



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

RAIMUNDO COSTA FILHO

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
APLICADAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE CANTÁ,
ESTADO DE RORAIMA**

Boa Vista
2011

RAIMUNDO COSTA FILHO

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
APLICADAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE CANTÁ,
ESTADO DE RORAIMA**

Projeto de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Recursos Naturais.

Orientador: Prof^o. Dr. Stélio Soares
Tavares Júnior

Boa Vista
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na publicação (CIP)

Xxxxx Costa Filho, Raimundo

Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas ao planejamento territorial do município de Cantá, Estado de Roraima/Raimundo Costa Filho. Boa Vista, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Recursos Naturais. Universidade Federal de Roraima.

1. Geociências. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Geoprocessamento. 4. Gestão Territorial. I – Título. II – Tavares Júnior, Stélio Soares.

RAIMUNDO COSTA FILHO

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
APLICADAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE CANTÁ,
ESTADO DE RORAIMA**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 30 de agosto de 2011 e avaliada pela seguinte banca examinadora.

Dr. Caio Augustus Fortes
IACTI-RR

Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior
Universidade Federal de Roraima

Prof^ª. Dr^ª. Luiza Câmara Beserra Neta
Universidade Federal de Roraima

Aos meus pais por me
proporcionarem as oportunidades
que não tiveram.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me proporcionado a existência até aqui;

À Universidade Federal de Roraima pelo excelente curso oferecido;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio institucional e a turma 2010;

Aos colegas do Pronat: Ilzo, Ramão Luciano, James, Tiago, Karen, Marlene; Márcia;

Aos professores Marcos Vital e Gardênia Cabral pelo apoio institucional e amizade;

Ao meu orientador professor Stélio pelo conhecimento e humildade a mim repassados;

À minha família pelo eterno apoio em todos os momentos;

À minha amada Paula Amantino pelo apoio integral;

Ao meu grande irmão eng. Ramildo Cavalcante Costa;

Ao meu grande amigo Daniel Gianluppi;

Ao meu amigo José Antônio de Castro Neto;

Aos amigos e mestres: José Frutuoso, Henrique, Carlos Sander, Cirino, Fábio, Albanita;

À Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima (Femact), especialmente aos amigos Alessandro Sarmento, Rair Fiel, Adeildo Oliveira, Antônio José, Josenildo Silva, Pedro Milton, Rosiray Charles, Rogério Campos, Lourdes, Maria Lindalva, Ediana Assad, Antônio Bentes;

Ao Instituto de Desenvolvimento Florestal de Roraima (Idefer) especialmente aos amigos Jair Dall'Agnol, Caio Augustus, Tiago Moratto, Cláudia Regina;

Ao amigo e ilustre roraimense General de Divisão Jorge Ernesto Pinto Fraxe pelos conhecimentos a mim repassados;

Ao amigo Coronel de Engenharia Carlos Alberto Maciel Teixeira pelo apoio e conhecimentos a mim repassados;

Ao Exército Brasileiro pela hierarquia e disciplina a mim ensinado, especialmente aos amigos TC. Geordane, TC. Edimilson, Maj. Ilson, Maj. Bastos, Cap. Figueiredo, Cap. Ferreira, Cap. Breno, Cap. Fonseca, Cap. Fernandes, Cap. Kleberon, Ten. Éder, Ten. Ricardo, Ten. Vieira, Ten. Lino, Ten. Macedo, Sgt. Lohmann, Sgt. Gilberto, Sgt. Marcelo, Sgt. Freire, Sgt. Lisarb, Sgt. Roseli, Sgt. Nunes, Sgt. Feijó;

Ao Tribunal de Contas da União (TCU) especialmente aos amigos José Barreto, João Ricardo, Ricardo Antunes, José Pedro.

*Os cães ladram e a caravana passa...
Existe uma estrela a ser seguida, um
sentimento a ser preservado e nada vai
impedir que a caravana siga seu rumo...*

(Sandra Nasrallah)

RESUMO

No Município de Cantá, assim como em toda a Amazônia, atividades de uso da terra vêm sendo praticadas (por madeireiros, pecuaristas e agricultores) de forma extensiva e predatória ocasionando, muitas vezes, a degradação do meio ambiente. Utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, este trabalho contribui para a Gestão Territorial do Município de Cantá através do desenvolvimento dos seguintes procedimentos operacionais: análise das modificações ocorridas na cobertura vegetal do município e sua integração com os diferentes componentes do meio físico (Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Clima.); indicação das áreas que precisam ser preservadas e/ou recuperadas ou que possam ser utilizadas sob manejo; delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Terras Indígenas; e ainda uma estimativa de área do município para a manutenção de Reserva Legal, tomando como base as leis ambientais nº 4.771 (Lei Federal de 15 de setembro de 1965) e 5.887 (Lei Estadual de 11 de maio de 1965), a Resolução nº 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e a Medida Provisória nº 2.166-67 (de 24 de agosto de 2001).

ABSTRACT

In the municipality of Cantá, in Roraima State, as well as in the Amazônia, land use activities have been practiced (by loggers, cattle raisers and agriculturiers) in an extensive and predatory way, causing, many times, the degradation of the environment. Using Remote Sensing and Geoprocessing techniques this work contributes to land use management of municipality of Cantá and the following tasks have been developed to: analyse the modification occurred in the vegetation canopy of the municipality and its integration to the different components of the physical environment (Geology; Geomorphology, Pedology and Climate); indicate the areas that need to be preserved, recovered, or could be used under management; delimitation of the permanent preservation areas and Indian lands. Other important result is the estimate of the municipality area for maintenance of the legal reserve based on the environmental laws: Federal law N° 4771 from September 15, 1965 and State law N° 5887 from May 11, 1965; Resolution N° 303 from the Environment National Council (CONAMA); Provisory Act n° 2166-67 from August 24, 2001.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas	27
Figura 2 – Escala de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem	28
Figura 3 – Características observadas para avaliar a vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem	29
Figura 4- Obtenção de imagens por sensoriamento remoto	30
Figura 5 – Imagem de RADAR com feições lineares de relevo e drenagem	31
Figura 6 - Espectro eletromagnético	33
Figura 7 – Curva espectral da vegetação, da água e do solo	35
Figura 8 – Cidade de Manaus com resolução 30x30 m à esquerda e 1x1m à direita ..	37
Figura 9 – Imagem óptica do norte do Estado de Roraima	44
Figura 10 – Imagem de RADAR SAR da região do baixo rio Branco no estado de Roraima	45
Figura 11 – Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica	52
Figura 12 – Classes de operações geográficas	55
Figura 13 – Localização da área de estudo, imagem Landsat-5	59
Figura 14 – Modelo conceitual do banco de dados	61
Figura 15 – Técnicas de processamento de imagem	62
Figura 16 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns	67
Figura 17 – Valores de vulnerabilidade à perda de solo para a amplitude altimétrica	68
Figura 18 – Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas	69
Figura 19 – Valores de vulnerabilidade para o grau de dissecação do relevo	69
Figura 20 – Valores de vulnerabilidade dos solos.	71
Figura 21 – Valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra	72
Figura 22 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo	73
Figura 23 – Operação pontual de ponderação em um geo-campo temático. No exemplo: Plano de Informação de Geologia, com aluviões (valor de vulnerabilidade = 3,0) em área sedimentar (valor de vulnerabilidade = 2,6)	74
Figura 24 – Modelo esquemático da operação de média aritmética	75
Figura 25- Imagem pré-processada da área de estudo na banda 4	81
Figura 26- Imagem processada com realce linear da área de estudo na banda 4	81

Figura 27- Imagem processada com realce gaussiano da área de estudo na banda 4 .	82
Figura 28- Imagem processada com realce quadrático da área de estudo na banda 4	82
Figura 29- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3	83
Figura 30- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce linear	83
Figura 31- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce de 0-255 níveis de cinza	84
Figura 32- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce de 2%	84
Figura 33- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce gaussiano	85
Figura 34- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce equalizado	85
Figura 35- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce quadrático	86
Figura 36- Imagem-erro da banda 3 realçada do sensor TM/Landsat	90
Figura 37- Plano de Informação de Cobertura Vegetal e Uso da Terra do Município de Cantá obtido por classificação usando o ISODATA	91
Figura 38 – Distribuição dos pontos de coleta de dados em campo	93
Figura 39 – Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra	103
Figura 40 – Mapa Climático	105
Figura 41- Mapa Geológico	106
Figura 42- Mapa Geomorfológico	107
Figura 43- Mapa Pedológico	108
Figura 44- Mapa Fitoecológico	109
Figura 45 – Mapa Geológico	112
Figura 46 – Mapa Geomorfológico	116
Figura 47 – Mapa Geomorfológico – Fragilidade à erosão	117
Figura 48 – Mapa Geomorfológico – Domínios Morfoesculturais	118
Figura 49 – Mapa Geomorfológico – Processos de formação	119
Figura 50 – Mapa Geomorfológico – Entalhamento dos vales	120
Figura 51 – Mapa Geomorfológico – Dimensão Interfluvial	121
Figura 52 – Mapa Geomorfológico – Domínios Morfoestruturais	122
Figura 53 – Mapa Geomorfológico – Relevo	123

Figura 54 – Imagem SRTM sombreada	124
Figura 55 – Modelo Digital de Elevação	125
Figura 56 – Extração de Curvas de Nível	126
Figura 57 – Mapa Pedológico	129
Figura 58 – Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo – Segundo Crepani et al.	131
Figura 59 – Mapa de Subsídio à Gestão Territorial – Projetos de Assentamento e Terras Indígenas	134
Figura 60 – Mapa de Subsídio à Gestão Territorial – Projetos de Assentamento, Terras Indígenas e Vulnerabilidade	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de Matriz de Confusão	76
Tabela 2 – Conceitos de eficiência do coeficiente de concordância kappa	78
Tabela 3 – Erros estimados para a imagem TM/Landsat-5 Órbita/Ponto 232/58 de 04 de janeiro de 2008	86
Tabela 4 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/58 de 03 de janeiro de 2009	87
Tabela 5 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/58 de 12 de janeiro de 2010	87
Tabela 6 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/58 de 02 de janeiro de 2011	87
Tabela 7 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 10 de março de 2008	87
Tabela 8 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 20 de março de 2009	88
Tabela 9 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 23 de março de 2010	88
Tabela 10 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 12 de março de 2011	88
Tabela 11 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 02 de abril de 2008	88
Tabela 12 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 13 de abril de 2009	89
Tabela 13 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 25 de abril de 2010	89
Tabela 14 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 28 de abril de 2011	89
Tabela 15 – Matriz de confusão obtida para o mapeamento feito antes do trabalho de campo (Mapa Pré-Campo)	100
Tabela 16 – Matriz de confusão obtida para o mapeamento feito antes do trabalho de campo (Mapa Pós-Campo)	101
Tabela 17 – Comparação entre os valores de Exatidão Global e índice kappa.....	102

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Ecodinâmica	18
1.2 As unidades de paisagem natural	19
1.3 Polígono de intervenção antrópica	20
1.4 Zoneamento ecológico-econômico e vulnerabilidade à perda de solo	23
1.4.1 Unidades de paisagem e a geologia	23
1.4.2 Unidades de paisagem e a geomorfologia	24
1.4.3 Unidades de paisagem e a pedologia	25
1.4.4 Unidades de paisagem e a cobertura vegetal e uso da terra	25
1.4.5 Unidades de paisagem e o clima	26
1.5 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem	27
1.6 Sensoriamento Remoto	29
1.6.1 Processo de aquisição de informações	31
1.6.2 Espectro eletromagnético	32
1.6.3 Composição colorida	35
1.6.4 Resoluções	36
1.6.4.1 Resolução espacial	36
1.6.4.2 Resolução espectral	37
1.6.4.3 Resolução radiométrica	38
1.6.4.4 Resolução temporal	38
1.6.5 Interpretação de imagens	39
1.6.5.1 Tonalidade	39
1.6.5.2 Cor	40
1.6.5.3 Textura	40
1.6.5.4 Tamanho	41
1.6.5.5 Forma	41
1.6.5.6 Sombra	42
1.6.5.7 Padrão	42
1.6.5.8 Contexto geográfico	43
1.6.6 Sensores imageadores	43
1.6.6.1 Sensores passivos	43
1.6.6.2 Sensores ativos	45

1.6.7	Processamento de imagens	46
1.6.7.1	Pré- processamento	46
1.6.7.1.1	Correção geométrica	46
1.6.7.1.2	Correção radiométrica	47
1.6.7.1.3	Correção atmosférica	47
1.6.7.2	Técnicas de processamento digital de imagens	48
1.6.7.2.1	Técnicas de realce	48
1.6.7.2.2	Transformação de imagens	49
1.6.7.2.3	Técnicas de filtragem	49
1.6.7.2.4	Classificação	50
1.6.8	Sistema de Informações Geográficas (SIG)	51
1.6.8.1	Arquitetura de um SIG	52
1.6.8.2	Características de um SIG	53
1.6.8.3	Álgebra de mapas	54
2	JUSTIFICATIVA	56
3	OBJETIVOS	58
3.1	Objetivo geral	58
3.2	Objetivos específicos	58
4	MATERIAIS E MÉTODOS	59
4.1	Área de estudo: município de Cantá	59
4.2	Materiais	60
4.2.1	Aquisição de dados	60
4.2.1	Seleção do material	60
4.2.2	Equipamentos e aplicativos	60
4.2.	Metodologia	61
4.2.1	Construção do banco de dados georreferenciados	61
4.2.2	Processamento digital de imagens orbitais	62
4.2.3	Registro e técnicas de realce	62
4.2.4	Classificação	63
4.2.5	Análise e interpretação de dados e imagens orbitais	63
4.2.5.1	Plano de Informação Cobertura Vegetal e Uso da Terra	63
4.2.5.2	Reinterpretação e ajuste dos mapas	63
4.2.5.3	Plano de Informação Geologia	63
4.2.5.4	Plano de Informação Geomorfologia	64

