caatinga Arbórea Fechada	950	16,568	1656,80	19,20
Estradas	7911	0,477	47,70	0,57
Nuvem	0	0	0	0
Rios e Riachos	245	0,422	42,20	0,50
Solo Exposto	605	2,635	263,50	3,18
Sombra	0	0	0	0
Urbano	0	0	0	0
Mata de Brejo	281	5,690	569,00	6,86
Total	**12331**	**82,847**	**8284,70**	**100**

As áreas agrícolas estão localizadas nas superfícies pediplanadas na porção Sudeste, as quais são uma extensão da faixa de umidade existente na região, conforme demonstra a Figura 51 que evidencia o mapa de uso de solo da microbacia. A procura por essas áreas de brejo de altitude estão gerando um conflito de uso, pois a agricultura disputa espaço com a vegetação nativa, o que pode comprometer a fauna e flora locais. Na parte sudoeste também estão concentradas algumas áreas destinadas à produção agrícola, porém não possuem características de brejo de altitude, pelo contrário, estão localizadas numa área onde a precipitação é baixa e os solos rasos.

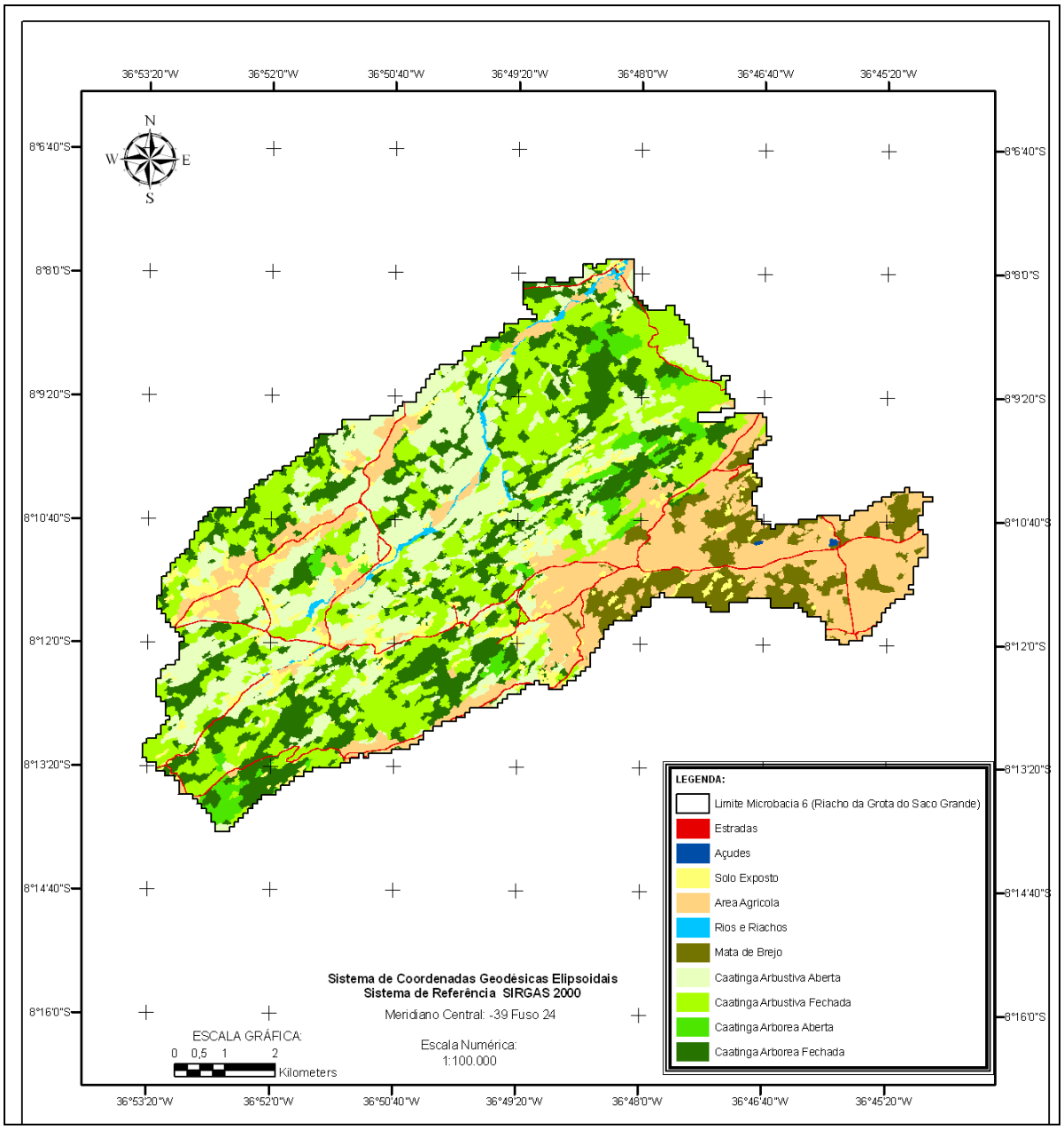


Figura 51: Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande)

6.3 – Aplicação das Métricas ou Índices de Paisagem

Concluída a parte de revisão, as classificações finais foram exportadas do software e-Cognition para o formato de arquivo *Shapefile* (*shp), *Erdas Imagine Image* (*.img) e *Esri ASCII Grid files* (*.asc).

Os arquivos em *shapefile* (*shp) foram exportados por níveis, ou seja, individualizados para cada classe para facilitar a quantificação espacial dos atributos espaciais no ArcGis (ArcInfo versão 9.3).

Os arquivos exportados do e-Cognition no formato *Erdas Imagine Image* (*.img), foram importados para o software ArcGis (ArcInfo versão 9.3) no qual foi aplicado um recorte da máscara, tendo como base o polígono de cada microbacia através de uma sequência de comandos (*Spatial Analyst Tools/Extraction/Extraction By Mask*) inseridos na ferramenta *ArcToolbox*. Logo após, foram conferidos os valores das classes na imagem importada, tendo em vista a necessidade de se compilar esses valores para serem posteriormente inseridos na configuração dentro do software *Fragstats* 3.3 para a identificação e individualização das classes.

Dessa forma, foi criado um arquivo de bloco de notas (*.txt) contendo um descritivo que possui o número representativo das classes identificadas na imagem classificada no e-Cognition. Isso foi feito para as seis microbacias da área de estudo. Para a microbacia 1 (Rio do Tigre), foram identificadas as seguintes classes e respectivas numerações: Urbano 3; Estradas 6; Solo exposto 7; Caatinga arbustiva fechada 8; Caatinga arbórea aberta 9; Caatinga arbórea fechada 10; Açudes 12; Rios e riachos 13; Caatinga arbustiva aberta 14; Área agrícola 15; Nuvem 16; e Sombra 17.

Logo após, a imagem em formato *Erdas Imagine Image* (*.img) foi exportada no formato *Tagged Image File Format* (*.tif).

No software ENVI 4.5, a imagem no formato *Tagged Image File Format* (*.tif) foi importada e convertida em formato *Esri ASCII Grid files* (*.asc) para ser utilizada no *Fragstats* 3.3.

A seleção das métricas de ecologia da paisagem para serem calculadas pelo *Fragstats* foi desenvolvida com enfoque na quantificação dos padrões espaciais da composição da paisagem nas seis microbacias, buscando identificar e avaliar, de forma mais detalhada, se as unidades (manchas) da área estudada estão comprometendo as espécies locais, pois a substituição de grandes áreas de vegetação nativa por outra paisagem antropizada, leva ao isolamento os remanescentes de floresta.

Dessa forma, avaliar o grau de fragmentação de habitats é a análise mais coerente e natural que se pode ter ao utilizar os índices gerados pelo *Fragstats* para uma paisagem única, uma vez que não foi possível gerar produtos com uma temporalidade de imagens HRC para a localidade, pois não existe um intervalo regular de cobertura do sensor pela área de estudo.

As métricas escolhidas para serem processadas no *Fragstats* estão descritas nos Quadros 07, 08, 09, 10, 11, 12 e 13. Nesses, as métricas já estão agrupadas nas categorias conforme os respectivos níveis – escala de análise –, ou seja, fragmentos, classes e paisagem. Além disso, há uma descrição sucinta sobre o significado de cada uma métrica e suas siglas.

Quadro 07 – Métricas de Área calculadas no FRAGSTATS

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métrica de Área	Para Fragmento	Área do fragmento	AREA	hectares (ha)
Métrica de Área	Para Classe	Soma das áreas dos fragmentos de cada classe	CA	hectares (ha)
Métrica de Área	Para Classe	Porcentagem de fragmentos em 100 hectares (ha) de área de paisagem	PLAND	porcentagem (%)
Métrica de Área	Para Classe	Área Total de toda a paisagem	TA	hectares (ha)
Métrica de Área	Para Classe	Porcentagem ocupada pelo maior fragmento da classe	LPI	percentagem (%)
Métrica de Área	Para Paisagens	Porcentagem ocupada pelo maior fragmento da paisagem (de qualquer classe)	LPI	porcentagem (%)

Quadro 08 – Métricas de Fragmentos calculadas no FRAGSTATS

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métrica de Fragmentos	Para Fragmento	Não Existe		
Métrica de Fragmentos	Para Classe	Número de fragmentos existentes na classe	NP	Numeral
Métrica de Fragmentos	Para Paisagens	Número de fragmentos existentes na paisagem	NP	Numeral

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métrica de Fragmentos	Para Classe	Densidade de fragmentos da classe em 100 hectares de paisagem	PD	(Número/100)
Métrica de Fragmentos	Para Paisagens	Densidade de todos os fragmentos da classe em 100 hectares de paisagem	PD	(Número/100)
Métrica de Fragmentos	Para Paisagens	Média entre as áreas em hectares de todos os fragmentos da paisagem	AREA_MN	hectares (ha)

Quadro 09 – Métricas de Bordas calculadas no FRAGSTATS

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métrica de Borda	Para Fragmento	Total de bordas incluindo áreas vazadas	PERIM	metros (m)
Métrica de Borda	Para Classe	Soma de todas as bordas da classe - equivale ao somatório dos Perímetros	TE	metros (m)
Métrica de Borda	Para Paisagens	Soma de todas as bordas da paisagem - equivale ao somatório dos Perímetros	TE	metros (m)
Métrica de Borda	Para Classe	Densidade de bordas com relação a área da paisagem - TE dividido pela área total em hectares	ED	metros (m)/ hectares (ha)
Métrica de Borda	Para Paisagem	Densidade de bordas com relação a área da paisagem - TE dividido pela área total em hectares	ED	metros (m)/ hectares (ha)

Quadro 10 – Métricas de Formas calculadas no FRAGSTATS

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métrica de Forma	Para Fragmento	Índice de Forma	SHAPE	(Nenhum) a Forma quadrada será maior (infinito) ou igual a 1
Métrica de Forma	Para Fragmento	Índice de Dimensão Fractal	FRAC	(Nenhum) varia de 1 a 2
Métrica de Forma	Para Classe	Índice de forma da paisagem Médio - Valor de agregação ou dispersão da classe (nº de células)	LSI	(Nenhum) (LSI ≥ 1 até infinito)
Métrica de Forma	Para Paisagens	Índice de forma da paisagem - Valor de agregação ou dispersão da classe (nº de células)	LSI	(Nenhum) (LSI ≥ 1 até infinito)
Métrica de Forma	Para Classe	Índice de forma médio ponderado pela área - É a média do índice SHAPE para os fragmentos	SHAPE_MN	(Nenhum) (SHAPE ≥ 1)
Métrica de Forma	Para Paisagens	Índice de forma médio ponderado pela área - É a média do índice SHAPE para os fragmentos da paisagem, ponderada pela área do fragmento	SHAPE_MN	(Nenhum) (SHAPE ≥ 1)

Quadro 11 – Métricas de Área Central (“Core”) calculadas no FRAGSTATS

Categoria	**Escala de análise (Níveis)**	**Significado das Métricas**	**Abreviatura**	**Unidade de medida**
Métrica de Área Central	Para Fragmento	Tamanho da área central do fragmento	CORE	hectares (ha)
Métrica de Área Central	Para Fragmento	Número de áreas centrais dentro de um fragmento	NCORE	(Nenhum) (NCORE ≥ até infinito)
Métrica de Área Central	Para Fragmento	Índice de áreas centrais	CAI	porcentagem (%)
Métrica de Área Central	Para Fragmento	Número de áreas centrais separadas dos fragmentos de cada classe	NDCA	(NDCA ≥ 0 ≥ até infinito)
Métrica de Área Central	Para Classe	Área Central Total (Soma das áreas centrais de toda a classe)	TCA	hectares (ha)
Métrica de Área Central	Para Paisagem	Área Central Total (Soma das áreas centrais classe)	TCA	hectares (ha)

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métrica de Área Central	Para Classe	Distribuição da área central (valor médio de áreas centtrais da paisagem)	CORE_MN	hectares (ha)
Métrica de Área Central	Para Classe	Percentual de área central (excluídas as bordas) em relação à área total da paisagem	CPLAND	porcentagem (%)

Quadro 12 – Métricas de Contágio e Intercalação (Mistura) calculadas no FRAGSTATS

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métricas de Contágio e Mistura	Para Paisagem	Média do tamanho dos fragmentos com relação a paisagem como um todo	MESH	hectares (ha)

Quadro 13 – Métricas de Diversidade calculadas no FRAGSTATS

Categoria	Escala de análise (Níveis)	Significado das Métricas	Abreviatura	Unidade de medida
Métrica de Diversidade	Para Paisagem	Riqueza de fragmentos (Número de classes presentes no limite da paisagem)	PR	(Nenhum) (PR ≥ 1 até infinito)
Métrica de Diversidade	Para Paisagem	Densidade de riqueza de fragmentos (Número de classes numa área de 100 hectares)	PRD	Número por 100 hectares

Para a geração final dos índices ou métricas de paisagem dentro do software *Fragstats,* alguns procedimentos tiveram que ser desenvolvidos em uma sequência cronológica.

Logo após conferir os valores das classes nas imagens das seis microbacias e a criação de arquivos simples de texto – bloco de notas (*.txt) – do Windows que contém um descritivo, o qual possui o número ou valor correspondente a cada uma das classes, iniciou-se a edição dos arquivos *Esri ASCII Grid files* (*.asc) para posteriormente serem importados para o *Fragstats*.

Os arquivos ASCII, depois de exportados, precisaram ser editados, antes de serem inseridos no *Fragstats*. Para a utilização nesse programa, é necessário que os valores das classes não empregadas sejam substituídos por um número padrão, no caso “99”, restando

apenas os valores representativos para cada classe. Também é necessário excluir o cabeçalho do arquivo ASCII, deixando apenas uma matriz de valores separados por espaço e tabulações. A Figura 52 evidencia a substituição dos valores após a exclusão do cabeçalho para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

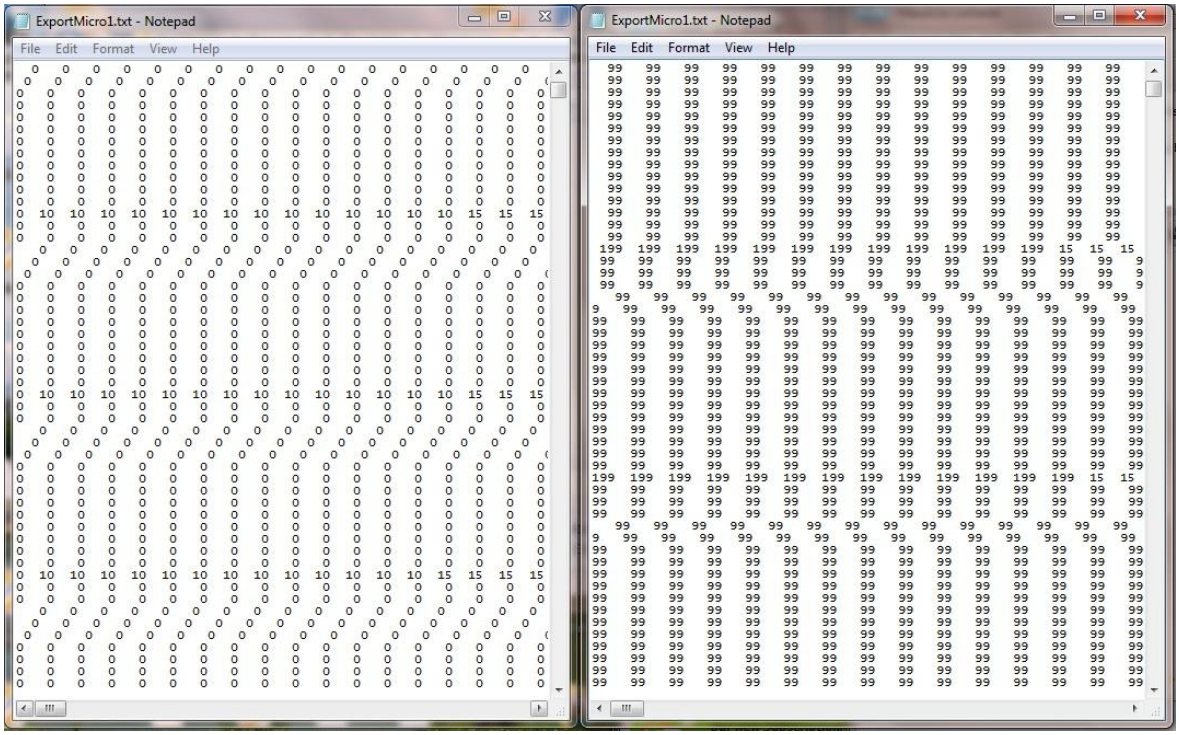


Figura 52: Edição dos arquivos ASCII para padrões específicos de entrada do *Fragstats* 3.3

De posse do descritivo – bloco de notas (*.txt) que contém o número ou valor correspondente a cada uma das classes – foi necessário criar um outro arquivo simples de texto – bloco de notas (*.txt) – para a individualização das classes, ou seja, “um arquivo de propriedades de classes ou *Class Properties File*” contendo a descrição dos valores do arquivo ASCII que posteriormente foi utilizado pelo *Fragstats* para dar o nome às classes no arquivo de saída.

O Quadro 14 demonstra um arquivo de propriedades de classe para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

Quadro 14 – Arquivo de propriedade de classes para a microbacia 1 (Rio do Tigre) ou *Class Properties File*

ClassID	ClassName	Status	isBackground
3	URBANO	true	false
6	ESTRADAS	true	false
7	SOLO_EXPOSTO	true	false
8	CAATINGA_ARBUSTIVA_FECHADA	true	false
9	CAATINGA_ARBOREA_ABERTA	true	false
199	CAATINGA_ARBOREA_FECHADA	true	false
12	ACUDES	true	false
13	RIOS_RIACHOS	true	false
14	CAATINGA_ARBUSTIVA_ABERTA	true	false
15	AREA_AGRICOLA	true	false
16	NUVEM	true	false
17	SOMBRA	true	false
99	BACKGROUND	false	true

A escolha do valor background igual a “99” é um padrão necessário para o *Fragstats*, pois o software só reconhece a troca do valor “0” por um positivo e diferente do mesmo.

Em seguida foi desenvolvida a etapa de definição dos parâmetros internos no *Fragstats* como a configuração dos seguintes itens:

1) arquivo ASCII;

2) arquivo de saída;

3) identificação do tamanho da célula (contido no cabeçalho do arquivo ASCII);

4) identificação do valor de background;

5) identificação do número de linhas e colunas (contido no cabeçalho do arquivo ASCII);

6) inserção do arquivo .txt (*Class Properties file*);

7) marcar as estatísticas de saída: *Patch, Class* e *Landscape*.

À luz dessas informações, a Figura 53 evidencia a execução dos parâmetros dentro do software *Fragstats* 3.3 para a microbacia 1 (Rio do Tigre).

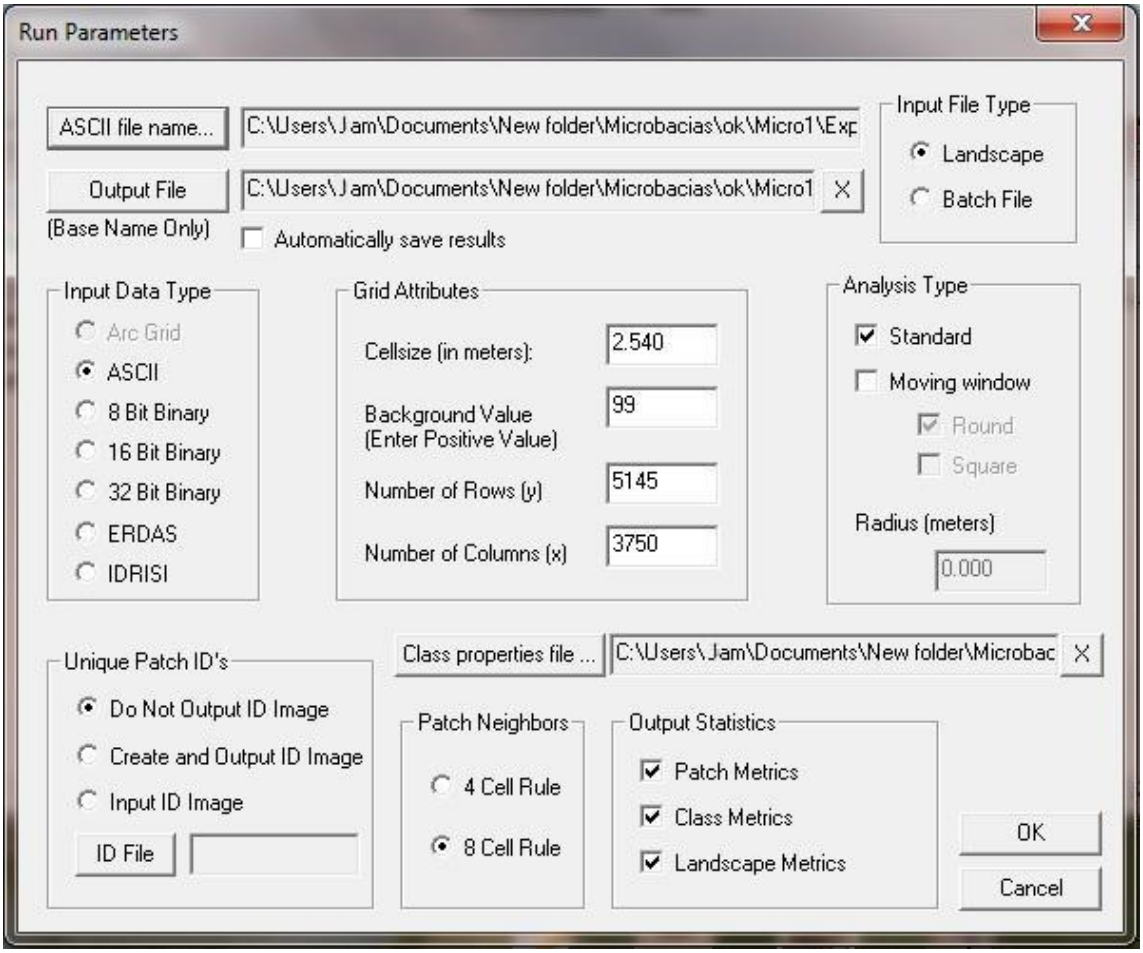


Figura 53: Inserção dos parâmetros no software *Fragstats* 3.3

Após a inserção dos parâmetros deu-se a seleção dos índices a serem calculados para cada tipo de métrica.