4.2.5.5 Plano de Informação Solos	64
4.2.5.6 Plano de Informação Intensidade Pluviométrica	64
4.2.5.7 Etapa de campo	65
4.2.6 Análise Ecodinâmica	65
4.2.6.1 Geologia	65
4.2.6.2 Geomorfologia	67
4.2.6.3 Solos	70
4.2.6.4 Cobertura vegetal e uso da terra	71
4.2.6.5 Clima	72
4.2.7 Integração dos dados	73
4.2.7.1 Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo	74
4.2.7.2 Mapa de Subsídio à Gestão Territorial	75
4.3 Avaliação do Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra.....	75
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
5.1 Processamento digital das imagens orbitais	80
5.1.1 Correção geométrica	80
5.1.2 Técnicas de realce	80
5.1.3 Modelo linear de mistura espectral e classificação	86
5.2 Análise e interpretação dos dados gerados	92
5.2.1 Etapa de campo	92
5.2.2 Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra	97
5.2.3 Análise dos resultados das classificações	98
5.2.4 Representação dos dados de Intensidade Pluviométrica	104
5.2.5 Análise e reinterpretação dos mapas pré-existentes	106
5.3 Integração dos dados gerados	130
5.3.1 Mapa de Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo	130
5.3.2 Mapa de Subsídio à Gestão Territorial	132
5.4 Banco de dados georreferenciados	135
6. CONCLUSÕES	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

1 INTRODUÇÃO

O território brasileiro possui a maior floresta tropical úmida (Floresta Amazônica) e a maior planície inundável (Pantanal) do mundo, além do Cerrado (savanas e bosques), da Caatinga (florestas semi-áridas) e da Mata Atlântica (floresta tropical pluvial). Sua costa marinha abrange 3,5 milhões de km² e apresenta uma grande variedade de ecossistemas, os quais incluem recifes de corais, dunas, manguezais, lagoas, estuários e pântanos, além de diversos ambientes de transição denominados ecotónos (AB' SABER, 1977).

A conservação da biodiversidade tem sido considerada um dos maiores desafios da humanidade para o próximo século. A identificação deste problema surgiu dos grandes impactos que as populações humanas têm causado à diversidade biológica levando a taxas de extinção jamais registradas na história da vida sobre a Terra (VENTURIERI, 2007).

A ocupação humana na Amazônia tem sido o resultado de um longo processo histórico. Resultados de pesquisas indicam que esse processo histórico de ocupação e construção do espaço da Amazônia tem início bem antes do colonizador europeu. No entanto, é mister afirmar que a partir do século XVI esse processo se acelera definindo a atual configuração espacial regional (VENTURIERI, 2007).

A ocupação da Amazônia ocorreu praticamente com as seguintes finalidades: manter a soberania do território e a exploração dos recursos naturais ali existentes. Em Roraima, esse contexto não foi diferente, principalmente pela sua localização estratégica, fazendo fronteira ao norte e noroeste com a República Bolivariana de Venezuela e ao leste e nordeste com a República Cooperativista da Guiana, portanto, era extremamente necessário manter a soberania do território na região. Além disso, a riqueza em recursos naturais na região impressionava os colonizadores, que inicialmente viram a grande possibilidade da pecuária extensiva nos campos do rio Branco.

Em 1787 o Coronel Manoel da Gama Lobo D'Almada, defendendo a coroa portuguesa, afirmou que uma das maiores vantagens que se poderia tirar do rio Branco era povoá-lo e colonizar toda aquela fronteira com as pessoas que habitavam as montanhas daquela região. Isso, porém, não significava que os portugueses não desejassem a exploração econômica do vale do rio Branco, pelo contrário. E por isso já tinham em mente a vinda de colonos europeus assim como a introdução do gado nos extensos campos naturais do rio Branco. Esse fato, a introdução da pecuária em Roraima veio acontecer, efetivamente, em 1789, com o próprio Lobo D'Almada introduzindo as primeiras cabeças de gado nos campos do rio Branco com animais, trazidos de Tefé, Amazonas (FREITAS, 2009, p. 119).

Conforme a classificação de Guerra (1956), a paisagem física do território do Rio Branco se dava em três regiões: do baixo rio Branco, do alto rio Branco e da montanhosa. Segundo esta classificação, a região do alto rio Branco tem a cobertura vegetal predominante

de campos, na qual predominou a pecuária extensiva. A região do baixo rio Branco tem a cobertura vegetal predominante de florestas, onde prevaleceu a exploração de recursos florestais, bem como, a pesca em menor escala. Na região montanhosa prevaleceu a produção extrativa mineral, principalmente do ouro e do diamante.

A ocupação do estado de Roraima vem sendo feita há séculos por pecuaristas, agricultores, madeireiros e garimpeiros, com a exploração de forma empírica dos recursos naturais, muitas vezes causando a degradação ambiental. A mais nociva forma de degradação ambiental é a perda de solo, portanto é extremamente importante o seu uso sustentável.

“Chamar uma atividade de ‘sustentável’ significa que ela pode ser continuada ou repetida em um futuro previsível. Com base nisso, a preocupação surge porque grande parte das atividades humanas é nitidamente insustentável” (BERGON; HARPER; TOWNSEND, 2010, p. 438).

Os problemas que vêm ocorrendo com os recursos naturais devem ser enfrentados de forma global e integrada, ou seja, aumentando a produtividade e a produção, procurando evitar o desgaste e empobrecimento do solo nas suas diversas fases e formas, através de práticas que aumentem a infiltração da água no perfil do solo, que intensifiquem a cobertura vegetal e que reduzam o escoamento superficial. Assim, além de controlar a erosão e o empobrecimento do solo, obtêm-se, como reflexo, melhorias da qualidade da água, afora a preservação da vida silvestre e do meio ambiente (LOMBARDI NETO, 1994).

Algumas das causas do esgotamento dos solos pela erosão podem ser controladas, e todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo são denominadas práticas conservacionistas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Assim sendo, podem ser consideradas conservacionistas todas as práticas às quais os solos agrícolas são submetidos com o intuito de controlar as perdas de solo e de água.

É importante ressaltar que a melhor forma de conservação dos solos agrícolas é ocupar a área de acordo com a sua capacidade de uso, o que pode otimizar seu aproveitamento econômico, reduzindo as perdas de água, e conseqüentemente, os riscos de erosão. Pruski (1996) alertou para o fato de que a classificação do solo, de acordo com a sua capacidade de uso e manejo, deve ser utilizada como base sobre a qual os fatores econômicos e sociais típicos da região.

Fruto da utilização desordenada dos recursos naturais, a erosão do solo vem, há muitos anos, causando graves prejuízos ao homem. Estima-se que nos Estados Unidos a erosão cause um prejuízo anual de cerca de US\$ 9 bilhões por ano (RIBAUDO; YOUNG, 1989), enquanto no Brasil, estes valores estariam próximos de US\$ 4,2 bilhões anuais (HERNANI et al.,

2002). Estes prejuízos estão relacionados não apenas aos custos relativos à reposição de corretivos e fertilizantes, à menor produtividade e aos maiores custos de produção. Fora isso, o prejuízo ambiental é incalculável, com perda do solo, as pressões sobre novas áreas serão intensas, e novamente inicia-se o ciclo de degradação.

O mapa de vulnerabilidade à perda de solo representa a análise do meio físico e biótico para a ocupação racional e uso sustentável dos recursos naturais. A sua associação com dados de potencialidade social e econômica oferece subsídio à gestão territorial (BRASIL, 1997).

1.1 Ecodinâmica

Uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre a biocenose. A morfodinâmica depende do clima, da topografia, do material rochoso. O conceito de unidades ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. Portanto, é completamente distinto do ponto de vista estático do inventário. Um inventário pode ser útil para o ordenamento e administração do território, mas, somente quando se trata de recursos não renováveis, como os minerais. Não é adequado para os recursos ecológicos. Com efeito, a gestão dos recursos ecológicos deve ter por objetivo a avaliação do impacto de inserção da tecnologia humana no ecossistema. Isso significa determinar a taxa aceitável de extração de recursos, sem degradação do ecossistema, ou determinar quais as medidas que devem ser tomadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação (TRICART, 1977).

Os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) estabelecem três categorias morfodinâmicas: meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente instáveis. Nos meios estáveis prevalecem os processos de pedogênese, nos meios intergrades prevalece o equilíbrio dos processos de pedogênese/morfogênese, e nos meios fortemente instáveis prevalecem os processos de morfogênese.

1.2 As unidades de paisagem natural

A expressão unidade de paisagem (“*land unit*”) tem sido cada vez mais incorporada à linguagem dos profissionais, que trabalham com meio ambiente, e para ela existem muitas definições, mas em geral o sentido é o mesmo. Na realidade a definição fica restrita a área específica de pesquisa, seja por exemplo a geologia, possui uma definição relativamente diferente da vegetação.

Florenzano (1986) destaca o sistema “*land system approach*” como sendo um dos principais sistemas de classificação de terreno com enfoque adotado na ordenação territorial. Desenvolvido pela “*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*” (CSIRO) na Austrália, este sistema baseia-se no uso sistemático de fotografias aéreas e imagens de plataformas orbitais e comporta, em sua versão mais elaborada, uma divisão da paisagem em escala crescente de dimensão espacial em três níveis hierárquicos: sítio (“*site*”), unidade de terra (“*land unit*”) e o sistema de terra (“*land system*”).

A fim de definir as unidades de paisagem para estudos de avaliação do potencial geoambiental Oliveira et al. (1988) adotaram a análise de grupamentos e medidas de semelhança para caracterizar uma determinada área e utilizaram uma classificação baseada em províncias, seção, subseção e geotipos que foram individualmente descritos e classificados quanto às recomendações para uso agrícola.

Pires Neto (1994) sugere uma abordagem que mostra a interação entre os levantamentos de uso da terra, cobertura vegetal, estudos climáticos, mapeamentos hidrológicos, geológicos e geomorfológicos de forma que o terreno seja estudado como um sistema mantido por vários mecanismos atuando de forma integrada.

Ross (1996) propôs uma classificação do relevo para o planejamento ambiental a partir de uma compartimentação da paisagem de modo crescente em escala de detalhamento. Essa classificação buscou hierarquizar o relevo em seis táxons conforme o grau de organização e detalhe. Primeiramente as unidades morfoestruturais, depois as morfoesculturais, padrões de formas semelhantes, padrão de forma individualizada, formas, vertentes e por fim fatos localizados, como ravinas e voçorocas.

Para Crepani et al. (2001) as unidades de paisagem, enquanto unidades territoriais básicas passíveis de georreferenciamento, contêm uma porção do terreno onde se inscreve uma combinação de eventos e interações, visíveis e invisíveis, cujo resultado é registrado e pode ser visto na forma de imagem fotográfica de um determinado momento, representando um elo de ligação entre a Geografia e a Ecologia.

Desse modo percebe-se que o termo unidades de paisagem é utilizado de forma abrangente e que pode ser utilizado toda e qualquer unidade de uma determinada área que leve em consideração fatores físico-naturais e sócio-econômicos para avaliação das possibilidades de uso do território e/ou recursos naturais, ainda que haja, de acordo com os objetivos e metodologias de cada projeto, certa ênfase em determinado fator.

Segundo Crepani et al. (2001) para se analisar uma unidade de paisagem natural é necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações são obtidas por meio das características físicas e ambientais como: a Geologia, a Geomorfologia, a Pedologia e a Fitogeografia, que precisam ser integradas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação. Finalmente, é necessário o auxílio da Climatologia para que se conheçam algumas características climáticas da região onde se localiza a unidade de paisagem, a fim de que se antevêja o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação.

1.3 Polígono de intervenção antrópica

Como representantes nas imagens da área física onde se dá a atuação humana que modifica as condições naturais, os polígonos de intervenção antrópica podem localizar-se sobre uma única, ou várias unidades de paisagem natural, dependendo exclusivamente de suas dimensões. A antropização do meio ambiente, sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico (Ecodinâmica) existente entre os diversos componentes que permitiram a formação das diferentes unidades de paisagem natural pode levar a situações desastrosas do ponto de vista ecológico e econômico. Portanto antecedendo qualquer ocupação, deve-se conhecer os componentes físicos – bióticos (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Clima) que interagindo levaram ao estabelecimento das unidades de paisagem natural (CREPANI et al., 2001).

O prévio conhecimento prévio das interações existentes nas unidades de paisagem, torna possível recomendar as atividades a serem desenvolvidas no polígono de intervenção antrópica, evitando-se agressões irreversíveis e obtendo-se maior produtividade, e conseqüentemente maior sustentabilidade. Pode-se ainda dirigir ações corretivas dentro daqueles polígonos onde seu uso inadequado provoca degradação.

Os materiais que compõem as unidades de paisagem natural, os processos que nela atuam e a sua geometria, fazem parte de um conjunto auto - regulador em que toda forma é resultado do ajustamento entre materiais e processos. O equilíbrio deste sistema, presente em cada unidade de paisagem natural, mostra o ajustamento completo das suas variáveis internas às condições externas, e como estes sistemas são abertos eles mantêm-se estabilizados na medida em que as forças atuantes, provindas do meio ambiente, possam ser absorvidas pela flexibilidade existente na estrutura do sistema. Quando a introdução de novas forças gera processos que ultrapassem o grau de absorção há um reajuste em busca de um novo estado de equilíbrio (CREPANI et al., 2001).