Para o cálculo de algumas métricas específicas, que demandaram valores de bordas e limites, foi preciso inserir outra tabela com os valores para regularizar o cálculo dos fragmentos. Nessa foram definidos valores específicos de largura de bordas, em metros, para cada classe. Para as feições de bordas, foi estipulada uma largura de 10,00 metros para todas as classes e fragmentos, isto é, foi definida a partir da linha do meio (linha de divisão) 5,00 metros para um lado e 5,00 metros para o outro lado.

A Figura 54 evidencia a seleção de algumas métricas de paisagem.

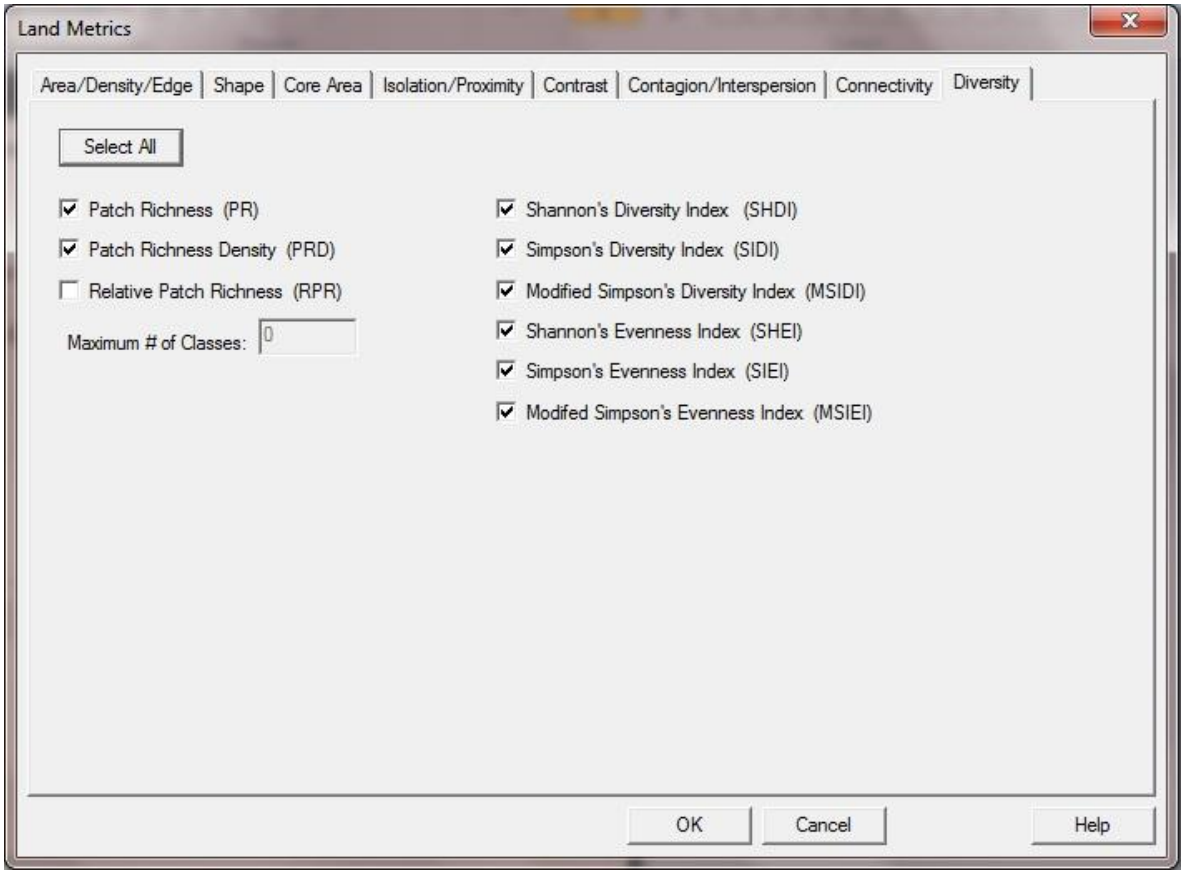


Figura 54: Seleção de métricas no software *Fragstats* 3.3

Logo após, foram executados os cálculos individualizados para cada uma das seis microbacias.

A etapa seguinte foi salvar os arquivos de extensão (*.*Log file*) gerados pelo *Fragstats* e organizar os dados de saída em planilhas. Os índices, depois de calculados, são apresentados pelo *Fragstats* em forma de três arquivos de texto (*Patch, Class* e *Landscape)*, que organizados de forma coerente em uma planilha, permitiram todas as análises ecológicas às quais se propõe o presente trabalho. Sendo assim, foi possível separar as métricas calculadas para as áreas naturais em uma planilha diferente no intuito de permitir uma análise da totalidade da Sub-bacia a partir da soma dos índices obtidos para cada uma das seis microbacias.

6.4 – Análise da Paisagem

A aplicação das medidas da estrutura da paisagem para este trabalho visou quantificar e analisar a configuração da paisagem através das métricas relativas a classes (*class-level metrics)* e à paisagem (*landscape-level metrics)* em ambiente semiárido, pois além da existência da vegetação nativa lenhosa de Caatinga existe também, na área de estudo, uma porção de terra com características de Mata Atlântica, os chamados brejos de altitude, que estão encravados no Bioma Caatinga, em alguns pontos do Planalto da Borborema entre os estados de Pernambuco e Paraíba.

Nesse contexto, esses índices permitiram descrever o nível de uniformidade ou fragmentação espacial das paisagens das seis microbacias.

6.4.1 – Métricas de Paisagem Relativas ao Nível de Classe

As métricas de classe foram calculadas somente para as áreas naturais, o que contemplou as tipologias de Caatinga e a mata de brejo de altitude. No cálculo foram utilizadas nove métricas que contemplaram as categorias de área, fragmento e área central.

Os nove índices utilizados foram: soma total das áreas (CA) em hectares; porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem (PLAND); número de fragmentos existentes na classe (NP); densidade do fragmento (PD); porcentagem da área do núcleo – central ou interior – em relação à área total da paisagem (CPLAND); índice da forma da paisagem (LSI); índice de forma médio da paisagem (SHAPE_MN); área central total (TCA); e distribuição da área central (CORE_MN), que corresponde à área de interior média considerando todos os fragmentos da paisagem.

As Tabelas 07 e 08 demonstram os valores dos índices selecionados para as três categorias de métricas utilizadas para os estratos de Caatinga Arbustiva Aberta e Caatinga Arbustiva Fechada. É importante frisar que nesse primeiro momento, especificamente para o estrato Caatinga Arbustiva Aberta, as métricas terão uma descrição mais detalhada, bem como uma contextualização mais associativa com a realidade da área de estudo.

Na Tabela 07, a soma total dos fragmentos (CA) da microbacia 1 (Riacho do Fundão I) que teve uma tendência decrescente próxima a 0 (zero) para a tipologia de Caatinga Arbustiva Arbórea, correspondeu a 111,0300 hectares, e em relação a toda a Sub-bacia do Riacho do Fundão essa classe tornou-se mais rara, ou seja, tornou-se mais escassa com

cerca de 1,13%. Enquanto isso, a microbacia 4 (Riacho Comprido) teve uma tendência ao infinito adimensional se distanciando de 0 (zero). Dessa forma, com sua área de 4.337,8846 hectares a microbacia 4 (Riacho Comprido) obteve 44,52% de toda a área da Sub-bacia para esse estrato de Caatinga. Essa métrica evidencia o quanto da paisagem como um todo, ou seja, do mosaico, é composto de um tipo em particular de fragmento, que nesse caso foram os fragmentos da classe de Caatinga Arbustiva Aberta. Contudo, as áreas contempladas pelo estrato de Caatinga Arbustiva Aberta, que em essência evidencia uma vegetação de porte arbustivo (>1,5 m e <3,0 m) e subarbustivo (<1,5 m), frequentemente estão associadas a solos bastante erodidos.

Conforme a Tabela 07, no que se refere à métrica de porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem (PLAND), quantificadora da abundância proporcional de cada tipo de fragmento na paisagem, a área que obteve o menor índice foi a microbacia 5 (Riacho do Fundão III), com cerca de 1,6763%. Isso demonstra que quanto mais próximo de zero (0), o fragmento torna-se mais raro, ou seja, na imagem existe apenas uma pequena porção em relação a toda a paisagem da microbacia 5. Já a microbacia 4 (Riacho Comprido) obteve o maior índice dentre as seis microbacias, ou seja, 17,2256%, em relação à abundância proporcional de cada tipo de fragmento no que diz respeito à paisagem. Tentando sempre buscar uma medida mais adequada para analisar a composição da paisagem através de uma comparação entre as microbacias, adotou-se essa métrica, pois as microbacias apresentavam valores territoriais distintos. Isso foi de suma importância, pois restringiu a análise para cada ambiente geográfico, o qual, por sua vez, apresentava uma diversidade de elementos e fenômenos.

Tabela 07: Resultado das métricas de paisagem relativas ao nível de classe – métrica de área e fragmento – para os estratos de Caatinga Arbustiva Aberta.

Microbacias	Área natural	Métrica Área	Métrica Área	Métrica Fragmento	Métrica Fragmento
		CA (ha)	PLAND (%)	NP (numeral)	PD (n°/100)
Micro 1	Caat. Arbust. Aberta	760.4957	6.1112	909	7.3045
Micro 2	Caat. Arbust. Aberta	111.0300	7.0957	37	2.3646
Micro 3	Caat. Arbust. Aberta	2399.9160	14.8716	162	1.0039
Micro 4	Caat. Arbust. Aberta	4337.8846	17.2256	509	2.0212
Micro 5	Caat. Arbust. Aberta	345.2587	1.6763	517	2.5101
Micro 6	Caat. Arbust. Aberta	1787.5737	9.9887	200	1.1176

Ainda conforme a mesma Tabela 07, foi calculado o número de fragmentos (NP) para as seis microbacias, tendo em vista avaliar o nível de homogeneidade das mesmas frente à Caatinga Arbustiva Aberta. Sendo assim, a microbacia 1 (Rio do Tigre) apresentou o maior número de fragmentos, isto é, 909 no total, o que evidencia um elevado número de fragmentos, gerando um quadro de preocupação, pois fragmentos pequenos não conseguem dar suporte a espécies como mamíferos e aves de tamanho maior, e podem estar camuflando um processo intenso de retalhamento e fragmentação condicionada pela ação antrópica. Além disso, a métrica evidencia que quanto menos fragmentada for uma determinada área, ou seja, mais homogênea ela for, esse valor será igual a 1 (um), caso contrário, a tendência é o infinito adimensional. A área que apresenta o menor índice de fragmentos é a microbacia 2 (Riacho do Fundão I), com cerca de 37 fragmentos.

Nesse contexto, o fenômeno de fragmentação em ambiente de Caatinga é preocupante, uma vez que se trata de um ambiente ecologicamente vulnerável às ações antrópicas e às intempéries.

No cálculo da densidade de fragmentos da classe, para cada 100 hectares da paisagem, foi adotado o índice (PD). Esse índice, conforme a Tabela 07, para o estrato de Caatinga Arbustiva Aberta, evidenciou, assim como no índice (NP), o retalhamento existente na microbacia 1 (Rio do Tigre). O índice PD demonstrou que, para cada 100 hectares da paisagem, existem 7,3045 fragmentos, o que demonstra, juntamente com o índice (NP), a fragmentação em que a mesma se apresenta. O menor índice foi obtido pela microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande) com cerca de 1,1176 fragmentos para cada 100 hectares. Para esse índice, quanto mais próximo de 0 (zero) menos retalhada encontra-se a paisagem, e quando PD atingir seu limite máximo, ou seja, o tamanho da célula da imagem raster, mais fragmentada ela será.

Para complementar o índice PLAND de abundância proporcional de cada tipo de fragmento na paisagem, também foi calculada a porcentagem da paisagem com área de interior (CPLAND). A Tabela 08 demonstra esses valores para o estrato de Caatinga Arbustiva Aberta. Nela pode-se observar que o menor índice também foi remetido para a microbacia 5 (Riacho do Fundão III) com cerca de 0,9876%, o que demonstrou novamente que essa classe possui um valor pouco representativo na paisagem, ocupando uma área pequena. Já a microbacia 4 (Riacho Comprido) obteve novamente um percentual alto correspondente a 14,1187%, o que confirma uma tendência de que boa parte da paisagem é formada por poucos fragmentos. Nesse caso, o índice CPLAND tende a 0 (zero) quando a área do núcleo do fragmento (classe) correspondente torna-se cada vez mais raro na

paisagem, por causa da quantidade de fragmentos menores. Para o cálculo do índice CPLAND é necessário que o usuário informe uma determinada faixa de borda. O valor utilizado neste trabalho foi de 10 metros.

Tabela 08: Resultado das métricas de paisagem relativas ao nível de classe – métricas central e de forma – para os estratos de Caatinga Arbustiva Aberta.

Microbacias	Área natural	Métrica Área Central	Métrica Forma	Métrica Forma	Métrica Área Central	Métrica Área Central
		CPLAND (%)	LSI (LSI ≥ 1 ate infinito)	SHAPE_MN (shape ≥ 1)	TCA (ha)	CORE_MN (ha)
Micro 1	Caat. Arbust. Aberta	2.0887	95.0198	2.9215	259.9281	0.2859
Micro 2	Caat. Arbust. Aberta	4.7207	15.1261	2.7633	73.8677	1.9964
Micro 3	Caat. Arbust. Aberta	12.7712	26.9784	2.4647	2060.9674	12.7220
Micro 4	Caat. Arbust. Aberta	14.1187	44.6896	2.2838	35.554.752	6.9852
Micro 5	Caat. Arbust. Aberta	0.9876	35.0192	1.9229	2.034.164	0.3935
Micro 6	Caat. Arbust. Aberta	8.0139	33.3524	2.6204	14.341.556	7.1708

Através dos índices PLAND e CPLAND foi possível evidenciar que a microbacia 4 (Riacho Comprido) obteve, em valores proporcionais relacionados às outras microbacias, a maior área correspondente ao estrato de Caatinga Arbustiva Aberta. Isso demonstra que em grande parte dessa microbacia a vegetação predominante é de indivíduos de porte baixo, isolados, e que, por vezes, está associada a áreas de solos descobertos.

Para avaliar a forma da paisagem, foi adotado o índice LSI, o qual fornece uma medida simples de agregação, ou seja, se a paisagem é constituída por uma feição espacial única, idêntica a um quadrado. Essa métrica é utilizada para avaliar qual o nível de desagregação dos fragmentos, o que fornece uma ideia de como está o processo de fragmentação da paisagem local.

Conforme a Tabela 08, a microbacia 1 (Rio do Tigre) apresentou o maior valor de desagregação para a vegetação de Caatinga Arbustiva Aberta, isto é, cerca de 95,0198, evidenciando uma situação de fragmentação altíssima se comparada às outras microbacias. A microbacia 2 apresentou um valor menor – 15,1261 – de desagregação dos fragmentos, ou seja, existe uma agregação predominante, evidenciando que para essa tipologia florestal os fragmentos são mais unificados em setores.

O valor de desagregação alto da microbacia 1 (Rio do Tigre) é devido ao uso intensivo do solo através das práticas agrícolas e da retirada da madeira para ser vendida sob a forma de estacas, mourões, varas, lenha e carvão, o que implica na eliminação desses fragmentos. A variação do índice LSI é através da seguinte lógica: LSI = 1 quando a paisagem é constituída por um único quadrado (ou seja, quase quadrada); isso não ocorrendo, torna-se mais desagregado, ou seja, LSI ≥ 1, sem limite.

E por fim, para realizar o cálculo da forma média para a área, foi utilizado o índice de forma médio ponderado (SHAPE_MN) que nada mais é do que a média do índice SHAPE. Tendo como base a Tabela 08, pode-se constatar que a microbacia 5 (Riacho do Fundão III) apresenta um valor de 1,9229 para a classe de vegetação de Caatinga Arbustiva Aberta, o que significa que a mesma, em relação às outras, é relativamente mais compacta, ou melhor, mais próxima de uma forma básica do tipo quadrada. O caso oposto é a da microbacia 1 (Rio do Tigre), que apresenta 2,9215, uma forma mais irregular, indicando a presença de fragmentos mais alongados. Dessa forma, o índice SHAPE_MN é igual a um (1) quando o fragmento é mais compacto, assumindo uma forma quase quadrada; se não ocorrer isso, seu limite tende a se afastar de um (1) e se torna mais irregular, além de ser mais recortado, sendo mais suscetível ao efeito de borda.

Conforme a Tabela 09, pode-se observar que, para a métrica correspondente à soma total dos fragmentos (CA), a microbacia 4 obteve a maior área de paisagem para o estrato de Caatinga Arbustiva Fechada, o que corresponde a cerca de 39,5 % de toda a área da bacia do Riacho do Fundão. Sendo assim, o porte predominante para esse estrato nessa região é entre 1,5 m a 3 m. A métrica CA tende a zero (0) quando o tipo de fragmento se torna cada vez mais raro na paisagem, do contrário, CA tende à área total (TA), quando toda a paisagem consiste de um único fragmento, ou seja, quando toda a imagem é composta de uma única mancha.

Conforme a Tabela 09, no que se refere à métrica de porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem (PLAND), quantificadora da abundância proporcional de cada tipo de fragmento na paisagem, a área que obteve o menor índice foi a da microbacia 1, com cerca de 9,4657%. Isso demonstra que quanto mais próximo de 0 (zero), o fragmento torna-se mais raro, ou seja, na imagem existe apenas uma pequena porção em relação a toda a paisagem. Já a microbacia 4 obteve o maior índice dentre as seis microbacias, ou seja, 21,8566%, em relação à paisagem geral da bacia hidrográfica.

Ainda conforme a Tabela 09, foi calculado o número de fragmentos (NP) para as seis microbacias, tendo em vista avaliar o nível de homogeneidade das mesmas para o estrato

de Caatinga Arbustiva Fechada. Sendo assim, a microbacia 1 apresentou o maior número de fragmentos, isto é, 741 no total, o que evidencia um elevado número de fragmentos pequenos. Em contraponto a esse dado, tem-se a microbacia 2, que apresenta o menor índice de fragmentos, com cerca de 48.

Dessa forma, através das métricas CA e PLAND, pode-se constatar que a microbacia 2, por exemplo, encontra-se mais conservada para esse estrato e possui áreas mais avantajadas e que ocupam grande parte da paisagem, ou seja, PLAND = 19,7023%.

Tabela 09: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas central e de forma – para o estrato de Caatinga Arbustiva Fechada.

Microbacias	Área natural	Métrica Área	Métrica Área	Métrica Fragmento	Métrica Fragmento
		CA (ha)	PLAND (%)	NP (numeral)	PD (n°/100)
Micro 1	Caat. Arbust. Fechada	1177.9412	9.4657	741	5.9545
Micro 2	Caat. Arbust. Fechada	308.2910	19.7023	48	3.0676
Micro 3	Caat. Arbust. Fechada	2597.4756	16.0958	174	1.0782
Micro 4	Caat. Arbust. Fechada	5504.0978	21.8566	325	1.2906
Micro 5	Caat. Arbust. Fechada	2175.7658	10.5638	176	0.8545
Micro 6	Caat. Arbust. Fechada	2192.5208	12.2515	169	0.9440

No cálculo da densidade de fragmentos da classe para cada 100 hectares da paisagem, foi adotado o índice PD. Esse índice, conforme a Tabela 09, para o estrato de Caatinga Arbustiva Fechada, evidenciou, assim como no índice NP, o retalhamento existente na microbacia 1. O índice PD demonstrou que, para cada 100 hectares da paisagem, existem 5,9545 fragmentos para a respectiva classe, o que demonstra, juntamente com o índice NP, a fragmentação em que a mesma se encontra. O menor índice foi obtido pela microbacia 5, com cerca de 0,9440 fragmentos para cada 100 hectares. Para esse índice, quanto mais próximo de 0 (zero) menos fragmentada encontra-se a paisagem.

A Tabela 10 demonstra os valores obtidos para a métrica CPLAND para o estrato de Caatinga Arbustiva Fechada. Nela pode-se observar que o menor índice também foi remetido para a microbacia 1, com cerca de 4,3229%, o que demonstrou novamente que essa classe possui um valor pouco representativo na paisagem, ocupando uma área pequena. Já a microbacia 4 obteve novamente um percentual alto correspondente a 18,5952%, o que confirma uma tendência de que boa parte da paisagem é formada por um

único fragmento. Esse índice demonstra uma conservação dos núcleos (áreas centrais mais preservadas e menos vulneráveis) em relação aos efeitos de fragmentação.

Tabela 10: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas central e de forma – para o estrato de Caatinga Arbustiva Fechada.

Microbacias	Área natural	Métrica Área Central	Métrica Forma	Métrica Forma	Métrica Área Central	Métrica Área Central
		CPLAND (%)	LSI (LSI ≥ 1 ate infinito)	SHAPE_MN (shape ≥ 1)	TCA (ha)	CORE_MN (ha)
Micro 1	Caat. Arbust. Fechada	4.3229	89.2849	3.0080	537.9514	0.7260
Micro 2	Caat. Arbust. Fechada	16.4249	11.9525	2.1396	257.0077	5.3543
Micro 3	Caat. Arbust. Fechada	14.4649	19.8284	1.8923	2334.2772	13.4154
Micro 4	Caat. Arbust. Fechada	18.5952	39.9697	2.2908	4682.7987	14.4086
Micro 5	Caat. Arbust. Fechada	8.9038	28.2938	2.2297	1833.8767	10.4198
Micro 6	Caat. Arbust. Fechada	10.3037	28.7114	2.2473	1843.9451	10.9109

Através dos índices PLAND e CPLAND foi possível evidenciar que a microbacia 4 obteve, em valores proporcionais relacionados às outras microbacias, a maior área correspondente ao estrato de Caatinga Arbustiva Fechada. Isso demonstra que, em grande parte dessa microbacia, a vegetação predominante é de indivíduos de porte baixo.

Para o índice LSI, o qual fornece uma medida simples de agregação, se a paisagem é constituída por uma feição espacial única, idêntica a um quadrado, a microbacia 1 (Tabela 10) apresenta o maior valor de desagregação para a vegetação de Caatinga Arbustiva Fechada, isto é, o valor de 89,2849, evidenciando uma situação de fragmentação altíssima se comparada às outras microbacias. A microbacia 2 apresentou o menor valor – 11,9525 – de desagregação dos fragmentos, ou seja, os fragmentos são mais uniformes em setores.

Para a métrica de distribuição da área central (CORE_MN), conforme a Tabela 10, a microbacia 1 apresentou o menor índice, ou seja, existe nessa localidade um fator predominante de fragmentação ocorrendo nas bordas dos fragmentos, tendo em vista que CORE_MN tende a 0 (zero) quando todos os fragmentos encontram-se inseridos no raio de distância especificado no *Fragstats.* Além disso, torna-se evidente que, além de serem pequenos, a forma dos fragmentos da microbacia 1 também os deixam mais frágeis, uma vez que maiores perímetros correspondem a um maior efeito de borda.