As atividades desenvolvidas dentro dos polígonos de intervenção antrópica introduzem novas forças que podem alterar, em escala variável, as condições de equilíbrio do sistema representado pela unidade de paisagem natural. A agricultura, a pecuária, a silvicultura, a mineração e as obras de engenharia civil são exemplos de atividades que, em maior ou menor escala, introduzem estímulos externos ao sistema.

No Brasil, e particularmente na Amazônia, a agricultura e a pecuária são as atividades mais importantes na introdução de estímulos externos, devido a seu caráter extensivo que envolve grandes áreas e busca sempre novas fronteiras. A primeira intervenção destas atividades no sistema representado pelas unidades de paisagem natural é a alteração da cobertura vegetal, que acontece na forma de retirada de matéria orgânica pelo desmatamento seguido de queimadas. A exposição da superfície do solo ao Sol e a chuva em consequência da alteração da cobertura vegetal, desencadeia processos que, dependendo do grau de absorção do sistema, podem não ser completamente absorvidos, iniciando um reajustamento em busca de uma nova situação de equilíbrio cujos efeitos são extremamente danosos aos seres vivos (CREPANI et al., 2001).

A floresta da Amazônia, em parte exuberante, baseia-se num equilíbrio delicado entre a matéria orgânica, a estrutura do solo, a umidade do ar e o nível freático. É um ecossistema extremamente frágil que depende das árvores para ausência de vento na paisagem e para a proteção de seus solos contra o sol e o impacto das chuvas equatoriais, (que ocorrem graças à mata densamente fechada), além da água transpirada que garante a umidade do ar, e depende também da distribuição equilibrada das chuvas durante todo o decorrer do ano, devido à reduzida capacidade de retenção de água da maioria dos solos.

A exuberância das florestas equatoriais levou também os primeiros exploradores a supor que os solos eram naturalmente muito férteis. No entanto, hoje se sabe que a maior parte deles é pobre em nutrientes e a riqueza da vegetação está mais relacionada com a

luminosidade, temperatura e umidade constantemente elevadas. A maior parte dos nutrientes está contida mais na própria floresta (biomassa). No solo, pode existir apenas uma quantidade de nutrientes minerais (cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, etc.), pequena mais eficiente para atender à “lei do mínimo” de Liebig, os quais estão sempre em eficiente ciclagem, estabelecida com uma rápida decomposição dos restos vegetais, liberação dos nutrientes minerais e reabsorção dos mesmos pelas raízes (LEPSCH, 2002).

O clima da região amazônica equatorial úmida se mostra extremamente favorável à produção vegetal, como prova a “hiléia” (floresta pluvial amazônica), mas não se pode esquecer que o clima interage com a mata, que como imenso termostato evita os extremos de temperatura. Pastagens não agem como termostato, portanto não se pode esperar a manutenção do clima amazônico após a modificação total da paisagem, com a troca indiscriminada de mata por pastagens.

A queima anual dos solos amazônicos cria “terra queimada” que em pouco tempo não é mais capaz de suportar nenhuma colheita, sendo tomada por plantas silvestres adaptadas ao fogo (capins fibrosos e cespitosos). A superfície desses solos se torna impermeável às precipitações, que oscilam entre 1300 e 3000 mm anuais, e as águas escorrem turvas pelo material em suspensão, acumulando-se nas baixadas onde causam a morte por asfixia das árvores ali existentes.

Nas áreas que não sofreram desmatamento o ciclo da água é perfeito: a chuva cai, infiltra-se lentamente no solo até atingir o lençol freático de onde abastece os rios vagorosamente, é absorvida pelas raízes e transpirada pelas folhas, formam-se nuvens e chove novamente. Nas áreas desmatadas o vento sopra e a umidade evaporada é levada para longe, criando um ambiente seco. As chuvas atingem diretamente o chão desnudo e escorrem rapidamente causando cheias nunca antes conhecidas em igarapés e rios. A erosão devasta o solo e as doenças aparecem com incrível rapidez e intensidade quase incontrolável.

Quando se compara a constituição dos solos dos cerrados com a dos solos da Amazônia constata-se que aqueles apresentam maior quantidade de cátions disponíveis e menor teor de alumínio trocável, não sendo, portanto, a maior riqueza do solo nem o menor teor de alumínio responsáveis pela vegetação luxuriante da floresta. Mas há outros três fatores, presentes nos cerrados e responsáveis pela sua vegetação raquítica e xeromorfa, que aos poucos chegam à floresta trazidos pelo desmatamento indiscriminado: o vento, o fogo e a camada adensada do solo.

A ausência de vento e a conseqüente conservação da umidade; o impedimento do fogo e o conseqüente retorno de matéria orgânica ao solo, além da inexistência da camada

adensada no solo que o protege dos efeitos negativos das chuvas, parecem ser os fatores que permitem a extraordinária produtividade dos solos pobres da Amazônia. Alterar indiscriminadamente esses fatores pode levar a um desequilíbrio que leve à formação de cerrados, ou pior ainda, de desertos. As evidências de ocupação humana no deserto do Saara, obtidas através da descoberta de antigas aldeias e estradas, são intrigantes e devem servir para reflexão (CREPANI et al., 2001).

1.4 Zoneamento ecológico-econômico e vulnerabilidade à perda de solo

Há tempos o zoneamento ecológico-econômico tem surgido em propostas governamentais com a finalidade de subsidiar as decisões de planejamento social, econômico e ambiental do desenvolvimento e do uso do território nacional em bases sustentáveis. Após a instituição da Política Nacional de Meio Ambiente, Lei Federal n. 6938 de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), que arrolou o zoneamento ambiental entre seus instrumentos de planejamento, diversas iniciativas esparsas de zoneamento foram tomadas durante a década de 80, até que o zoneamento ecológico-econômico aparecesse, pela primeira vez, nas diretrizes do Programa Nossa Natureza, com o objetivo de ser estendido a todo território nacional (BRASIL, 1997)

A vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem está ligada ao desequilíbrio da dinâmica natural do meio ambiente. Cada componente da paisagem, como Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Clima e a intervenção antrópica, participa desta dinâmica de forma integrada.

As unidades de paisagem apresentam diferentes graus de absorção aos estímulos exteriores, assim como seus componentes apresentam escalas diferentes para o reajustamento frente às modificações provocadas externamente até que se restaure o equilíbrio perdido, podendo oscilar da escala medida em anos até milhares de anos (PALMEIRA, 2004).

1.4.1 Unidades de paisagem e a geologia

Os elementos considerados para a atribuição de valores para as classes de estabilidade/vulnerabilidade do tema Geologia são aqueles relacionados ao grau de coesão das rochas que suportam a unidade de paisagem natural. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem (CREPANI et al.,

1996). Estes aspectos serão analisados a partir das informações bibliográficas e do trabalho de campo a ser feito na região de estudo. Dessa forma, são atribuídos os valores para as classes de estabilidade/vulnerabilidade, uma vez que em rochas pouco coesas prevalecem os processos modificadores das formas de relevo (morfogenéticos), enquanto nas rochas bastante coesas prevalecem os processos de formação de solos (pedogenéticos).

1.4.2 Unidades de paisagem e a geomorfologia

O estado de Roraima representa, sem dúvidas, o mais variado conjunto geomorfológico da Amazônia. Nela se encontram superfícies baixas e recobertas por sedimentos recentes que sobem gradualmente ou abruptamente até os mais altos relevos brasileiros. Estes dois extremos são referidos na bibliografia desde os primeiros viajantes. As denominações variavam, mas convergiam para o Planalto das Guianas até a Planície Amazônica (BRASIL, 1975).

A influência do relevo nos processos de perda de solo é consequência da sua morfologia, que se subdivide em: aspectos morfográficos e parâmetros morfométricos. Os aspectos morfográficos descrevem o terreno quanto à sua forma e à sua aparência. As unidades morfoestruturais Planalto Dissecado Norte da Amazônia, Planalto Residuais de Roraima e Pediplano Rio Branco-Rio Negro são encontrados no município de Cantá, segundo o mapa de Geomorfologia do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975). Os parâmetros morfométricos são quantitativos das formas do relevo, como o grau de dissecação do relevo pela drenagem, a declividade e a amplitude altimétrica.

A dissecação do relevo pela drenagem é obtida pelas medidas da dimensão ou amplitude interfluvial (distância entre canais de drenagem), ou da densidade de drenagem (número de canais por unidade de área), retiradas da carta topográfica ou da imagem.

A declividade das vertentes refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte. Pode ser medida diretamente nas cartas topográficas, em termos de porcentagem, baseada na relação entre a distância vertical e a horizontal entre dois pontos; ou ainda, nas cartas topográficas com auxílio de um ábaco (DE BIASI, 1992). De forma automatizada, a declividade pode ser obtida pelos dados de altimetria introduzidos em um sistema computacional por meio de um Modelo Numérico de Terreno (MNT) obtido pela digitalização das curvas de nível.

A amplitude altimétrica está relacionada com o aprofundamento da dissecação, e é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máxima e mínima contidas na unidade de paisagem, baseado nos dados de altimetria da carta topográfica ou pelo processamento de um MNT.

1.4.3 Unidades de paisagem e a pedologia

O tipo de solo determina a suscetibilidade dos terrenos à erosão. Além da textura, uma série de outras características do solo condicionam a sua erodibilidade: estrutura, composição, espessura, relação textural entre os horizontes ou camadas. Quando desprovido de sua vegetação natural, o solo fica exposto a uma série de fatores que tendem a depauperá-lo. A velocidade com que este depauperamento se processa varia com as suas características, com o tipo de clima e com os aspectos de topografia (LEPSCH, 2002).

Durante o Cenozóico o relevo de Roraima experimentou modelagem de seu cenário, promovida por sucessivos processos erosivos, que Schaefer e Vale Júnior (1997) atribuem ao ciclo de aplainamento Sul-americano, processo que determinante na atual composição geomorfológica e pedológica local.

O solo desenvolve-se, transforma-se sob as condições de clima, relevo e vegetação, a partir das rochas (material de origem). Compreende-se o estágio de evolução dos solos da área de estudo a partir da análise dos mapas pedológicos existentes, observando-se as indicações da maturidade destes. Essa maturidade, produto direto do balanço erosão/lixiviação, indica que os processos de morfogênese geram solos jovens, pouco desenvolvidos, onde prevalece a formação do relevo; assim como processos de pedogênese geram solos maduros e bem desenvolvidos (PALMEIRA, 2004).

Os fatores como relevo, vegetação, material de origem (p. ex. sedimentos da Formação Boa Vista), e geomorfologia (relevo plano e suave ondulado) são responsáveis pela grande diversidade e variabilidade pedológica das savanas amazônicas, em especial de Roraima, e que as distinguem das do restante do Brasil (VALE JÚNIOR, 2000).

1.4.4 Unidades de paisagem e a cobertura vegetal e uso da terra

A cobertura vegetal deve ser considerada como a vegetação nativa ou a vegetação resultante da atividade antrópica. A densidade da vegetação está associada à capacidade de

proteção da paisagem, através da redução da perda de solos e processos modificadores das formas do relevo. Essa proteção se dá pela redução do impacto direto das gotas de chuva no solo, interceptadas pela folhagem e pela redução do escoamento superficial, diminuindo a capacidade de as águas removerem e transportarem partículas de solo (CREPANI et al., 2001).

Alterações na cobertura vegetal, como a retirada da vegetação nativa para a formação de pastagens ou agricultura, podem desencadear processos degenerativos resultando na perda das camadas superficiais de solo. A exposição do solo ao sol, vento e chuva provoca modificações na estrutura física e biológica, refletindo diretamente na sustentabilidade tanto da atividade econômica, quanto da paisagem natural.

1.4.5 Unidades de paisagem e o clima

As informações climatológicas necessárias para a caracterização das classes de estabilidade/vulnerabilidade existentes na área de estudo serão relativas à pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, que definem a Intensidade Pluviométrica (IP).

De acordo com ROSS (1996), as informações sobre a IP dependem da extensão da área de estudo ou das características do relevo, podendo ser a mesma em toda a sua extensão. Uma alta pluviosidade anual e uma curta duração do período chuvoso levam ao desenvolvimento de processos morfogenéticos, resultantes de uma maior capacidade de erosão e transporte, enquanto a baixa pluviosidade anual e uma longa duração do período chuvoso favorecem a infiltração da água no solo, resultando em processos pedogenéticos.

O fator clima costuma ser posto em evidência sobre todos os outros fatores formadores de solo, pela sua maneira ativa e diferencial. Um material derivado de uma mesma rocha poderá formar solos completamente diversos se decomposto em condições climáticas diferentes. Por outro lado, materiais diferentes podem formar solos similares quando sujeitos, por um longo período, ao mesmo ambiente climático. Os elementos principais do clima – temperatura e umidade – regulam o tipo e a intensidade de intemperismo das rochas, o crescimento dos organismos e, conseqüentemente, a distinção entre os horizontes pedogenéticos. Sabe-se que, para cada 10° C de aumento de temperatura, dobra a velocidade das reações químicas. Sabe-se também que é a água e o gás carbônico nela dissolvido, os responsáveis pela maior parte das reações químicas quando do intemperismo dos minerais. Portanto, quanto mais quente e úmido for o clima, mais rápida e intensa será a decomposição

das rochas, as quais, nessas condições, irão fornecer materiais muito intemperizados: solos espessos e com abundância de minerais secundários (principalmente argilominerais e óxidos de ferro e alumínio) e pobres em cátions básicos (principalmente cálcio, magnésio e potássio), é o que ocorre normalmente nos solos amazônicos (LEPSCH, 2002).