O cálculo da métrica TCA, que equivale à soma das áreas centrais de cada fragmento (m²) para cada classe, dividido por 10000 (ha), de acordo com a Tabela 10, é muito mais elevado para a microbacia 4 (4682,7987 ha) quando comparada com a microbacia 2 (257,0077ha). O TCA tende a zero quando todos os fragmentos que estão dentro de cada classe inserida na paisagem, estejam dentro da distância especificada de profundidade a partir do perímetro da classe. Esse índice demonstra uma conservação do núcleo das áreas para o estrato de Caatinga Arbustiva Fechada na microbacia 4.

Conforme a Tabela 10, o índice de forma médio ponderado (SHAPE_MN), que nada mais é do que a média do índice SHAPE, demonstrou que os fragmentos da microbacia 1 apresentam uma irregularidade maior, afastando-se de uma forma perfeita equivalente a um quadrado.

Na Tabela 11, a microbacia 1 evidenciou o maior valor para a soma total dos fragmentos (CA), obtendo uma área de paisagem para o estrato de Caatinga Arbórea Aberta, cujo porte está entre 3 m e 4,5 m de altura. É importante frisar que nessa microbacia a área de caatinga conservada encontra-se situada em apenas um setor, ou seja, na porção sul, o que permite concluir que em boa parte da microbacia encontra-se um ecossistema fragmentado. No que se refere à microbacia 3, esta apresenta um dado muito abaixo do esperado, tendo em vista a problemática ocasionada pelo mosaico das imagens HRC de 2008 e 2009. Dessa forma, não foi possível chegar a um parâmetro confiável para esse estrato.

Conforme a Tabela 11, no que se refere à métrica PLAND, a área que obteve o menor índice foi a microbacia 3, com cerca de 0,0072%. Devido ao problema de classificação efetivado no e-Cognition, esse dado pode estar camuflando uma realidade totalmente diferente para esse estrato. Já a microbacia 2 obteve o melhor índice, com cerca de 9% da área total recoberta pelo maior fragmento.

Ainda conforme a Tabela 11, a métrica NP para o estrato de Caatinga Arbórea Aberta apresenta, para a microbacia 1, o maior número de fragmentos, isto é, 630 no total, o que evidencia mais uma vez, elevado número de fragmentos pequenos. Em contraponto a esse dado, tem-se a microbacia 3, que apresenta o menor índice de fragmentos, com cerca de 1, devido à problemática no ato da classificação.

Tabela 11: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para o estrato de Caatinga Arbórea Aberta.

Microbacias	Área natural	Métrica Área	Métrica Área	Métrica Fragmento	Métrica Fragmento
		CA (ha)	PLAND (%)	NP (numeral)	PD (n°/100)
Micro 1	Caat. Arbórea Aberta	376.4814	3.025	630	5.0625
Micro 2	Caat. Arbórea Aberta	145.8804	9.3229	27	1.7255
Micro 3	Caat. Arbórea Aberta	1.1555	0.0072	1	0.0062
Micro 4	Caat. Arbórea Aberta	357.5701	1.4199	107	0.4249
Micro 5	Caat. Arbórea Aberta	236.4563	1.1480	54	0.2622
Micro 6	Caat. Arbórea Aberta	258.2390	1.4430	32	0.1788

No cálculo da densidade de fragmentos da classe (PD), o estrato de Caatinga Arbórea Aberta evidenciou, assim como no índice NP, a fragmentação existente na microbacia 1. O índice demonstrou que existem 5,0625 fragmentos para cada 100 hectares da paisagem, o que demonstra um processo de fragmentação acentuado.

A Tabela 12 também demonstra os valores obtidos para a métrica CPLAND para o estrato de Caatinga Arbórea Aberta. Nela pode-se observar que o menor índice também foi obtido pela microbacia 3, com cerca de 0,0044%. Já a microbacia 2 obteve novamente um percentual alto, correspondente a 7,3170%, o que confirma uma tendência de que boa parte da paisagem é formada por um único fragmento.

Para o índice LSI, a microbacia 1 (Tabela 12) apresentou o maior valor de desagregação para o estrato de Caatinga Arbórea Aberta, isto é, cerca de 71,5579, evidenciando uma situação de fragmentação bastante alta. A microbacia 3 apresentou o menor valor – 1,6941 – ou seja, os fragmentos são mais unificados em setores (porções específicas do território).

Tabela 12: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas central e de forma – para o estrato de Caatinga Arbórea Aberta.

Microbacias	Métrica Área Central	Métrica Forma	Métrica Forma	Métrica Área Central	Métrica Área Central
	CPLAND (%)	LSI (LSI ≥ 1 ate infinito)	SHAPE_MN (shape ≥ 1)	TCA (ha)	CORE_MN (ha)
Micro 1	0.9316	71.5579	2.6674	115.9348	0.1840
Micro 2	7.3170	10.3079	2.1923	114.4929	0.4052
Micro 3	0.0044	1.6941	1.6941	0.7172	0.7172
Micro 4	1.0365	18.7717	1.9550	261.0314	2.4395
Micro 5	0.9129	12.1210	1.7627	188.0321	3.4821
Micro 6	1.1836	11.2672	2.1708	211.8137	6.6192

Para a métrica de distribuição da área central (CORE_MN), conforme a Tabela 12, a microbacia 1 apresentou o menor índice, tendo em vista que o valor de CORE_MN tendeu a 0 (zero), o que demonstra a vulnerabilidade do núcleo das áreas dos fragmentos. A microbacia 6 obteve o melhor índice, com cerca de 6,6192 ha.

Conforme a Tabela 12, o índice de forma médio ponderado (SHAPE_MN) demonstrou que os fragmentos da microbacia 1 apresentam uma irregularidade maior, pois obteve o maior índice (2,6674).

Na Tabela 13, a microbacia 4 evidenciou o maior valor para a soma total dos fragmentos (CA), obtendo uma área de paisagem para o estrato de Caatinga Arbórea Fechada, cujo porte está acima de 4,5 m de altura. É importante frisar que, nessa microbacia, a área de Caatinga conservada encontra-se bastante fragmentada.

Conforme a Tabela 13, no que se refere à métrica PLAND, a área que obteve o menor índice foi a microbacia 3, com cerca de 0,1620%. Já a microbacia 1 obteve o melhor índice, com cerca de 17,54% da área total recoberta pelo maior fragmento.

Ainda conforme a Tabela 13, a métrica NP para o estrato de Caatinga Arbórea Fechada apresentou, para a microbacia 1, o maior número de fragmentos, isto é, 280 no total, o que evidencia, mais uma vez, elevado número de fragmentos pequenos. Em contraponto a esse dado, tem-se a microbacia 3, que apresenta o menor índice de fragmentos, com cerca de 2, devido à problemática da classificação da imagem.

No cálculo da densidade de fragmentos da classe (PD), o estrato de Caatinga Arbórea Fechada evidenciou, assim como no índice NP, a fragmentação existente na microbacia 1. O índice demonstrou que existem 2,2500 fragmentos para cada 100 hectares da paisagem.

Tabela 13: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para o estrato de Caatinga Arbórea Fechada.

Microbacias	Área natural	Métrica Área	Métrica Área	Métrica Fragmento	Métrica Fragmento
		CA (ha)	PLAND (%)	NP (numeral)	PD (n°/100)
Micro 1	Caat. Arbórea Fechada	2182.7355	17.5400	280	2.2500
Micro 2	Caat. Arbórea Fechada	18.5332	1.1844	7	0.4474
Micro 3	Caat. Arbórea Fechada	26.1498	0.1620	2	0.0124
Micro 4	Caat. Arbórea Fechada	2592.0571	10.2930	213	0.8458

Microbacias	Área natural	Métrica Área	Métrica Área	Métrica Fragmento	Métrica Fragmento
		CA (ha)	PLAND (%)	NP (numeral)	PD (n°/100)
Micro 5	Caat. Arbórea Fechada	2535.4711	12.3102	123	0.5972
Micro 6	Caat. Arbórea Fechada	1656.9378	9.2587	344	1.9222

A Tabela 14 também demonstra os valores obtidos para a métrica CPLAND para o estrato de Caatinga Arbórea Fechada. Nela pode-se observar que o menor índice também foi obtido pela microbacia 3. Já a microbacia 1 obteve novamente um percentual alto, correspondente a 14,2311%.

A métrica LSI apresentou (Tabela 14) o maior valor de desagregação para o estrato de Caatinga Arbórea Fechada para a microbacia 1, isto é, cerca de 39,4658, evidenciando uma situação de fragmentação alta, uma vez que quanto mais distante do 0 (zero) mais fragmentada se torna a paisagem. A microbacia 3 apresentou o menor valor – 3,7313 –, ou seja, os fragmentos estão concentrados em apenas poucos setores.

Para a métrica de distribuição da área central (CORE_MN), conforme a Tabela 14, a microbacia 3 apresentou o menor índice, tendo em vista que o valor de CORE_MN tendeu a (zero), o que demonstra a vulnerabilidade do núcleo devido a fragmentação. A microbacia 4 obteve o melhor índice de conservação com cerca de 10,3628 ha.

Conforme a Tabela 12, o índice de forma médio ponderado (SHAPE_MN) demonstrou que os fragmentos da microbacia 3 apresentam uma irregularidade maior, pois obteve o maior índice (3,0755).

Tabela 14: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas central e de forma – para o estrato de Caatinga Arbórea Fechada.

Microbacias	Métrica Área Central	Métrica Forma	Métrica Forma	Métrica Área Central	Métrica Área Central
	CPLAND (%)	LSI (LSI ≥ 1 ate infinito)	SHAPE_MN (shape ≥ 1)	TCA (ha)	CORE_MN (ha)
Micro 1	14.2311	39.4658	2.5825	1770.9691	6.3249
Micro 2	0.8203	5.3460	2.2023	12.8357	1.8337
Micro 3	0.1315	3.7313	3.0755	21.2222	1.6111
Micro 4	8.7650	27.4654	2.1269	2207.2836	10.3628
Micro 5	0.9129	23.4195	1.7627	188.0321	3.4821
Micro 6	7.2435	35.2803	2.1259	1296.3000	3.7683

Nas Tabelas 15 e 16, apenas estão expostas as microbacias que possuem em seu interior a mata de brejo (Floresta Decidual Montana).

Na Tabela 15, pode-se observar que a microbacia 4 apresenta a menor área, cuja métrica é a soma total dos fragmentos (CA), pois possui cerca de 224,7245 ha. A microbacia 5 é a maior em concentração de mata de brejo, pois ocupa uma área de 1524,1054 ha. É importante salientar que essa mata apresenta um porte acima de 5 m de altura e possui uma composição florística muito parecida com a de mata atlântica.

Conforme a Tabela 13, na métrica PLAND, a área que obteve o menor índice também foi a microbacia 4, com cerca de 0,1620%. Já a microbacia 5 obteve o melhor índice, com cerca de 7,39%.

Ainda conforme a Tabela 13, a métrica NP para o estrato de Caatinga Arbórea Fechada apresentou para a microbacia 1 o maior número de fragmentos, isto é, 280 no total, o que evidencia, mais uma vez, elevado número de fragmentos pequenos. Em contraponto a esse dado, tem-se a microbacia 3, apresentando o menor índice de fragmentos - cerca de 2 - devido à problemática no ato da classificação.

Tabela 15: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas de área e fragmento – para o estrato de mata de brejo.