Segundo Barbosa (1997), no tipo climático “Am”, predomina uma estação seca de baixo rigor e a precipitação é bem distribuída ao longo do ano, devido à influência de dois sistemas de circulação atmosférica predominantes em Roraima: a massa de ar equatorial continental (mEc) e a convergência intertropical (CIT).

1.5 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem

A vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem é avaliada a partir da caracterização morfodinâmica destas unidades, segundo critérios baseados na Ecodinâmica de Tricart (1977) que estabelece as seguintes categorias morfodinâmicas:

- Meios estáveis: cobertura vegetal densa, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas;
- Meios intergrades: equilíbrio entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas;
- Meios fortemente instáveis: condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas, relevo com vigorosa dissecação, presença de solos rasos, inexistência de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e geodinâmica interna intensa.

Os critérios desenvolvidos por Crepani et al. (1996), a partir desses princípios, permitiram a criação de um modelo onde se buscou a avaliação, *de forma relativa e empírica*, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades de paisagem, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas, conforme pode ser visto na figura 1. Nesta análise quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.

Categoria morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Figura 1 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.
Fonte: Crepani et al. (1996).

Desenvolveu-se então, o modelo mostrado na figura 2 que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

UNIDADE DE	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERD.	AZUL	CORES
U1	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9			255	51	0	
U3	2,8			255	102	0	
U4	2,7			255	153	0	
U5	2,6		MODERADAMENTE VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	2,5			255	255	0	
U7	2,4			204	255	0	
U8	2,3			153	255	0	
U9	2,2		MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	2,1			51	255	0	
U11	2,0			0	255	0	
U12	1,9			0	255	51	
U13	1,8			0	255	102	
U14	1,7		MODERADAMENTE ESTÁVEL	0	255	153	
U15	1,6			0	255	204	
U16	1,5			0	255	255	
U17	1,4			0	204	255	
U18	1,3		ESTÁVEL	0	153	255	
U19	1,2			0	102	255	
U20	1,1			0	51	255	
U21	1,0			0	0	255	

Figura 2 – Escala de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem.
Fonte: Modificada de Crepani et al. (1996).

O valor final de estabilidade/vulnerabilidade para cada unidade de paisagem é determinado pela média aritmética dos 5 temas acima abordados, segundo a Equação 1.1, para que seja obtida a posição desta unidade dentro da escala de estabilidade/vulnerabilidade.

$$\text{VULNERABILIDADE} = (G + R + S + V + C)/5 \quad (1.1)$$

Onde:

G = vulnerabilidade para o tema de Geologia

R = vulnerabilidade para o tema de Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema de Solos

V = vulnerabilidade para o tema de Vegetação/Usos da Terra

C = vulnerabilidade para o tema de Climatologia

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

A denudação é a responsável pelo arrasamento das formas de relevo da superfície terrestre, sendo a água, seu principal agente e responsável direta pela perda de solo. Toda água que cai na forma de chuva ou neve, sobre 29% da superfície terrestre ocupada pelos continentes, tende a mover-se para baixo, pela ação da gravidade, de volta ao oceano de onde veio na forma de vapor. Toda gota de chuva que atinge o solo possui energia potencial proporcional ao produto de sua massa e altitude acima do nível do mar do seu ponto de queda e tende a transformá-la em energia cinética. A figura 3 mostra as características observadas para avaliar a vulnerabilidade à perda de solo e atribuir valores para cada classe de cada tema que compõe as unidades de paisagem.

Geologia	História da evolução Geológica.
	Grau de coesão da rocha.
Geomorfologia	Amplitude altimétrica.
	Grau de dissecação.
	Declividade.
Pedologia	Maturidade do solo.
Fitogeografia	Densidade da cobertura vegetal.
Clima	Intensidade pluviométrica.

Figura 3 – Características observadas para avaliar a vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem

Fonte: Crepani et al, (2001).

1.6 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é uma técnica que se baseia na utilização de dados sobre a superfície terrestre, obtidos sem o contato físico direto entre o sensor e o alvo. Os sensores remotos captam a radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida pelos alvos e essa radiação traz consigo as informações espaciais e também as espectrais do alvo (BAPTISTA, 2006).

O sensoriamento remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais (ROSA, 2007).

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento remoto refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (FLORENZANO, 2007).

Sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, e ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2008). A figura 4 mostra as modalidades de aquisição de imagens por sensoriamento remoto por sensores passivos.

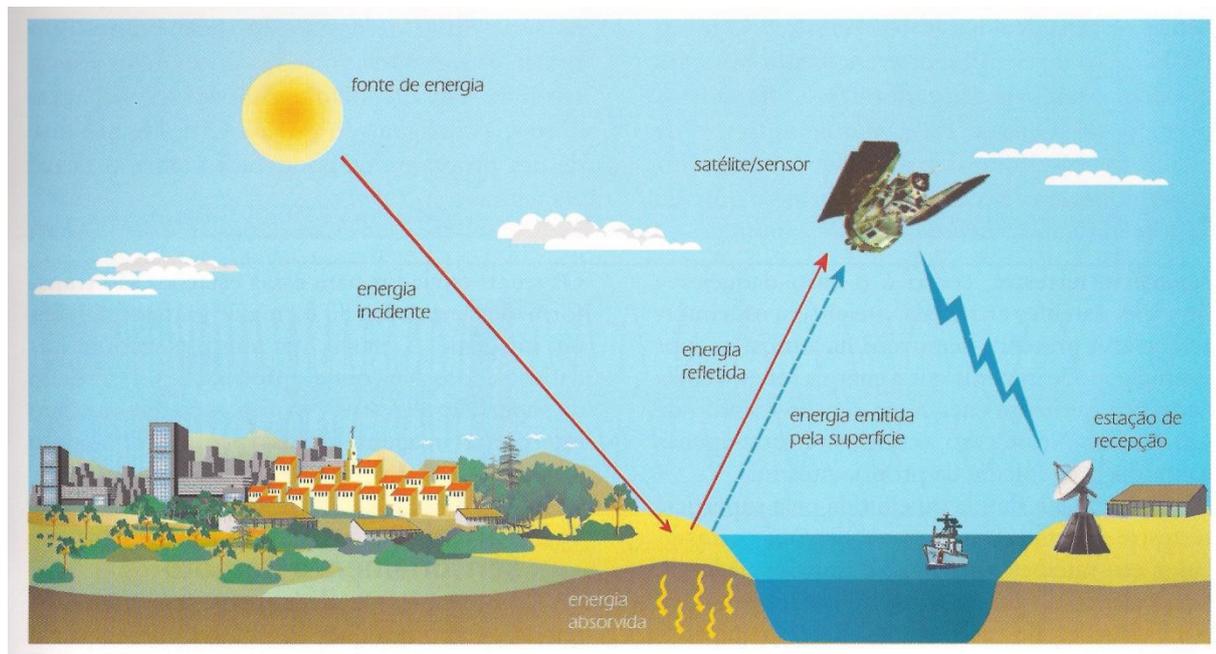


Figura 4- Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.
Fonte: Florenzano (2007).

O Brasil com sua extensão continental, sua vasta riqueza em recursos naturais e seu potencial sócio-econômico, sem a utilização de técnicas de sensoriamento remoto seria praticamente impossível ordenar seu território. A adoção das imagens de satélite como “âncora” para o Zoneamento Ecológico-Econômico traz consigo a possibilidade de se utilizar todo o potencial disponível no sensoriamento remoto e nos sistemas de informações geográficas, além de desenvolver uma metodologia perfeitamente aplicável a novos produtos orbitais que estarão disponíveis no futuro (PALMEIRA, 2004).

A Amazônia em função do período chuvoso, quando boa parte de sua extensão fica coberta por nuvens, e estas são fatores limitantes para o uso de sensores passivos, faz se necessário a utilização de imagens de sensores ativos (RADAR), ainda que de forma complementar. O imageamento por radar consiste da emissão de pulsos de microondas a intervalos regulares sobre a região de interesse e a recuperação dos sinais de retorno (ecos) provenientes desta região, à medida que o sensor se desloca. A recepção do sinal de retorno pode ser feita utilizando-se a mesma antena emissora ou uma segunda antena (ULABY; MOORE; FUNG, 1986). Em Roraima, diversos trabalhos já foram realizados com a integração multisensores (CARVALHO, 1997; BESERRA NETA, 2007). A figura 5 mostra uma imagem da Missão SRTM da região da Serra do Tepequém em Roraima.

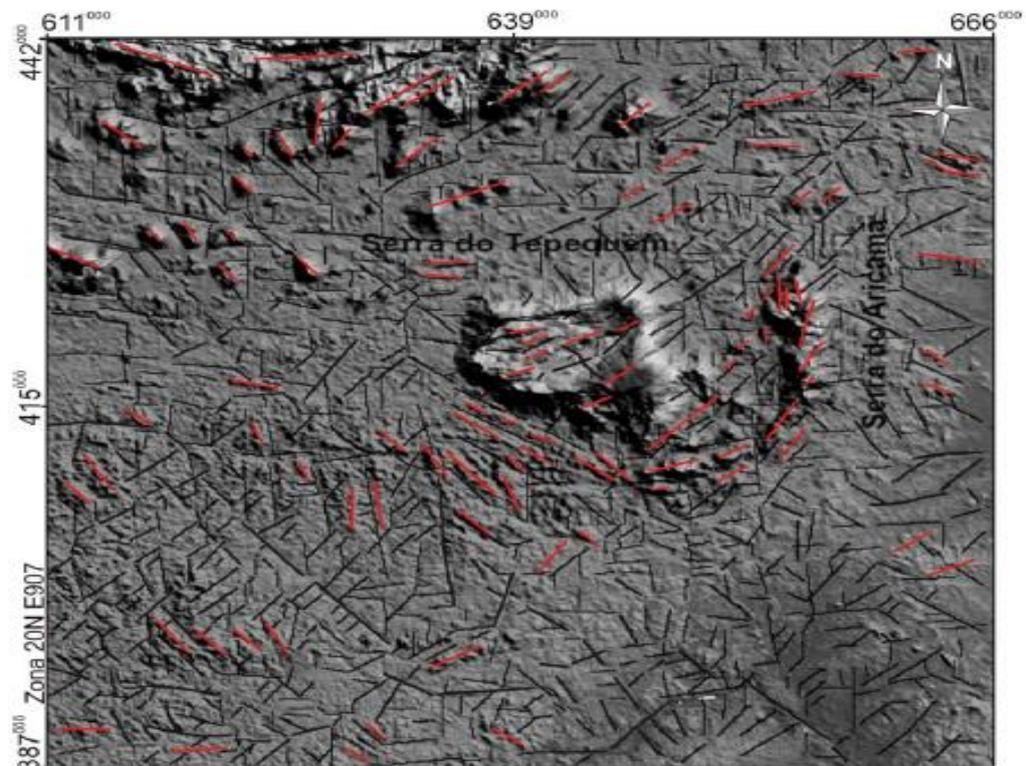


Figura 5 – Imagem de RADAR com feições lineares de relevo e drenagem.
Fonte: adaptado de Beserra Neta (2007).

1.6.1 Processo de aquisição de informações

A obtenção de informações a respeito de um objeto é realizada analisando-se a interação da energia eletromagnética com a superfície deste. Essa energia pode ter sido gerada por uma fonte externa natural ou artificial e posteriormente refletida pelo objeto, ou pode ter sido emitida pelo próprio objeto.

Qualquer matéria ou objeto que esteja a uma temperatura acima de zero absoluto (-273° C ou 0° K) emite radiação eletromagnética. Em sensoriamento remoto, as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética utilizadas são o Sol e, em menor intensidade, a Terra. O fluxo de energia eletromagnética, ao incidir sobre um objeto, sofre interações com o material que o compõe, sendo parcialmente refletido, absorvido ou transmitido (MOREIRA, 2005).

Os materiais componentes dos alvos se diferenciam em relação às propriedades de reflexão, absorção e transmissão da radiação eletromagnética. Os sistemas sensores normalmente medem a energia eletromagnética refletida ou emitida, possibilitando assim a discriminação dos materiais (ROSA, 2007).

A radiação eletromagnética (REM) refletida pelo objeto imageado é registrada pelo sensor que recebe o sinal analógico e contínuo da energia medida e o discretiza, armazenando-a em forma de números digitais, que posteriormente serão transformados em gráficos, tabelas ou imagens em tons de cinza (MENESES, 2005).

As imagens são compostas por um determinado arranjo de *pixel* (*Picture elements*), em linhas e colunas, de acordo com a estrutura e a forma de varredura do sistema sensor. Essas imagens são produzidas em diversos níveis de cinza (monocromáticas), conforme a capacidade de discretização da medida de reflectância dos alvos. Para cada faixa de comprimento de onda, ou banda, é produzida uma imagem, representando a reflectância dos materiais-alvo naquele comprimento de onda. Os sistemas sensores podem produzir simultaneamente diversas imagens em diferentes bandas, sendo assim conhecidos como sistemas pancromático (uma só banda, abrangendo todos os comprimentos de onda do visível), multiespectrais (com até 20 bandas espectrais) ou hiperespectrais (com mais de 200 bandas espectrais).

1.6.2 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência. É importante saber os valores dos intervalos de comprimento de onda utilizados em sensoriamento remoto, pois a maioria das características que os objetos apresentam numa imagem de sensoriamento remoto depende do intervalo espectral da imagem. Cabe ressaltar que não são limites rigorosamente precisos, sendo comum encontrar na literatura pequenas diferenças nos limites dos intervalos espectrais

(MENESES, 2005). A figura 6 apresenta o espectro eletromagnético com os comprimentos de ondas em metros e a frequência em Hertz, observa-se a estreita faixa do visível.

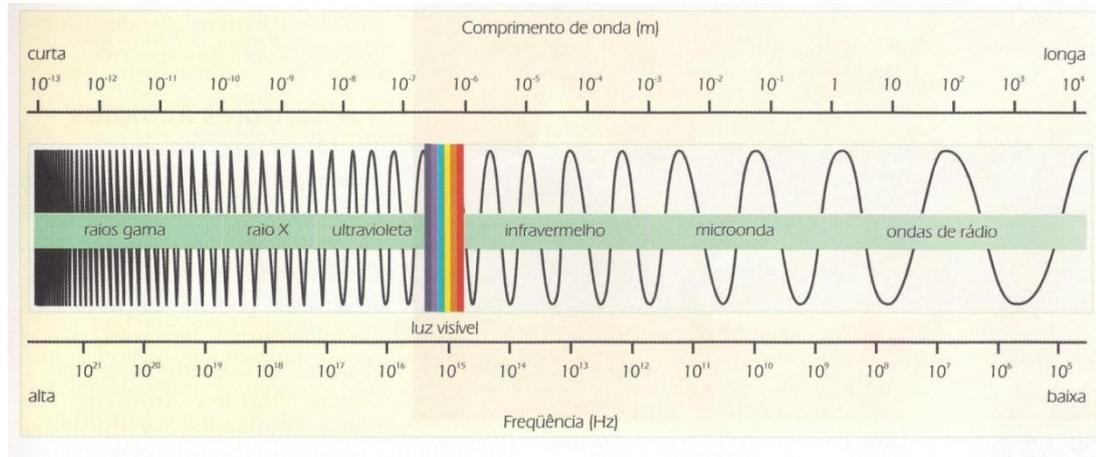


Figura 6 - Espectro eletromagnético.

Fonte: Florenzano (2007).

A região do visível do espectro compreende uma faixa com comprimento de onda entre 0,4 a 0,7 μm . Essa faixa recebe esse nome porque agrupa os comprimentos de onda que são visíveis ao olho nu. De uma maneira geral, ela pode ser dividida em regiões correspondentes às cores básicas: vermelho (0,6 a 0,7 μm), verde (0,5 a 0,6 μm) e azul (0,4 a 0,5 μm). Antes da região do azul, encontra-se a região do ultravioleta, que é muito pouco utilizada em sensoriamento remoto, pois essa energia é fortemente absorvida e espalhada pela atmosfera, dificultando a obtenção de imagens, ou seja, não possui janela atmosférica adequada na região do ultravioleta (FLORENZANO, 2008).

Após a região do vermelho, os comprimentos de onda recebem o nome de infravermelho (0,72 μm a 1 mm). Essa região é importante para o sensoriamento remoto, pois, como a absorção – ou espalhamento – pela atmosfera não tão intensa, nela os sensores remotos são capazes de registrar alguns fenômenos naturais com muita clareza. O olho humano não é capaz de enxergar esse comprimento de onda. A região do infravermelho pode ser dividida três grandes faixas: infravermelho próximo (0,72 a 1,3 μm), infravermelho médio (1,3 a 4,0 μm) e infravermelho distante ou termal (4,0 a 300 μm). Neste último, predomina a energia emitida pelos corpos na Terra, sob forma de calor (ROSA, 2007).

Para fins de sensoriamento remoto, a principal fonte de radiação eletromagnética (REM) é o Sol. Outras fontes são a emissão de REM pelos objetos (captadas por sensores termais) e fontes artificiais de REM, como os radares de abertura sintética, que emitem e recebem pulsos de REM, na faixa das microondas. A radiação solar útil limita-se ao intervalo de 0,38 a 2,5 μm . Abaixo de 0,4 μm , a radiação ultravioleta é totalmente absorvida pelo

ozônio atmosférico e, acima de 2,5 μm , a intensidade da radiação solar, que já é baixa nesse comprimento de onda, é ainda mais atenuada pela atmosfera (MENESES, 2005). A radiação emitida pelos corpos na Terra é utilizada pelo sensoriamento remoto, para a estimativa da temperatura da superfície dos objetos, como oceanos e focos de calor.

Existe, ainda outra faixa muito utilizada em sensoriamento remoto, que é a faixa das microondas estão compreendidos entre 1 mm e 100 cm e são utilizados pelos sensores RADAR (*Radio Detection And Ranging*). No entanto a maior parte das aplicações do sensoriamento remoto utiliza reflectância da REM emitida pelo Sol, sendo por isso conhecido como passivo, em contraposição ao sensoriamento remoto ativo, em que antenas RADAR recebem pulsos de REM produzidos artificialmente pelo próprio sistema, podendo realizar imageamento sem luz solar (ROSA, 2007).

A interação da REM com os objetos se dá de duas formas, isolada ou simultaneamente. Uma se dá no campo da energia contida na REM que interage com os objetos por princípios de absorção, reflexão e transmissão e que é medida e registrada por sensores, e posteriormente convertida em imagem. Na outra forma, prevalece o modelo ondulatório, em que a forma e a textura dos objetos são registradas em imagens a partir do retorno de pulsos de ondas emitidos artificialmente. Nesse modelo, a relação entre o tamanho do comprimento de onda emitido e o tamanho do objeto é o princípio preponderante a ser considerado. O sensoriamento remoto pode ainda medir a energia emitida por objetos, caso em que o próprio objeto é a fonte de REM medida pelos sensores (FLORENZANO, 2008).

A radiação eletromagnética das regiões do visível e do infravermelho possui comprimento de onda (0,4 a 2,5 μm) menores que o tamanho médio (50 μm) das moléculas de vapor de água que compõem as nuvens. Devido a essa diferença de tamanhos, a REM incidente nas nuvens atinge essas moléculas de água e é refletida de volta, fazendo com que o sensor registre essa intensidade da reflectância, gerando uma imagem da nuvem e não dos objetos que estão na superfície da Terra. O mesmo não acontece com os sensores que trabalham na faixa das microondas (comprimentos de onda de 1 a 100 cm), pois, nessa faixa do espectro, o comprimento de onda é bem maior que as moléculas de vapor de água que compõem as nuvens e, portanto, a REM atravessa a nuvem e atinge os objetos da superfície terrestre. Os sensores que operam na faixa das microondas são denominados RADAR. Por este motivo, a utilização de sensores RADAR é recomendada para o imageamento de áreas com constante cobertura de nuvens durante o ano, como é o caso de algumas regiões da Amazônia (MENESES, 2005).

1.6.3 Composição colorida

Os objetos da superfície da Terra emitem, refletem, absorvem e transmitem REM em proporções que com o comprimento de onda, de acordo com suas características bio-físico-químicas. As variações da energia refletida pelos objetos podem ser representadas através de curvas, possibilitando distinguir os diferentes objetos da superfície terrestre nas imagens. A representação dos objetos nas imagens é feita por tons de cinza, variando do branco, quando refletem muita energia, ao preto, quando refletem pouca energia (FLORENZANO, 2007). Na figura 7 são apresentadas curvas espectrais de diversos alvos, na qual se observa a reflectância dos mesmos.

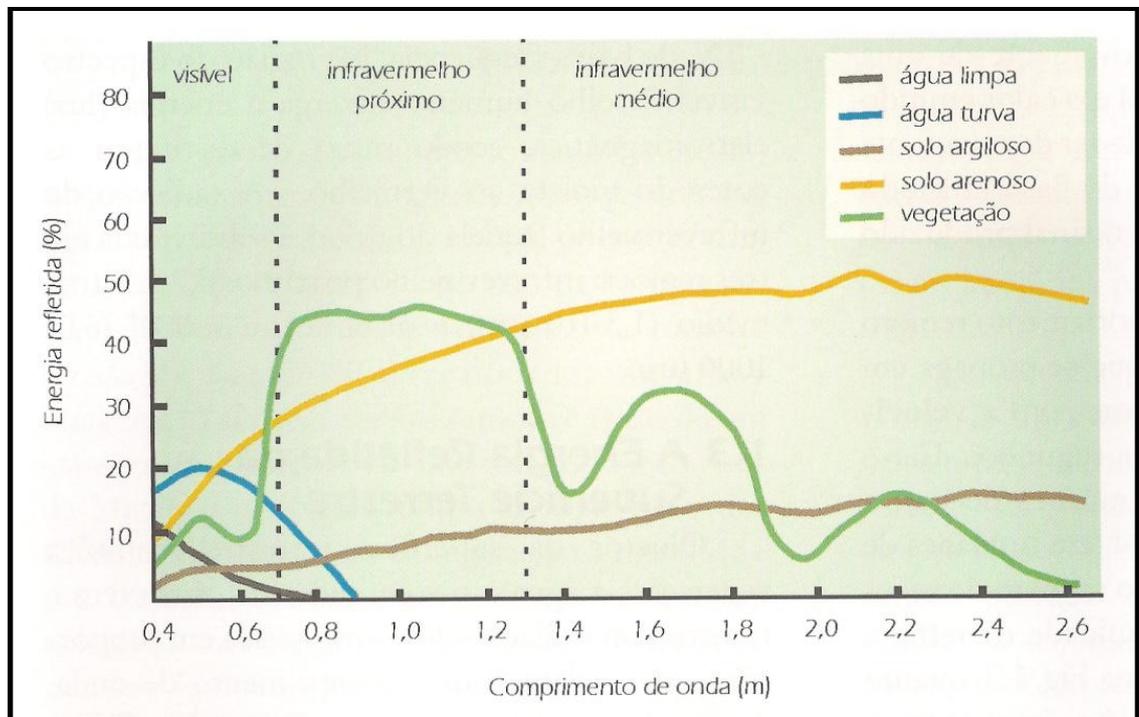


Figura 7 – Curva espectral da vegetação, da água e do solo.
Fonte: Florenzano (2007).

As imagens são obtidas em diferentes canais, ou seja, cada canal, também conhecido por banda, produz uma imagem. A quantidade de energia refletida por cada objeto varia em cada banda, sendo representada em forma de imagem em diferentes tons de cinza, onde o branco significa reflexão total da energia incidente e o preto significa absorção total da energia pelo objeto. Essas imagens, que originalmente são monocromáticas, podem ser visualizadas simultaneamente através de filtros coloridos, azul, verde e vermelho (cores primárias), possibilitando gerar imagens coloridas. Nas imagens coloridas, a cor de um objeto vai depender da quantidade de energia por ele refletida em cada uma das bandas, e da escolha

das bandas que devem ser associadas a cada cor primária. Assim, dependendo da composição colorida, ou seja, dependendo de que banda foi associada a cada cor primária, o mesmo objeto apresentará cores diferentes em cada composição colorida (FLORENZANO, 2007).

1.6.4 Resoluções

Independentemente do tipo de sensor, quando recebemos uma tabela com as especificações dos dados desse sensor, temos uma lista de características fornecidas pela agência fornecedora do dado. As imagens de sensoriamento remoto são caracterizadas por quatro tipos de resolução. Essas resoluções indicarão as possibilidades e limites de uso de cada imagem para as aplicações de sensoriamento remoto (NOVO, 2008).

1.6.4.1 Resolução espacial

A resolução espacial pode ser definida como a habilidade que um sensor possui de distinguir objetos que são próximos espacialmente. Cada sensor é projetado para fornecer dados a um determinado nível de detalhe espacial. Quanto menor o objeto possível de ser identificado, maior a resolução espacial (NOVO, 2008).

A escolha da resolução espacial do sensor depende do objetivo da análise no caso em questão. Em terrenos naturais, florestas por exemplo, os alvos apresentam pouca variabilidade ao longo de uma área, não exigindo altas resoluções espaciais. Para uma área com alta variabilidade de tipos de objetos, áreas urbanas por exemplo, torna-se necessário o uso de sensores com alta resolução espacial (MENESES, 2005).

Segundo Moreira (2005), resolução espacial trata-se do campo de visada instantâneo (Ifov), ou seja, refere-se a área vista por determinado sensor sobre a superfície da Terra dentro de um ângulo sólido, em dado instante de tempo. De acordo, com esse ponto vista, pode-se dizer que a resolução espacial está intimamente relacionada com o tamanho do *pixel*. Desse modo, o *pixel* representa a média das energias refletidas pelos alvos da superfície terrestre dentro de um ifov. A figura 8 representa duas imagens com resoluções espaciais diferentes.



Figura 8 – Cidade de Manaus com resolução 30x30 m à esquerda e 1x1m à direita.
Fonte: Modificado de CPRM (2002).

1.6.4.2 Resolução espectral

A resolução espectral é a capacidade que um sensor apresenta de registrar o comportamento espectral de alvos em diferentes comprimentos de onda. Quanto mais numerosos e mais específicos forem os canais ou bandas de um sensor, melhor a resolução espectral. A capacidade de discriminação dos materiais da superfície da Terra por sensoriamento remoto fundamenta-se no comportamento de seus constituintes ao longo do espectro eletromagnético. Um aspecto fundamental em sensoriamento remoto é a possibilidade de discriminar materiais, pela sua resposta espectral peculiar em diferentes faixas de comprimento de onda. Diferentes materiais podem ter respostas espectrais semelhantes em um determinado intervalo de comprimento de onda e respostas distintas em outra faixa do espectro. Portanto, quanto maior o número de canais espectrais, maior a capacidade discriminatória. A resolução espectral está ligada à quantidade e à largura dos canais espectrais, sendo definida como a habilidade de separar feições espectralmente semelhantes (MENESES, 2005).

Segundo NOVO (2008), a resolução espectral é uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno (resolução radiométrica). Por exemplo, um sistema que opera na faixa de 0,4 a 0,5 μm tem uma resolução espectral maior que um sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,6 μm . Este sensor será capaz de registrar pequenas variações no comportamento espectral em regiões mais estreitas do espectro eletromagnético.