Microbacias	Área natural	Métrica Área	Métrica Área	Métrica Fragmento	Métrica Fragmento
		CA (ha)	PLAND (%)	NP (numeral)	PD (n°/100)
Micro 4	Mata de brejo	224.7245	0.892	19	0.0754
Micro 5	Mata de brejo	1524.1054	7.3998	140	0.6797
Micro 6	Mata de brejo	569.1183	3.1802	57	0.3185

No cálculo da densidade de fragmentos da classe (PD), para a mata de brejo, a Tabela 15 mostra que o maior índice de fragmentação é na microbacia 5, a qual possui cerca de 0,679. Além disso, outro índice que colabora para essa constatação é o NP, que evidencia o grau de retalhamento existente na microbacia 5, atualmente de 140 fragmentos.

A Tabela 16 também demonstra os valores obtidos para a métrica CPLAND para a mata de brejo. Nela observa-se que o menor índice também foi obtido pela microbacia 4. Já a microbacia 6 obteve novamente um percentual alto, correspondente a 14,2311%.

Para as métricas CORE_MN, TCA e LCI que se referem à homogeneidade e agregação, a Tabela 16 demonstra que a microbacia 4 detém os índices que caracterizam uma paisagem bastante desagregada e pouco homogeneizada.

Conforme a Tabela 16, o índice de forma médio ponderado (SHAPE_MN) demonstrou que os fragmentos da microbacia 5 apresentam uma irregularidade maior, pois obteve o maior índice (2,1777). Esse fato se justifica pois é uma região onde o processo de ação antrópica está condicionando ao desmatamento da mata nativa.

Tabela 16: Resultado das métricas relativas ao nível de classe – métricas central e de forma – para o estrato de mata de brejo.

Microbacias	Métrica Área Central	Métrica Forma	Métrica Forma	Métrica Área Central	Métrica Área Central
	CPLAND (%)	LSI (LSI ≥ 1 ate infinito)	SHAPE_MN (shape ≥ 1)	TCA (ha)	CORE_MN (ha)
Micro 4	0.2359	8.1687	2.3809	59.4130	4.9511
Micro 5	6.2171	23.7492	2.1777	1280.4977	9.1464
Micro 6	2.6950	13.8045	1.9350	482.3021	8.4614

6.3.1.2 – Métricas de Paisagem Relativas ao Nível de Paisagem

Foram utilizados nove tipos de métricas relativas ao nível de classe, quais sejam: porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento da paisagem (LPI); média entre as áreas em hectares de todos os fragmentos da paisagem (AREA_MN); número de fragmentos existentes na classe (NP); densidade do fragmento (PD); índice da forma da paisagem (LSI); soma das áreas centrais de cada fragmento para cada classe (TCA); média do tamanho dos fragmentos com relação à paisagem como um todo (MESH); índice de forma médio da paisagem (SHAPE_MN); densidade de riqueza do fragmento (PRD).

Na Tabela 17, a métrica correspondente ao tamanho médio dos fragmentos (AREA_MN), demonstrando que a microbacia 1, apresenta uma paisagem bastante fragmentada, pois seu valor está próximo de zero. Segundo Macgarigal & Marks (1995), quanto menor for o tamanho médio dos fragmentos, mais fragmentada é a paisagem. Essa métrica evidencia que uma determinada paisagem é mais homogênea quando o seu valor está próximo de 100, e muito fragmentada, quando se aproxima de zero. Esses dados indicam que a paisagem da área apresenta um grau de fragmentação elevado, com um grande número de pequenos fragmentos (menores de 2 hectares), não sendo um bom indicativo para a manutenção e reprodução de espécies de fauna.

A métrica AREA_MN evidencia que as outras cinco microbacias apresentam um tamanho médio de fragmento, que denota certa homogeneidade, uma vez que em valores

proporcionais territoriais, torna-se evidente que a microbacia 1 apresenta verdadeiramente uma fragmentação considerável .

Juntamente com a métrica AREA_MN, tem-se a porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe (LPI) demonstrando que o percentual de fragmentação está elevado para a microbacia 1. O LPI representa a porcentagem do maior fragmento de cada classe (vegetação e/ou desmatamento) em relação à área total. No caso, esse índice indica que o maior fragmento para a microbacia 1 ocupa cerca de 10% da área total, sendo que para a microbacia 6, o maior fragmento não chega a 2%. Dessa forma, quanto mais próxima de zero for a porcentagem, maior é a densidade de fragmentos maiores que ocupam grande parte da paisagem, ou seja, existe nessa paisagem uma grande quantidade de fragmentos com tamanhos que possibilitam a manutenção das espécies. E quanto mais distante de zero for a porcentagem, maior será a densidade de pequenos fragmentos, o que denota uma situação de fragmentação.

Tabela 17: Resultado das métricas relativas ao nível de paisagem – métricas de área e fragmento.

Microbacias	Métrica Área	Métrica Área	Métrica Fragmento	Métrica Fragmento
	LPI (%)	AREA_MN (ha)	NP (numeral)	PD (n°/100)
Micro 1	10.0325	1.4153	4121	33.1155
Micro 2	8.2589	4.2476	173	11.0561
Micro 3	3.6221	8.5150	641	3.9721
Micro 4	6.9852	8.7359	1727	6.8578
Micro 5	4.1952	5.6494	1841	8.9384
Micro 6	1.6715	5.6595	1464	8.1806

Ainda conforme a Tabela 17, foram calculados os números de fragmentos (NP), para avaliar o nível de homogeneidade. Sendo assim, a microbacia 1 apresentou o número total de 4121 fragmentos, o que evidencia um elevado número, gerando um quadro de preocupação, pois fragmentos pequenos não conseguem dar suporte à espécies como mamíferos e aves de tamanho maior, e podem estar camuflando um processo intenso de retalhamento e fragmentação provocado pela ação antrópica. Além disso, a métrica evidencia que quanto menos fragmentada for uma determinada área, ou seja, mais homogênea ela for, esse valor será igual a um (1), caso contrário, a tendência é o infinito adimensional, o que implicaria em dizer que a paisagem apresenta um grau de fragmentação considerável. Dentre as outras cinco microbacias, a que apresenta o melhor

índice NP, é a microbacia 2, uma vez que é a menor de todas as áreas e a que possui poucos fragmentos, conforme demonstra a Tabela 02 (ver pág. 98) criada a partir dos dados gerados no e-Cognition.

O fenômeno de fragmentação em ambiente de caatinga é preocupante, uma vez que se trata de um ambiente ecologicamente vulnerável às ações antrópicas e às intempéries.

No cálculo da densidade de fragmentos da classe para cada 100 hectares da paisagem, foi adotado o índice PD. Esse índice, conforme a Tabela 17, evidenciou, assim como o índice NP, a fragmentação existente na microbacia 1. O índice PD demonstrou que, para cada 100 hectares da paisagem, existem 33.115 fragmentos, o que demonstra, juntamente com o índice NP, a fragmentação existente nessa área. Para esse índice, quanto mais próximo de zero (0) menos fragmentada encontra-se a paisagem, e quando PD atingir seu limite máximo, ou seja, o tamanho da célula da imagem raster, mais fragmentada ela será.

Para avaliar a forma da paisagem, foi adotado o índice LSI, o qual fornece uma medida simples de agregação, ou seja, se a paisagem é constituída por uma feição espacial única, idêntica a um quadrado. Essa métrica é utilizada para avaliar qual o nível de desagregação dos fragmentos, o que fornece uma ideia de como está o processo de fragmentação da paisagem local.

Conforme a Tabela 18, a microbacia 1 apresentou um valor muito alto de desagregação para toda a paisagem, isto é, cerca de 60.587, evidenciando uma situação de fragmentação altíssima.

O valor de desagregação alto da microbacia 1 é devido ao uso intensivo do solo através das práticas agrícolas e da retirada da madeira para ser vendida sob a forma de estacas, mourões, varas, lenha e carvão, o que implica na eliminação desses fragmentos. A variação do índice LSI se dá através da seguinte lógica: LSI = 1 quando a paisagem é constituída por um único quadrado (ou seja, quase quadrada); isso não ocorrendo, torna-se mais desagregado, ou seja, LSI ≥ 1, sem limite. Já a microbacia 2 apresenta o menor valor de desagregação, com valor de 9.6571, o que comprova que devido a sua área ser a menor de todas, é a que apresenta, juntamente com a métrica NP, o nível de homogeneidade maior.

Tabela 18: Resultado das métricas relativas ao nível de paisagem – métricas de forma, central, diversidade e de contágio e intercalação.

Microbacias	Métrica Contágio e Intercalação	Métrica Forma	Métrica Forma	Métrica Área Central	Métrica de Diversidade
	MESH (ha)	LSI (LSI ≥ 1 ate infinito)	SHAPE_MN (shape ≥ 1)	TCA (ha)	PRD (n°/100)
Micro 1	137.0507	60.5871	2.865	3171.5945	0.0964
Micro 2	21.3918	9.6571	25.186	564.0511	0.5752
Micro 3	77.3187	13.0827	22.014	4677.6351	0.0620
Micro 4	295.7134	33.0094	23.591	12389.2050	0.0477
Micro 5	137.7785	27.6037	21.070	8505.6101	0.0631
Micro 6	31.7696	25.1370	22.294	6680.5911	0.0615

Ainda conforme a Tabela 18, foi calculada a métrica MESH, a qual avalia a diversificação da paisagem ou a heterogeneidade do mosaico como um todo. Dessa maneira, quanto maior o valor em hectares, maior será a diversificação da paisagem. Dessa forma, a microbacia 2 obteve o melhor índice entre as seis microbacias, ou seja, é mais homogênea, possuindo poucas manchas isoladas.

Para o cálculo da métrica TCA, que equivale à soma das áreas centrais de cada fragmento (m²) para cada classe, dividido por 10000 ha, os valores da matriz de profundidade tiveram borda de 10,00 metros de largura. Dessa maneira, os núcleos (áreas centrais mais preservadas e menos vulneráveis) são difíceis de ser estabelecidos em fragmentos de pequenas dimensões. De acordo com a Tabela 18, a métrica TCA é muito mais elevada para a microbacia 4 (12389,2050 ha) quando comparada à microbacia 1 (564,0511ha). O TCA tende a zero, quando todos os fragmentos de cada classe estão dentro da distância especificada de profundidade a partir do perímetro da área do fragmento.

Através da métrica PRD pode-se observar, na Tabela 18, que a diversidade dos fragmentos é menor para a microbacia 4, o que evidencia uma variedade significativa de fragmentos (pequenos e grandes) na totalidade da paisagem. Esse índice padroniza a riqueza no que se refere à diversidade da paisagem em relação ao tamanho dos fragmentos. Através desse índice, pode-se perceber que a microbacia 1 apresenta o maior índice, o que demonstra uma diversidade muito elevada de fragmentos, que, por sua vez, caracteriza a fragmentação.

E por fim, para realizar o cálculo da forma média para a área, foi utilizado o índice de forma médio ponderado (SHAPE_MN), que nada mais é do que a média do índice (SHAPE) do *software* Fragstats. Tendo como base a Tabela 18, pode-se constatar que a microbacia

apresenta um valor de 2,8659 para toda a paisagem, o que significa que a mesma é relativamente mais diversificada, ou melhor, mais distante de uma forma básica do tipo quadrada. Ou seja, a microbacia Rio do Tigre apresenta uma forma mais irregular, indicando a presença de fragmentos mais alongados. Dessa forma, o índice SHAPE_MN é igual a 1 (um) quando o fragmento é mais compacto, assumindo uma forma quase quadrada; se não ocorrer isso, seu limite tende a se afastar de 1 (um) e se torna mais irregular, além de ser mais recortado e suscetível ao efeito de borda.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a estrutura da paisagem e os padrões espaciais da cobertura vegetal na Sub-bacia do Riacho do Fundão –localizada no Bioma caatinga –, no interior da Paraíba, através da integração de análise digital de imagens de alta resolução espacial (imagem orbital do sensor HRC de 2,5 m) a partir de técnicas de classificação orientada a objetos com métricas de paisagem. A partir da análise dos resultados, verifica-se que essa abordagem apresenta um bom potencial para caracterizar e avaliar a situação da paisagem, principalmente quando se refere ao processo de fragmentação de áreas naturais em ambiente semiárido.