1.6.4.3 Resolução radiométrica

A resolução radiométrica refere-se aos níveis digitais, representados por níveis de cinza, possíveis numa imagem de um canal, e é expressa pelo número de dígitos binários (bits) necessários para armazenar o valor máximo de níveis de cinza dos *pixels*. Quanto maior o intervalo entre os níveis de cinza máximo e mínimo, maior a resolução radiométrica. Por exemplo, para armazenar 2 níveis é necessário 1 bit (nível de cinza 0 = *pixel* preto, nível de cinza 1 = *pixel* branco); para armazenar 64 níveis são necessários 6 bits ($2^6 = 64$); a resolução de 8 bits (1 byte) permite representar 256 níveis ($2^8 = 256$). Quanto maior for a resolução radiométrica, maior a capacidade de distinguir variações sutis no comportamento espectral dos objetos medidos pelo sensor (MENESES, 2005).

A resolução radiométrica de um sensor descreve sua habilidade de distinguir variações no nível de energia refletida, emitida ou retro-espalhada que deixa a superfície do alvo. Esta energia apresenta diferenças de intensidade contínuas, as quais precisam ser detectadas, registradas e reproduzidas pelo sensor (NOVO, 2008).

A radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre possui valor de intensidade que difere de um alvo para outro ou mesmo dentro de determinado alvo. Por exemplo, em certos comprimentos de onda, uma vegetação reflete e/ou emite muito menos energia do que uma placa de zinco. Entretanto, certos alvos, apesar de serem diferentes, refletem ou emitem a radiação eletromagnética com valores de intensidade muito próximos entre si, tornando-se quase idêntico espectralmente. Assim, a resolução radiométrica de um sensor refere-se à sua capacidade de poder discriminar, numa área imageada, alvos que apresentam pequenas diferenças da radiação refletida e/ou emitida em certas regiões do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2005).

Quanto maior for a capacidade do sensor de distinguir diferenças de intensidade do sinal, maior será sua resolução radiométrica.

1.6.4.4 Resolução temporal

Refere-se a frequência com que o sensor imageia uma determinada área, é também referida como a periodicidade ou repetitividade. Os sensores embarcados em satélites orbitais têm a vantagem de recobrir uma mesma área com maior frequência, o que é útil para programas de monitoramento (pode variar entre 12 horas e várias semanas nos satélites de uso

civil). Há ainda os satélites geoestacionários, que mantêm uma posição relativa fixa em relação à Terra, oferecendo possibilidade de maior resolução temporal, especialmente empregados em aplicações meteorológicas (MENESES, 2005).

Segundo Moreira (2005), a resolução temporal é função das características da plataforma na qual o de tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse. No caso de sensores orbitais, a resolução temporal indica o intervalo da faixa imageada no solo. Por exemplo, o sensor TM do Landsat-5 tem uma resolução temporal de 16 dias, isto é, a cada 16 dias o Landsat-5 passa sobre um mesmo ponto geográfico da Terra. Já os sensores a bordo do satélite NOAA têm resolução temporal de nove dias, no entanto, como a largura de faixa é muito grande, é possível obter dados diários sobre um mesmo ponto. A resolução temporal é muito importante porque permite fazer um acompanhamento dinâmico dos alvos sobre a superfície da Terra.

1.6.5 Interpretação de imagens

Segundo Florenzano (2007), em qualquer resolução ou escala, as imagens apresentam os elementos básicos de análise e interpretação, a partir dos quais se extraem informações de objetos, áreas, ou fenômenos. Esses elementos são: tonalidade, cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização.

1.6.5.1 Tonalidade

O sensor recebe o sinal analógico e contínuo da energia medida e o discretiza, armazenando-o em forma de matriz de números digitais, que posteriormente serão transformados em tons de cinza, gerando a imagem. Quanto mais energia refletida de um objeto o sensor registrar, maior será o seu número digital ou nível de cinza e mais sua representação na imagem vai tender para o branco. De forma análoga, quanto menos energia refletir, mais sua representação na imagem vai tender para o preto. Dessa forma, os objetos são representados em diferentes tonalidades, entre o branco e o preto, de acordo com a quantidade de reflexão de energia mediada pelo sensor em cada faixa de comprimento de onda, o que ajuda a distingui-los (FLORENZANO, 2007).

A tonalidade está relacionada com a intensidade da radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, ou com o retorno do sinal, no caso de sistemas ativos. A tonalidade

nada mais é do que diferentes graduações de cinza, que variam do branco ao preto, constituindo-se em elemento essencial na interpretação de fotografias e em imagens de satélite. As graduações de cinza da imagem dependem das características da emulsão, processamento fotográfico, propriedades físico-químicas dos objetos/alvos fotografados ou imageados, além das condições de iluminação/topografia e condições atmosféricas. Assim, a latitude, mês e hora são variáveis que interferem, podendo um mesmo tipo de cobertura aparecer com tonalidades diferentes, dependendo da hora, local e época do ano (ROSA, 2007).

1.6.5.2 Cor

É mais fácil interpretar imagens coloridas do que em tons de cinza, porque o olho humano distingue cem vezes mais cores do que tons de cinza. As imagens de sensoriamento remoto podem ser visualizadas através de filtros coloridos, azul, verde e vermelho (cores primárias), possibilitando gerar imagens coloridas. Nas imagens coloridas, a cor de um objeto vai depender da quantidade de energia por ele refletida em cada uma das bandas, e da escolha das bandas que devem ser associadas a cada cor primária, com base na formação de matizes a partir da mistura de cores primárias. Por exemplo, um objeto que aparece amarelo em uma imagem terá aproximadamente a mesma reflectância nas bandas que estiverem associadas aos filtros verde e azul, com baixa reflectância na banda que estiver associada ao filtro vermelho (FLORENZANO, 2007).

A cor depende do comprimento de onda de radiação eletromagnética e da sensibilidade do filme (no caso de fotografias aéreas) e das bandas usadas na composição colorida (no caso de das imagens de Satélite). Uma das vantagens é que o olho humano é capaz de distinguir mais cores do que tons de cinza (ROSA, 2007).

1.6.5.3 Textura

A textura refere-se ao aspecto liso ou rugoso dos objetos numa imagem. A textura é um elemento importante na identificação de unidades de relevo: a textura lisa corresponde a áreas de relevo plano, enquanto a textura rugosa corresponde a áreas de relevo acidentado e dissecado pela drenagem. Para a vegetação, verifica-se que uma área de mata, que é mais

heterogênea, é representada por uma textura rugosa, enquanto áreas de culturas agrícolas apresentam texturas mais lisas (FLORENZANO, 2007).

A textura é o padrão de arranjo espacial dos elementos texturais. Elemento textural é a menor feição contínua e homogênea distinguível em uma fotografia aérea e/ou imagem de satélite, porém passível de repetição. Depende da escala e da resolução espacial do sistema sensor, além do contraste entre objetos ou feições da superfície. A textura varia de lisa a grosseira, dependendo de características dos alvos, resolução e escala (ROSA, 2007).

1.6.5.4 Tamanho

Pela comparação de tamanho entre os objetos representados e pela própria medição destes nas imagens, é possível interpretar e diferenciar alvos terrestres, tais como pequenas e grandes edificações, ruas estreitas e avenidas largas, açudes e grandes represas (FLORENZANO, 2007).

O tamanho pode ser utilizado para identificar feições individuais, dependendo da escala utilizada. O tamanho da feição pode indicar o tipo de ocupação, tipo de uso, tamanho da propriedade, abrangência de impactos ambientais etc., as áreas ocupadas por agricultura familiar e o agronegócio possuem tamanhos diferentes (ROSA, 2007).

1.6.5.5 Forma

Por meio da forma, é possível identificar diversos objetos representados na imagem. Geralmente, objetos artificiais, como construções, possuem formas mais regulares, como estradas e lavouras, enquanto objetos naturais, como, por exemplo, os rios, possuem formas irregulares e muito peculiares, facilitando a distinção entre alvos (FLORENZANO, 2007).

Geralmente feições naturais apresentam formas irregulares, enquanto que as feições trabalhadas pelo homem, como exemplo, culturas agrícolas, reflorestamento, parques aquícolas, loteamentos, estradas etc., possuem formas geométricas, logo essa característica facilita a interpretação dos recursos naturais (ROSA, 2007).

1.6.5.6 Sombra

Em imagens bidimensionais, a altura de objetos como árvores e edifícios e do relevo pode ser estimada por meio do elemento sombra. Por outro lado, a sombra também pode ocultar a visualização dos objetos encobertos por ela. Assim, objetos altos como uma montanha são facilmente distinguíveis, conforme sua posição relativa ao sol e sombra por ela produzida (FLORENZANO, 2007).

As sombras são fenômenos comuns nas imagens de satélite obtidas no inverno. Elas são resultantes da iluminação oblíqua do Sol ou da ausência do retorno do sinal, no caso de dados obtidos por sensores ativos. Em fotografia e imagens de grande escala, a sombra pode proporcionar o reconhecimento e aferição da altura de edifícios, árvores/reflorestamentos, porém, muitas vezes o efeito da sombra mascara detalhes importantes. Imagens obtidas com baixos ângulos de elevação solar (inverno), favorecem estudos geomorfológicos, em função da sombra propiciar o inferimento do modelo topográfico. No entanto, não são adequadas para o estudo do solo, pois seu efeito pode ocultar alvos ou feições de interesse (ROSA, 2007).

1.6.5.7 Padrão

Este elemento se refere ao arranjo espacial ou à organização dos objetos numa superfície, como unidades habitacionais de alto, médio e baixo padrão, culturas de plantações, loteamentos, unidades militares, entre outros padrões reconhecíveis pelo conhecimento do analista (FLORENZANO, 2007).

Em imagens de satélite, o processo de extração visual de informações consiste basicamente na inspeção e na identificação de diferentes padrões tonais e texturais em cada banda espectral, assim como sua comparação em diferentes bandas espectrais e épocas. Devido às características de repetitividade de imageamento, pode-se analisar as variações temporais apresentadas pelos diferentes padrões de tonalidade e de textura dos alvos. O padrão ou arranjo espacial das fazendas, dos campos, das culturas, ou de outros alvos torna-se, usualmente, uma característica importante na fotointerpretação (ROSA, 2007).

1.6.5.8 Contexto geográfico

O conhecimento dos diversos fatores da localização geográfica em que se encontra o objeto imageado auxilia na interpretação deste, como, por exemplo, estação climática, relevo, geologia, tipo de solo, tipo de vegetação e proximidade ou associação com outros alvos. Com esse conjunto de elementos, associado ao próprio conhecimento prévio de cada analista e às informações de padrões de respostas espectrais em diversas bandas espectrais, é que se realiza a interpretação de imagens de sensoriamento remoto. Existem diversos programas computacionais que auxiliam na interpretação e classificação de imagens (FLORENZANO, 2007).

1.6.6 Sensores imageadores

Segundo Novo (2008), o que distingue os sensores não-imageadores dos sensores imageadores é que esses últimos permitem que seja gerada uma imagem bidimensional e, em alguns casos, tridimensional da superfície imageada. Nos demais aspectos, pode-se dizer que todos os sensores, independentemente da região do espectro em que operem, são compostos por um subsistema de colimação da energia proveniente da superfície (lente, antenas), um subsistema de detecção e registro dessa energia, e um subsistema de processamento do sinal detectado, para transformá-lo em dado passível de ser transmitido, gravado ou transformado em produto passível de análise.

O processo de produção de imagem pelos sensores é definido durante sua construção. Existem diversos modos de se classificar os sensores imageadores, em função do tipo da fonte de REM que utilizam, esses sensores podem ser classificados como passivos e ativos. Os sensores passivos são aqueles que o Sol ou Terra como fonte de radiação que é emitida pelos objetos terrestres. Os sensores ativos utilizam uma fonte artificial de radiação, sendo o RADAR o sensor mais conhecido desse tipo (MENESES, 2005).

1.6.6.1 Sensores passivos

Segundo Rosa (2007), sensores passivos são os que não possuem fonte própria de radiação, como por exemplo temos: radiômetros, espectrorradiômetros e termômetros de

radiação. Esses sensores dependem exclusivamente da energia solar para seu funcionamento, portanto, não é possível sua utilização à noite.

Os sensores passivos são aqueles que detectam a radiação solar refletida ou a emitida pelos objetos da superfície. Dependem, portanto, de uma fonte de radiação externa para que possam gerar informação sobre os de interesse. Os sensores passivos que detectam radiação refletida pelo Sol ou emitida pela Terra, e possuem espelhos, prismas lentes em sua configuração, são classificados de sensores ópticos. Existem, entretanto, sensores passivos que operam na região de microondas, e utilizam-se de antenas parabólicas refletoras como componente básico para coletar a radiação e direcioná-las para os subsistemas de processamento e gravação. Esses sensores são conhecidos por radiômetros de microondas (NOVO, 2008).

Os sensores passivos mais tradicionais são as câmaras fotográficas, empregadas em imageamento aéreo desde o início do século XX. O avanço da eletrônica possibilitou um grande avanço em sistemas sensores, possibilitando o desenvolvimento de sensores com os mais variados tipos de resoluções, dedicados a propósitos multifinalitários ou específicos (MENESES, 2005).

Os sensores passivos multiespectrais são os mais comuns, por possibilitarem a diferenciação e o reconhecimento de alvos terrestres, a partir do conhecimento do comportamento espectral dos alvos, conforme figura 9.