A segmentação multiresolução (*Multiresolution Segmentation*) mostrou-se eficaz para caracterizar regiões semiáridas, tendo em vista que as imagens pancromáticas apresentaram efeito de borramento na parte Sul da Sub-bacia, nas imagens de 2009, e a saturação (brancos) dos níveis de cinza dos *pixels* na parte Norte da Sub-bacia, obtida no ano de 2008, bem como as discrepâncias de brilho e contraste das imagens, que possibilitaram, após o mosaico das 4 cenas, a geração de uma zona intermediária localizada no centro da Sub-bacia, especificamente na microbacia 3, com valores de brilho e contraste altos que levam a crer tratar-se de saturação dos valores de nível de cinza da imagem.

A utilização da representação do conhecimento no desenvolvimento do plano hierárquico da rede semântica – com vistas à estratificação tipológica para a vegetação de caatinga – foi importante para facilitar a interpretação visual dos elementos geográficos das imagens orbitais, baseando-se no padrão de reflexão tonal e no delineamento das formas espaciais nas seis microbacias. Isso fica evidente quando se analisa as segmentações desenvolvidas para as microbacias 4 (Riacho Comprido), 5 (Riacho do Fundão III) e 6 (Riacho da Grota do Saco Grande), pois foi possível segmentar grande parte dos alvos da mata de brejo (Floresta Decidual Montana) e dos trechos de riacho.

A classificação das imagens nas seis microbacias mostrou-se coerente com a realidade, contudo, apenas a microbacia 3 (Riacho do Fundão II) apresentou problemas no que se refere à classificação final, tendo em vista a problemática das discrepâncias de brilho e contraste das imagens que sobrepuseram o perímetro. Outra problemática diagnosticada diz respeito à classificação orientada a objeto em imagens pancromáticas de alta resolução – imagem do sensor HRC – em ambiente semiárido, uma vez que as feições espaciais como, por exemplo, a drenagem e o solo exposto, confundem-se no momento de executar a classificação. Dessa forma, faz-se necessário a fusão com outras bandas multiespectrais

para delinear melhor esses alvos, possibilitando, por conseguinte, a confecção de mais regras para uma validação mais fiel da realidade.

A integração entre modelagem de conhecimento e as métricas de paisagem permitiram mensurar e avaliar a situação espacial das seis microbacias, possibilitando diagnosticar áreas que estão sofrendo um processo de fragmentação bastante alta nas suas áreas naturais (vegetação de caatinga), como é o caso da microbacia 1 (Rio do Tigre) e de áreas que, apesar de estarem inseridas em áreas de proteção ambiental – APA das onças – , apresentam índices preocupantes de fragmentação, como é o caso das microbacias 4 (Riacho Comprido), microbacia 5 (Riacho do Fundão III) e microbacia 6 (Riacho da Grota do Saco Grande), as quais apresentam índices que demonstram uma substituição constante das áreas de mata de brejo por campos agrícolas e pastagem.

De uma forma geral, a metodologia adotada foi muito importante para a pesquisa, uma vez que foi aplicada em uma Área de Proteção Ambiental (APA), bem como integrou imagens de alta resolução, sistema baseado em conhecimento – baseado na técnica de classificação orientada a objeto –, e parâmetros ou métricas de paisagem para quantificar a composição da paisagem em um ambiente de caatinga.

A falta de uma metodologia cientificamente unificada e aplicada em um ambiente semiárido – especificamente no Bioma Caatinga e em uma área que contempla um microclima local que condiciona a formação de Mata Atlântica de altitude, ou seja, brejos de altitude –, tendo como foco epistemológico a classificação orientada a objeto em imagem pancromática de alta resolução HRC e as métricas de paisagens, condicionaram algumas dificuldades ao longo do trabalho.

A metodologia integrou indicadores da composição e configuração da paisagem com imagens de alta resolução espacial, o que possibilitou identificar e determinar as características da estrutura da paisagem na percepção de escala setorial, pois com o advento da problemática espectral e radiométrica da imagem pancromática do sensor HRC, o mosaico da Sub-bacia hidrográfica do Riacho do Fundão precisou ser subdividido em seis microbacias, separando-as em unidades ambientais com características biogeográficas semelhantes.

Com a aplicação da "*landscape metrics*" e a classificação das imagens de alta resolução, foi possível avaliar, de forma mais detalhada, se as unidades (manchas) inseridas no mosaico de paisagens estão com algum comprometimento ambiental, pois quanto menor for o fragmento florestal e a classe, menor será a biodiversidade presente e maior o risco de extinção de espécies.

Os resultados obtidos mostraram que os sistemas baseados em conhecimento, através das técnicas de classificação e segmentação da imagem orbital de alta resolução, poderão auxiliar nos estudos da Ecologia de Paisagem, uma vez que a estruturação da paisagem (padrões espaciais) terá uma exatidão maior em relação aos estudos realizados com imagens de média resolução espacial.

Espera-se que a metodologia integrada da Ecologia de Paisagem com as tecnologias de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas, principalmente com a adoção de softwares como o e-Cognition e o *Fragstats*, possam se tornar eficazes nos estudos da paisagem, e que o uso dessas mostre-se adequado para a avaliação da situação ambiental dos ecossistemas.

Espera-se que a adoção de métricas/índices da paisagem com imagens orbitais de alta resolução, tendo como base um detalhamento mais setorizado, possam servir como subsídio para novos estudos de sensoriamento remoto da cobertura vegetal.

Nessa perspectiva, pretende-se que o presente estudo possa vir a contribuir para o desenvolvimento do estudo quantitativo da estrutura da paisagem no Brasil, uma vez que este é um país continental possuidor de uma composição e riqueza florestal incalculáveis.

8 – REFERÊNCIAS

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de Ambiente Ciliar Baseada em Orientação a Objeto em Imagens de Alta Resolução Espacia**l. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

ATECEL. **Plano Diretor Sócio-Econômico e Ambiental do Estado da Paraíba**. Diagnóstico. MMA/INCRA (SR-18/PB), 2002.

BAATZ, M.; et al.. **e-Cognition Professional User Guide 4**. München, Germany: Definiens Imaging GmbH, 486 p. 2006.

BAATZ, M. And where does it come from? In: OBIA'06 - 1st International Conference on Object-Based Image Analysis, 4-5 jul 2006, Salzburg, Áustria. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 34-4/C42. Salzburg: Universität Salzburg, 2006.

BARRETO, J. M. **Inteligência artificial no limiar do século XXI: abordagem híbrida**. Florianópolis-Brasil: J. M. Barreto, 1999.

BENZ U., et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. (2004): **Rev. Elsevier Science B.V. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 58: 239–258

BEZERRA, H. S. et al.. Desempenho do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres cbers-2 no mapeamento da cobertura da terra no distrito federal, Brasil. **Rev. Brasileira de Geofísica**, v. 25(2), p. 171-185, 2007.

BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H.. **Sensoriamento remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2ª ed. 303 p.

BLASCHKE, T.; STROBL, J.. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing Remote Sensing and GIS. **Journal for Spatial Information and Decision Making**. n. 6, v.. 1, p. 12-17, 2001.

BLASCHKE, T.. Object based image analysis for remote sensing. **Rev. Elsevier Science B.V. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 2009.

BRANCO, S. M.. **Caatinga**: a paisagem do homem sertanejo. São Paulo-Brasil: Moderna, 1998.

BUREAL, F.; BAUDRY, J.; Landscape Ecology concepts, methods and applications. New Hampshire-país: **Rev. Science Publishers**, Inc. Enfield, 2003.

CAMPOS, V. O. et al. Um Método para Modelagem do Conhecimento Multitemporal no Processo de Classificação Automática de Imagens de Sensores Remotos: **Rev. Brasileira de Cartografia**, n.57, vol. 1, 2005b. p. 28-35.

CAMPOS, V. O. **Um Método de Modelagem do Conhecimento Multitemporal para a Interpretação Automática de Imagens de Sensores Remotos**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Brasil. Mestrado em Engenharia Elétrica, 2005.

CÂMARA, G.; et al. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2 ed. São José dos Campos-Brasil: INPE, 2001.

CARRAO, H.; et al. **LANDIC – Cálculo de Indicadores de Paisagem em ambiente SIG**. In: Anais... Oeiras-Portugal: Encontro de utilizadores de Informação Geográfica (ESIG), v. 1, n. 1, nov., 2001.

CASIMIRO, P. C. **"Uso do Solo –** Ecologia da Paisagem: Perspectivas de uma Nova Abordagem do Estudo da Paisagem em Geografia**.** Lisboa-Portugal: **Rev. GeoInova Universidade Nova de Lisboa – F.C.S.H**., v. 1, n. 2, p. 45-66, 2000.

CAVALCANTI, D. R. ; TABARELLI, M. . **Distribuição das plantas amazônico-nordestinas no centro de endemismo Pernambuco: brejos de altitude vs. Florestas de terras baixas**. In: Katia C. Porto; Jaime J.P. Cabral; Marcelo Tabarelli. (Org.). Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004, v. Único, p. 285-296.

CAZES, T. B. **Interpretação Baseada em Conhecimento de Imagens de Sensores Remotos de Alta Resolução**. Rio de Janeiro-Brasil: Dissertação em Engenharia Elétrica Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005. Documento interno Disponível em: <http://www.nima.puc-rio.br/cursos/pdf/018_thiago.pdf >. Acesso em: 19 mar. 2010.

CECÍLIO,R.A.; REIS,E.F. **Apostila didática:** manejo de bacias hidrográficas. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

CHAGAS, C. S. et al.. Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens. São paulo-Brasil: **Rev. bras. Engª. Agrícola Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 319-327, 2009.

DAL POZ, A. P. **Reconhecimento e delineamento automático de segmentos de rodovia através de agrupamento de objetos semânticos**. In: Anais III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, PR. v. 1. p. 1-16, 2003.

DEBIASI, P. et al.. **Correções e Avaliações Geométricas imagens CCD-CBERS 2**. *In*: II Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia na UFRGS, 2007, Porto Alegre. II Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia na UFRGS. Porto Alegre : UFRGS, v. 1. p. 19-25, 2007.

DIAS, J.; SANTOS, L. **A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do espaço sócio-ambiental rural**. Confins, n. 1, 2º semestre, 2007.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS (DCA/UFCG). **Dados climatológicos do nordeste do Brasil**. Disponível em: <http://www.dca.ufcg.edu.br>. Acesso em: Julho 2011.

DRAMSTAD, W. E.;OLSON, J. D.; FORMAN, R. T. T. **Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning**. Washington D.C.-USA: Harvard University Graduate School of design, Island Press and American Society of Landscape Architects, 1996, 80 p.

EHLERS M., & U. MICHEL, G. **Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology VIII**. In : Proceedings of the SPIE Conference on Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology VI, Cardiff, Wales, United Kingdom, 28 September Vol. 6366 pp. 432, 2008.

EHLERS, M. et al.. Automated techniques for environmental monitoring and change analyses for ultrahigh-resolution remote sensing data. **Rev. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing** 72 (7), 835-844. 2006.