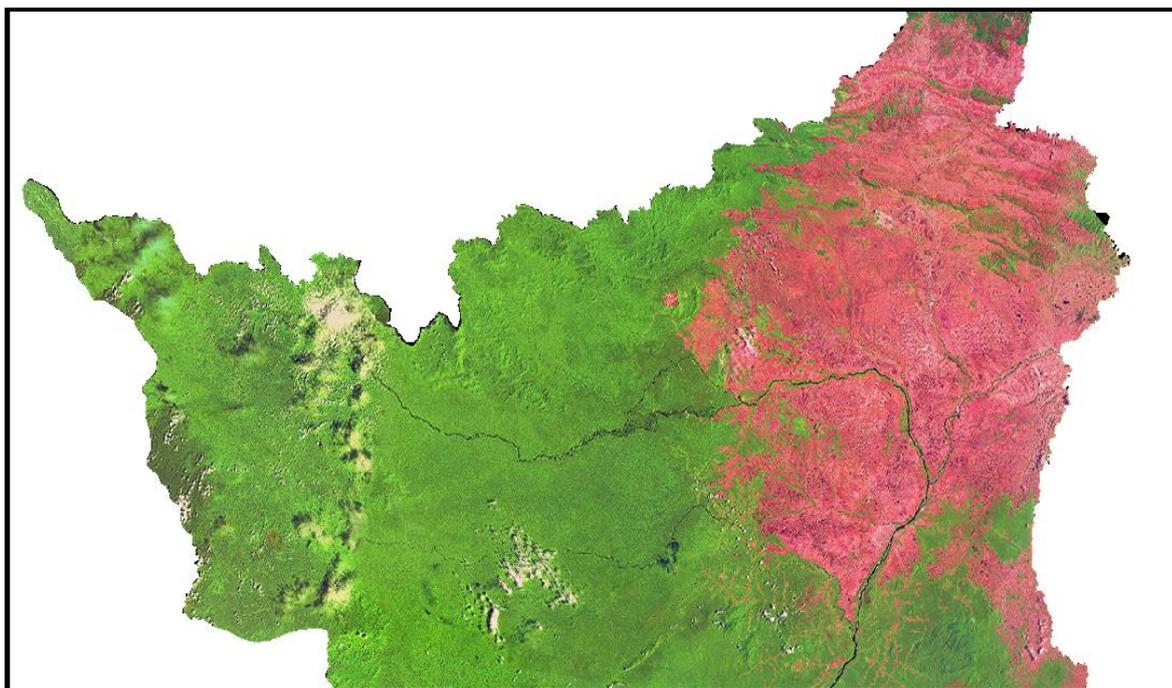


Figura 9 – Imagem óptica do norte do Estado de Roraima.

1.6.6.2 Sensores ativos

A radiação eletromagnética com comprimentos de onda no intervalo de 1 mm a 100 cm não possui energia suficiente para interagir com os alvos, prevalecendo o modelo ondulatório. Esses sensores denominados RADAR (*Radio Delection and Ranging*) são compostos por conjuntos de antenas que emitem e recebem pulsos de REM, que possibilitam a interpretação de alvos terrestres com base na intensidade do pulso refletido. As antenas atuais simulam antenas de maiores dimensões, sendo conhecidas como Radares de Abertura Sintética, ou SAR. Os diferentes comprimentos de onda utilizados servirão para delimitar dimensões mínimas do objeto que se deseja registrar nas imagens, como, por exemplo, troncos de árvores, ondas em corpos d'água, rugosidades em solo agrícola (ROSA, 2007).

Os comprimentos de onda (λ) são referenciados usualmente como banda L ($\lambda = 23,5$ cm), banda X ($\lambda = 3,0$ cm), banda C ($\lambda = 5,8$ cm) e banda P ($\lambda = 72,0$ cm), ou pela frequência do pulso, em GHz. Alguns sensores RADAR são capazes de emitir e receber pulsos em polarizações distintas (vertical e horizontal). Assim, um sinal de RADAR com determinado comprimento de onda pode ainda ter quatro combinações que auxiliarão na interpretação de alvos: VV, VH, HV e HH. A figura 10 representa imagem de RADAR SAR da região do baixo rio Branco no estado de Roraima.



Figura 10 – Imagem de RADAR SAR da região do baixo rio Branco no estado de Roraima.

Fonte: Modificado de SIPAM (2007).

1.6.7 Processamento de imagens

As funções básicas de um sistema de processamento de imagem são: preparar uma imagem para facilitar a interpretação da cena, explorar com melhores recursos toda a informação contida na imagem e extrair informações de interesse. Os dados são trabalhados em função dos seus valores digitais, dentro de uma abordagem de caráter espectral. Ou seja, a imagem é convertida para uma forma numérica ou digital, permitindo a aplicação de uma variedade de técnicas de processamento e de análise. Os resultados dos processamentos são novos arranjos de valores digitais, representando melhoramentos na qualidade original das imagens (MENESES, 2005).

1.6.7.1 Pré- processamento

A maior parte das imagens disponibilizadas pelos distribuidores privados ou governamentais de produtos de sensoriamento remoto necessita de algum tipo de pré-processamento, dependendo da finalidade da interpretação.

A aplicação das técnicas de processamento da imagem deve ser antecedida por alguns procedimentos visando corrigir preliminarmente irregularidades no dado original, sendo para tanto úteis as correções geométrica, radiométrica e atmosférica da imagem (NOVO, 2008).

O pré-processamento refere-se ao tratamento preliminar dos dados brutos, com a finalidade de calibrar a radiometria da imagem, atenuar os efeitos da atmosfera, remover ruídos, corrigir suas distorções geométricas, por meio de georreferenciamento e reamostragem. Os dados obtidos por sensoriamento remoto são fortemente influenciados pelo relevo. Por, isso técnicas de pré-processamento também são aplicadas visando reduzir o efeito da topografia nas imagens. Técnicas de pré-processamento que alteram muito os dados originais devem ser evitadas antes da aplicação de realce e da classificação automática (FLORENZANO, 2008)

1.6.7.1.1 Correção geométrica

As imagens originais apresentam distorções geométricas, que diminuem a precisão da informação. Uma série de aplicações como na cartografia, confecção de mosaicos, sistema

geográfico de informações e detecção de mudanças de alvos necessita de dados com uma boa precisão, o que leva a uma necessidade de efetuar as devidas correções (ROSA, 2007).

A correção geométrica é necessária para corrigir as distorções das imagens devidas às mudanças de trajetória da plataforma do sensor (principalmente altitude e inclinação), dos movimentos da Terra durante o imageamento e pelo próprio sistema de imageamento cônico realizado pelos sensores (MENESES, 2005).

1.6.7.1.2 Correção radiométrica

A correção radiométrica visa corrigir as distorções das imagens devida aos desajustes na calibração radiométrica dos sensores e erros esporádicos que surgem na transmissão de dados (MENESES, 2005).

Segundo Rosa (2007), a correção radiométrica refere-se à remoção ou diminuição de distorções originadas quando do registro da radiação eletromagnética por parte de cada detector. Vários fatores podem causar distorções nos valores digitais registrados para as células de uma imagem. Algumas distorções mais comuns, para as quais existem procedimentos de correção, são: desajustes na calibração dos detetores, erros esporádicos na transmissão dos dados e influências atmosféricas. A correção radiométrica de imagens visa corrigir estas degradações e é uma das mais importantes fases do processamento digital pois, caso estas imperfeições não sejam removidas, poderão ser enfatizadas, por exemplo, quando da aplicação posterior de técnica de realce de imagens.

1.6.7.1.3 Correção atmosférica

A atmosfera é um dos principais provocantes de degradações nas imagens originais, muitas vezes comprometendo a análise e interpretação destas. A intensidade da influencia atmosférica depende do comprimento de onda, ou seja, varia de banda (faixa espectral de operação do sistema sensor) e a sua correção na imagem pode ser feita a partir de um modelo matemático. Estes modelos matemáticos são de difícil aplicação porque normalmente os parâmetros atmosféricos requeridos no modelo geralmente são desconhecidos. Estes parâmetros devem ser obtidos na hora e data da passagem do satélite por estações meteorológicas com equipamentos de radiossondagem (ROSA, 2007).

A correção atmosférica visa corrigir as distorções produzidas nas imagens devidas aos desajustes causados pelo espalhamento e absorção da energia eletromagnética emitida e refletida na atmosfera, antes de ser registrada pelo sensor (MENESES, 2005).

Na prática, desenvolveram-se técnicas de correção atmosférica com bons resultados, principalmente o método do mínimo histograma, que consiste na identificação, na imagem, de áreas com sombras de relevo, sombra de nuvem ou corpos límpidos d'água, onde assume-se que estas áreas possuem radiância zero e os valores de níveis de cinza não nulos encontrados nestes alvos são considerados provenientes do efeito aditivo do espalhamento atmosférico. O menor valor medido em cada banda espectral nestas áreas é subtraído dos valores digitais de toda a cena na respectiva banda (MOREIRA, 2005).

1.6.7.2 Técnicas de processamento digital de imagens

Após a correção das distorções geométricas, radiométricas e atmosféricas, executam-se os procedimentos de processamento da imagem. A escolha das técnicas de processamento a serem aplicadas à imagem depende das características da área imageada, das condições em que a imagem foi obtida, do objetivo específico do trabalho e da capacidade do analista em interpretação de imagem. Portanto a decisão cabe ao analista que irá interpretar a imagem (MENESES, 2005).

Podem-se citar os procedimentos de realce, de transformações de imagens, de filtragem e de classificação como os principais grupos de técnicas de processamento de imagens.

1.6.7.2.1 Técnicas de realce

A finalidade das técnicas de realce é melhorar a qualidade visual das imagens e facilitar o trabalho de interpretação. Consistem na aplicação de técnicas de processamento que visam melhorar ou realçar as características visuais da imagem como um todo, ou destacar elementos específicos, para posterior interpretação (FLORENZANO, 2008).

As técnicas de realce alteram as relações de brilho ou nível de cinza dos *pixels* originais. Dessa forma, caso se pretenda proceder a uma classificação automática na imagem realçada, é necessário ter conhecimento sobre o efeito da transformação realizada sobre os valores digitais (MENESES, 2005).

São diversas as técnicas de realce existentes, podendo-se citar: as ampliações ou suavizações de contraste pelos métodos linear, de equalização, gaussiano e por partes; as composições coloridas RGB e IHS e o realce por saturação.

1.6.7.2.2 Transformação de imagens

Segundo Moreira (2005), muitos dos objetivos da classificação de imagem de satélite no formato digital, o uso de dados espectrais transformados, é, às vezes, mais conveniente do que trabalhar com os originais. São técnicas aplicadas às bandas de um mesmo sensor, ou até mesmo a bandas de diferentes datas e/ou de sensores diferentes, a fim de ampliar a capacidade de interpretação, ou descartar informações irrelevantes para determinado objetivo, simplificando o processamento.

São diversas as técnicas de transformação de imagens existentes, podendo-se citar: transformação RGB para IHS, operações aritméticas com bandas, divisão de bandas, DVI e NDVI, rotação espectral, decorrelação, componentes principais, fusão de imagens (MENESES, 2005).

1.6.7.2.3 Técnicas de filtragem

Segundo Florenzano (2008), a frequência espacial de uma imagem refere-se ao número de mudanças nos valores de níveis de cinza por unidade de distância de um setor de imagem (frequência da variação dos níveis de cinza ou textura). Assim, as áreas de baixa frequência são as de pouca mudança, enquanto as de alta frequência são de mudanças abruptas. A transformação da imagem filtrada depende dos valores dos níveis de cinza dos *pixels* vizinhos. Os filtros espaciais operam por meio de máscara (ou janela) móvel formada por uma matriz de coeficientes (pesos), dimensão e forma variáveis.

As técnicas de filtragem visam melhorar as características visuais da imagem toda ou destacar elementos específicos, com vista posterior interpretação. Difere das técnicas de realce por considerar nos cálculos os *pixels* vizinhos, e não apenas cada *pixel* separadamente (MENESES, 2005).

A técnica de filtragem consiste numa transformação dos níveis de cinza pixel a pixel, levando-se em consideração a informação espacial, isto é, a relação existente entre os *pixels* vizinhos. Filtragem digital é definida como qualquer técnica ou processo de tratamento de

imagens que, diferencialmente, modificam o conteúdo da imagem e tende a enfatizar feições de interesse do analista, enquanto suprime outras indesejáveis, como por exemplo, o ruído (ROSA, 2007).

As principais técnicas de filtragem que podem ser citadas são: passa alta, passa baixa e passa-faixa. Nas imagens resultantes da aplicação de filtros passa-altas, são destacados: estradas, contatos, drenagem, falhas, juntas e outras feições lineares. Os filtros passa-baixas, por exemplo, o Sigma e o Nagao-Matsuyama são muito utilizados para atenuar o ruído *speckle*, característico das imagens de RADAR (FLORENZANO, 2008).

1.6.7.2.4 Classificação

O processo de associar os *pixels* de um conjunto de bandas de uma imagem em classes individuais, com base nos seus valores digitais. Assim, grupos de *pixels* com características espectrais similares em uma imagem são associados a uma mesma classe. O produto gerado a partir do uso de uma técnica de classificação geralmente é um mapa temático, em que objetos de uma mesma classe podem ser facilmente separáveis e quantificados (MENESES, 2005).

A classificação de imagens refere-se à interpretação de imagens de sensoriamento remoto auxiliada por computador. Embora alguns procedimentos permitam incorporar informações acerca de características das imagens, como textura e contexto, a maior parte da classificação de imagens baseia-se exclusivamente na detecção de assinatura espectrais (padrões de resposta espectral) de classes de cobertura do solo. Os métodos de classificação digital podem ser divididos em duas categorias: classificação supervisionada e classificação não supervisionada (ROSA, 2007).