EPIPHANIO, J. C. N.. **CBERS: estado atual e futuro**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2009, Natal. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, v. 15, 2009.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Landscape Ecology**. Washington D.C.-USA: EPA, Documento interno. Disponível em: http://www.epa.gov/nerlesd1/land-sci/default.htm. Acesso em 19 de abril de 2010.

ESPINDOLA, G. et al.. Avaliação das características temáticas e geométricas das imagens CCD do CBERS para fins cartográficos. **Rev. Militar de Ciência e Tecnologia**, v. XI, p. 1, 2004.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas.** Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FARINA, A. **Principes and Methods in Landscape Ecology**. Kluwer Academic Publishers, 2000, 235 p.

FEITOSA, R. Q. et al. **Impacto de técnicas baseadas em conhecimento na análise de imagens de média resolução para mapeamento do desflorestamento na Amazônia**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16-21 abr 2005, Goiânia. In: Anais São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4065-4072.

FERNANDES, A. M. R.. **Inteligência Artificial – noções gerais**. Florianópolis: Editora Visual Books, 2003.

FERRI, M. G. **Transpiração nos principais ecossistemas brasileiros e em espécies cultivadas no Brasil**. In: Fisionomia Vegetal. São Paulo-Brasil: Editora Pedagógica e Universitária, p.25-74, 1985.

FLORES, C. D. **Fundamentos dos Sistemas Especialistas**. *In*: BARONE, D. A. C. Sociedades Artificiais: a nova fronteira da inteligência nas máquinas 1 ed. Porto Alegre-Brasil: Bookman, 2003, 332 p.

FROHN, R.C. **Remote Sensing for Landscape Ecology – New Metric Indicators for Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems.** Boca Rator: Lewis, 1998, 99 p.

G.J. Hay et al. A comparison of three image-object methods for the multiscale analysis of landscape structure. **Rev. Elsevier Science B.V. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 327–345, 2003.

GENELETTI, D.; GORTE, B. G. H. **A method for object-oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photographs.** International Journal of Remote Sensing. vol. 24, n. 6, 1273–1286 2003

GOETZ, S.J., et al.. "IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region". **Rev. Elsevier Science Remote Sensing of Environment**, n. 1-2, v. 88, p. 195–208 (2003).
GONÇALVES, L. et al.. Exploração de imagens de alta resolução do satélite IKONOS. In: Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG 2001). Série Comunicação. Lisboa, 22 p. (2001).

GONÇALVES, L.M.S. et al. **Evaluation of remote sensing images classifiers with uncertainty measures**. *In*: VI International Symposium on Spatial Data Quality (ISSDQ) 06 a 08 de julho 2009.

GUERRA, C.E. & CALDAS, N.S.. **Classificador fuzzy não supervisionado aplicado à detecção de biomas: uma aplicação do algoritmo FCM e dos índices de validação de clusters**. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil: INPE, 30 de abril a 05 de maio de 2011, p.7348.

HOFFMANN, A; VEGT, J.W.V. New sensor systems and new classification methods: laser- and digital camera-data meet object-oriented strategies. **Journal for Spatial Information and Decision Making**, v. 1, n. 6, p. 18-23, Jun, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. **Noticias do semiárido**. Brasília-Brasil: IBGE.Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169&id_pagina=1>: Acesso em: 04 jan. 2010

International Association for Landscape Ecology (IALE). **What is landscape ecology?** Documento interno. Disponível em: <http://www.landscape-ecology.org/>: Acesso em 21 mar. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Especificações do satélite CBERS-2B.** São José dos Campos-Brasil: INPE. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br>: Acesso em: 12 mar. 2010.

JOLY, A. B. **Conheça a vegetação brasileira**. São Paulo-Brasil: EDUSP/Polígono, 1970, 165 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. Oficina de Textos, São Paulo, 2002. 178p.

LIEDTKE, C. E.; et al. AIDA: **A system for the knowledge-based interpretation of remote sensing data**. In: Anais Copenhagen-Dinamarca: Proceedings of the Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 1999.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York-EUA: John Wiley & Sons, Inc. Madison, 4. ed., 2000. 721 p.

LUSTOSA, V. G**.** O Estado da Arte em Inteligência Artificial. Brasília-Brasil: **Rev. Digital da CVA – Ricesu**. v. 8, p. 1-11, set. 2004.

KÖPPEN, W. P. **Climatologia,** com un estúdio de los climas de la tierra. Cidade del México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

MALLINIS, G. et al.. Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site. **Rev. Elsevier Science B.V ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,** v. 63, p. 237 – 250, 2008.

MACHADO, Liliane S.. **A Realidade Virtual em Aplicações Científicas**. Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

MATHIEU, R. et al. Object-Based Classification of Ikonos Imagery for Mapping Large-Scale Vegetation Communities in Urban Areas. **Rev. Sensors**, n. 7, p.2860-2880, 2007.

McGARIGAL, K. & MARKS, B. J. **FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifyng Lanscape Structure**. Portland-USA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station U.S.D.A., 1995. 122 p.

MELO, S. T. et al.. **Atualização do Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa Lenhosa do Estado da Paraíba e Diagnóstico Florestal**. In: Atualização do Diagnóstico Florestal do Estado da Paraíba. João Pessoa-Brasil: SUDEMA, 2004 268 p.

METZGER J. P. O que é ecologia de paisagens?. São Paulo: **Rev. Biota Neotropica**. v. 1 e 2, n. 12, 2001.

METZGER J. P. **Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica**. In: Anais... Academia Brasileira de Ciências, v. 71, n.3, p. 445-463, 1999**.**

MORELLI, A. F. **Identificação e Transformação das Unidades de Paisagem no município de São José dos Campos (SP) de 1500 a 2000**. Rio Claro-Brasil: Doutorado em Geociências e Meio Ambiente Universidade Estadual Paulistana, 2002, 404 p.

MOTA, G. L. A.; **Interpretação baseada em conhecimento aplicada a imagens multitemporais de satélite de baixa resolução**. Tese de Doutorado, PUC-RIO, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004a.

MOTA, G. L. A.; FEITOSA, R. Q.. **Interpretação baseada em conhecimento aplicada a imagens multitemporais de satélite de baixa resolução.** Rio de Janeiro-Brasil: Doutorado em Engenharia Elétrica Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, (2004) 210 p.

MOREIRA, M. A.. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. São José dos Campos: INPE, (2001) 250 p.

NAVEH, Z. & LIBERMAN A. S.; **Landscape Ecology: theory and aplications.** 2 ed. New York-USA: Springer-Verlag, 1994.

NIEMANN, H., et al. ERNEST: A Semantic Network System for attern Understanding. **Rev. IEEE Computer Society - Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)**, v. 12, n. 9, p. 883–905, setembro1990.
Disponível em: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/34.57683>: Acesso em: 08 set. 2010.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. edição. São Paulo: Ed. Blucher, 2008. Revisada e ampliada.

NUCCI, J. C. . Origem e desenvolvimento da Ecologia e da Ecologia da Paisagem. **Rev. Eletrônica Geografar**, Curitiba, v. 2, n. 1, p.77-99, jan./jun. 2007.

OLIVEIRA, J. B; JACOMI, P. K. T & CAMARGO, M. N. **Classes Gerais de Solos do Brasil**. Guia Auxiliar para seu Reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.

O'NEILL, R. V.; KRUMMEl, J. R.; GARDNER, R. H.; et al. Indices of landscape pattern. **Rev. Landscape Ecology**, vol. 1, n. 3, p. 153 –162, 1988.

PAHL, M., 2008. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. São José dos Campos-Brasil: PhD Thesis, University of Hannover (Tradução), INPE, 2008, 95 p.
Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.07.18.31>. Acesso em: 18 mar. 2010.

PEROTTO, F. S.; VICARI, R.M. (2001). Modelagem do Conhecimento, Sistemas Especialistas e o Projeto SEAMED. **Rev. Eletrônica de Iniciação Científica (REIC)**, v.1, n.1 Disponível em:
http://www.sbc.org.br/index.php?language=1&subject=101&content=article&option=pdf&aid=93 . Acesso em: 20 mar. 2010.

PINHEIRO, E. S.. Imagens com alta resolução espacial: novas Perspectivas para o sensoriamento remoto. **Rev. Espaço e Geografia**, vol. 6, n.1, p. 43-64, 2003.

PINHO, C. M. D. et al. **Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o Caso de São José dos Campos – SP.** In: Anais... Florianópolis-Brasil: INPE - XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamente Remoto, v. 1, n. 1, p. 637-644, 2007.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objeto de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do uso do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos**. São José dos Campos-Brasil: Mestrado em Sensoriamento Remoto Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE, 2005. 180 p.

PINHO, C. M. D. et al.. **Caracterização de bairros urbanos em imagens de alta resolução espacial utilizando sistema de classificação baseado em conhecimento**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 25-30 abr 2009, Natal, Brasil. Anais... São José dos Campos, SP: INPE, 2009.

PINHO, C. M. D. et al.. Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o Caso de São José dos Campos - SP, Brasil. In: Anais... Florianópolis-Brasil: INPE - XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamente Remoto, vol. 1, n. 1, p. 637-644, 2007.

PIVELLO, V.R & METZGER, J.P. Diagnóstico da pesquisa em Ecologia de Paisagens no Brasil (2000-2005)**. Rev. Biota Neotropica,** vol. 7, n. 3, set/dez 2007.

PRADO, D. E. **As Caatingas da América do Sul**. Rio de Janeiro-Brasil: Contexto, 2003.

PNUD/FAO/IBAMA/Governo do Estado da Paraíba. **Consumo de Energéticos Florestais no setor Domiciliar do Estado da Paraíba**. João Pessoa: IBAMA, 1994.

RISSER, P. G.;KARR, J.R.; FORMAN, R.T.T. Landscape Ecology: directions and approaches. **Rev. Special Publication**, v.3, n.2, p. 20. Illinois Natural History Survey. Champaign Illinois, 1984.

RODRIGUES, A. G. et al. **Estudo Comparativo entre as Técnicas Máxima Verossimilhança Gaussiana e Redes Neurais na Classificação de Imagens IR-MSS e CBERS 1**. In: I Workshop de Ciências da Computação e Sistemas de Informação da Região Sul (I Workcomp Sul). Palhoça-SC: Anais do I Workcomp Sul, 2004.

SCHWARZ, M; et al. **Detection of storm losses in alpine forest areas by different methodic approaches using high-resolution satellite data**. 2002. Disponível em: <http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>. Acesso em: 12 out. 2011.

SILVA, J.M.C. et al. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

SCHIEWE, J., et al., **Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing**. GeoBIT/GIS n. 6, p. 34-39, June 2001.

SOWA, J. F. **Semantic networks**. 2002.
Disponível em: <http://www.jfsowa.com/pubs/semnet.htm>. Acesso em: 05 out. 2010

SUDEMA. Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: MMA/SUDEMA/SEBRAE, 2004.

TAVARES J. J. B. et al. **Avaliação de Imagens Ikonos II e Quickbird para Obtenção de Bases Cartográficas para o Cadastro Técnico Municipal.** In: Anais Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, COBRAC 2006. Florianópolis. UFSC, 2006.

TENEDÓRIO, J. A. Detecção Remota: da informação ao conhecimento geográfico. Lisboa-Portugal: **Rev. GeoInova Universidade Nova de Lisboa – F.C.S.H**, n.4 – 2001, pp. 9-11 (2000).

VELOSO, H. P. et al. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro-Brasil: IBGE, 1991. 124 p.

VOLOTÃO, C. F. de SÁ. **Trabalho de análise espacial: Métricas do FRAGSTATS.** São José dos Campos, São Paulo – SP: INPE, 1998.

WU, J. & HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. **Rev. Landscape Ecology,** v. 17, n. 14, p. 355-365, 2002.