A classificação supervisionada é utilizada quando se tem algum conhecimento sobre as classes na imagem, quanto ao seu número e pontos (na imagem) representativos destas classes. Antes da fase de classificação propriamente dita, o analista obtém as características das classes, por exemplo, média e variância de cada classe, que serão utilizadas como termos de comparação na classificação, fase denominada de treinamento. Na classificação supervisionada, o usuário utiliza seu conhecimento a respeito da região para definir as classes de interesse, identificando áreas na imagem que representem as classes desejadas. Assim, amostras de alvos classificados manualmente pelo usuário servem para expandir essa classificação para toda a imagem. Neste tipo de classificação o analista identifica exemplos das classes de informação (tipos de cobertura do solo) presentes na imagem, estes exemplos

são chamados de área de treinamento. O sistema de processamento de imagem é então usado para desenvolver uma caracterização estatística das reflectâncias para cada classe de informação. Este estágio é frequentemente chamado de análise de assinaturas e pode envolver o desenvolvimento de uma caracterização tão simples quanto a média ou o intervalo de reflectâncias em cada banda, ou tão complexo como análises detalhadas da média, variâncias e covariâncias em todas as bandas (ROSA, 2007).

Na classificação não supervisionada, cabe ao operador apenas definir a quantidade de classes que deseja obter, assim os algoritmos utilizados irão agrupar os *pixels* com características espectrais similares (CENTENO, 2003). Este tipo de classificação não requer qualquer informação prévia sobre as classes de interesse. Ela examina os dados e os divide nos agrupamentos espectrais naturais predominantes presentes na imagem. O analista então identifica esses agrupamentos como classes de cobertura do solo, através de uma combinação de sua familiaridade com a região estudada e visitas para levantamentos de verdade de campo. A lógica com a qual a classificação não supervisionada trabalha é conhecida como análise de agrupamento (*cluster*). É importante reconhecer que os agrupamentos produzidos neste caso não são classes de informação, mas categorias espectrais (isto é, agrupamentos de padrões de reflectância similares). Geralmente o analista necessita reclassificar as classes espectrais em classes de informações (ROSA, 2007).

1.6.8 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

O crescente avanço tecnológico da informática e a necessidade de armazenar e manipular informações e fenômenos do mundo real (análise dos recursos naturais, planejamento regional e urbano, etc.) tornou possível o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de permitir a realização de análises complexas de dados geográficos.

Deste modo surgiram as ferramentas computacionais para o Geoprocessamento, chamadas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite a integração e análise de dados de diversas fontes, bem como automatizar a produção de documentos cartográficos, através da criação de um banco de dados georreferenciado. Um Sistema de Informação Geográfica pode ser definido como um conjunto de ferramentas para manipular dados georreferenciados capaz de armazenar, recuperar, transformar, analisar e manipular os dados coletados do mundo real (ARONOFF, 1989).

1.6.8.1 Arquitetura de um SIG

De acordo com Câmara (1995), a arquitetura de um SIG está dividida em componentes que se relacionam de forma hierárquica, tais como: interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados, conforme esquema apresentado na figura 11.

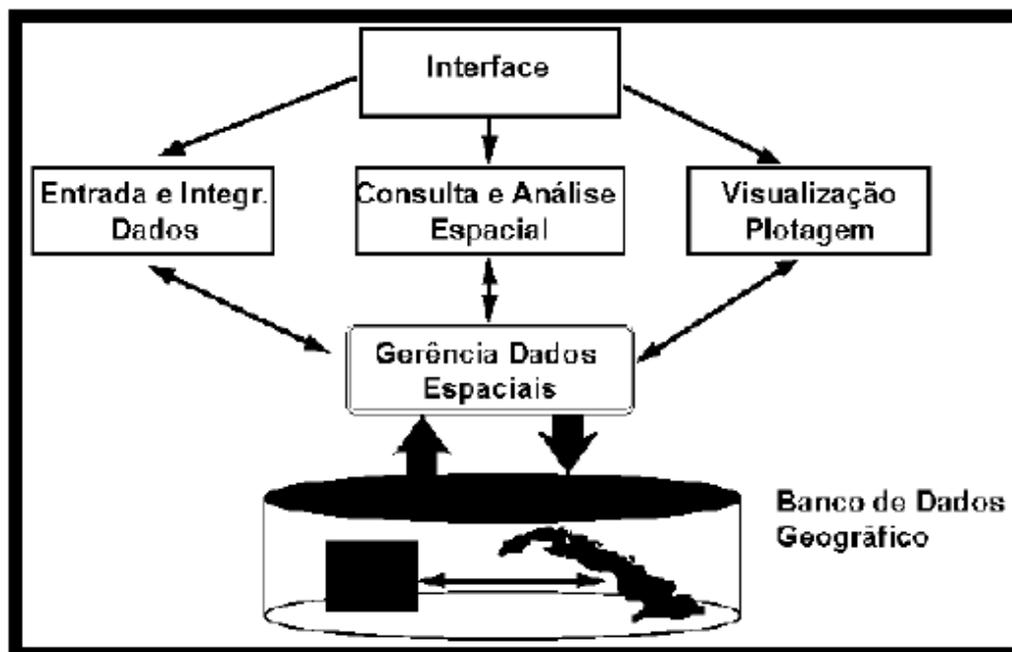


Figura 11 – Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica.
Fonte: Câmara (1995).

A interação usuário/SIG se dá através de uma interface gráfica, na qual o usuário determina as operações a serem executadas pelo sistema.

Aronoff (1989) relata que existem dois tipos de representação digital na qual os dados externos são convertidos para que o sistema possa trabalhar com os dados de entrada: formato vetorial e formato raster (imagem).

O formato vetorial geralmente é o resultado da digitalização de objetos ou feições de modo que o elemento possa ser a representação mais fiel do mundo real. Estes elementos são representados no sistema sob a forma de linhas, pontos e polígonos. A posição espacial de cada elemento representado é organizada na forma de um sistema de coordenadas de referência.

O formato raster é representado por uma malha quadriculada ou uma matriz regular composta de “n” linhas e “n” colunas, construindo célula a célula o elemento a ser representado. O valor atribuído a cada célula denota o tipo de elemento ou a condição que está

sendo representada no local. As imagens digitais são adquiridas neste formato, entretanto é possível representar dados cartográficos desta maneira, por exemplo: uma estrada, representada no formato vetorial por uma linha, no formato raster será representada por um conjunto de células.

Para que as operações de consulta e análise espacial sejam realizadas é necessário que haja uma organização e o gerenciamento das informações geográficas dentro do sistema. Desta forma, o sistema necessita de um componente denominado de Sistema de Gerência de Banco de Dados (SGBD). O SGBD é o responsável pelo armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

1.6.8.2 Características de um SIG

Para que as informações do mundo real possam ser representadas em um Sistema de Informação Geográfica o espaço geográfico é modelado segundo duas visões complementares: o modelo de campo ou Geo-campo e o modelo de objetos ou Geoobjeto.

O Geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica (modelos temáticos, numéricos e imagens). O Geo-objeto é um elemento único que possui atributos não espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas, sua localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno (mapas de cadastro rural).

Segundo Fitz (2008) estes dois modelos se dividem de acordo com suas representações, topologia e formato dos dados, dentre os quais são citados:

- ✓ Mapas temáticos: são dados que descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, como por exemplo, os mapas de pedologia, e aptidão agrícola de uma região. Mapas temáticos medem, no espaço de atributos, valores nominais que representam as classes de um mapa temático e valores ordinais, quando as classes representam intervalos (escala) de valores. Estes dados são do tipo geo-campo e admitem tanto a representação matricial quanto a vetorial.
- ✓ Mapas Cadastrais: são dados que permitem a representação de elementos gráficos (geo-objeto) por pontos, linhas ou polígonos, sendo que cada um dos seus elementos possui um atributo descritivo e podem estar associados a várias representações gráficas.

- ✓ Redes: são dados em que cada objeto geográfico possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritos e presentes no banco de dados. Como exemplos temos cabos telefônicos, canos de água, etc.
Computacionalmente as redes são consideradas atributos armazenados no banco de dados.
- ✓ Modelo numérico de terreno (MNT): é definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y) em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície. É utilizado para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Este modelo é comumente associado a altimetria, podendo ser utilizado para modelar características geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo.
- ✓ Imagem: representam formas de captura indireta de informação espacial. Consideradas geo-campo, são armazenadas como matriz e cada elemento de imagem (pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

1.6.8.3 Álgebra de mapas

O conceito de álgebra de mapas ou álgebra de campo pode ser considerado uma extensão da álgebra tradicional, de modo que as variáveis manipuladas sejam consideradas campos geográficos. As operações realizadas através da álgebra de mapas possibilitam manipular um, dois ou mais geo-campos, sendo que cada geocampo tem um atributo diferente ou um mesmo atributo com datas diferentes de aquisição (CÂMARA, 1995).

As operações sobre geo-campos podem ser classificadas como operações pontuais, zonais e de vizinhança . A figura 12 mostra a representação destas operações, cuja classificação depende da forma como os valores dos atributos nos geocampos origem são obtidos para o processamento.

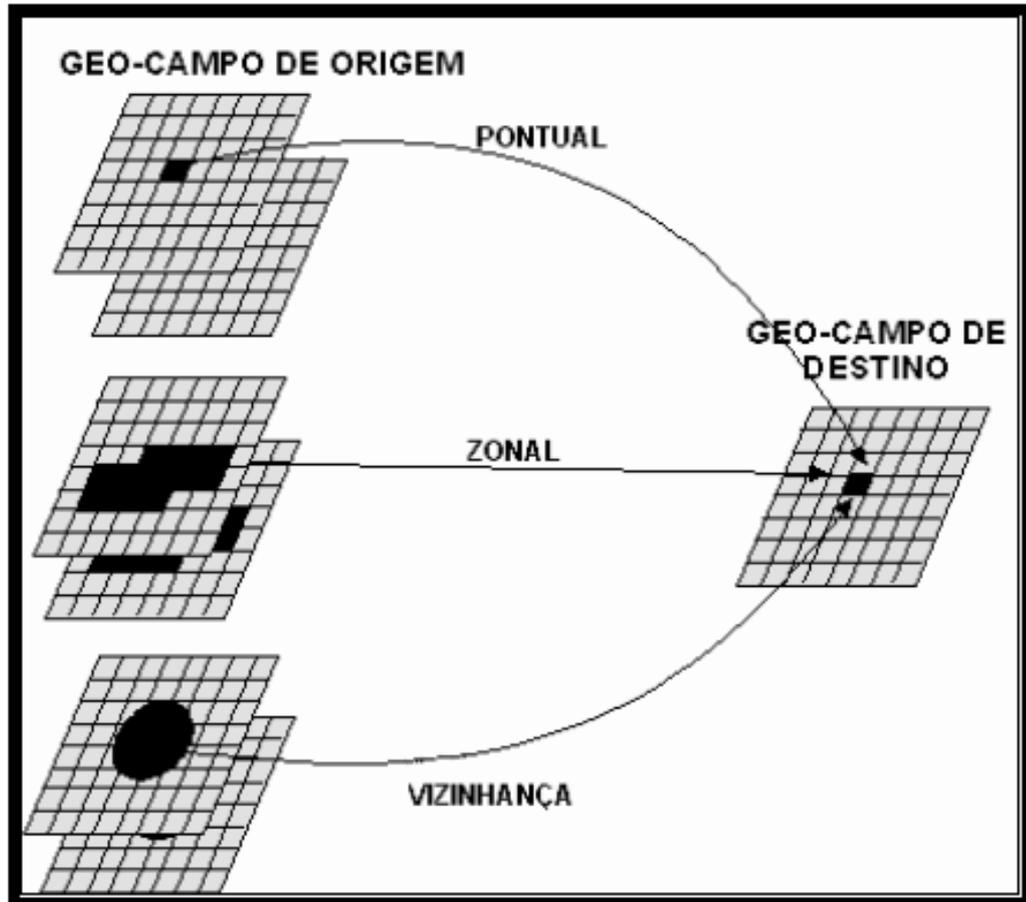


Figura 12 – Classes de operações geográficas.
Fonte: Barbosa (1997).

2 JUSTIFICATIVA

A expansão da economia brasileira apresenta um caráter predominantemente extensivo, pressionando os recursos naturais do país. Estudos realizados pelo Ministério de Meio Ambiente, sobre a ocupação dos ecossistemas brasileiros, detectaram que, independentemente das taxas relativas de crescimento, a economia brasileira continua a incorporar novos espaços, não obstante o aumento relativo do processo de exploração intensiva. Dentre outros resultados apresentados, o documento chama a atenção para os “altos graus de alteração ambiental das áreas mais submetidas à convergência da ação dos macrovetores” (BRASIL, 1996).

A economia do Estado de Roraima é extremamente dependente de repasses de recursos federais, as outras fontes de renda são oriundas das atividades agropecuárias e o extrativismo madeireiro (FREITAS, 2009). A exploração inadequada dos recursos naturais pelas atividades produtivas em Roraima, vem causando diversos impactos ambientais e degradação do meio ambiente. Apesar do Estado de Roraima ser um dos mais preservados do Brasil, faz-se necessário também desenvolver procedimentos sustentáveis nas atividades produtivas, tornando-as até mesmo mais eficazes.

Esforços coletivos de diversas instituições têm buscado estabelecer modelos de ocupação e ordenamento territorial. Dentre estes esforços estão os trabalhos que buscam desenvolver uma metodologia para estabelecer a vulnerabilidade das paisagens à perda de solo, a fim de subsidiar o ordenamento territorial e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Uma destas metodologias, disponível em Crepani et al. (2001), foi desenvolvida através de convênio entre a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para aplicação nos estados que compõem a Amazônia Legal, a partir da utilização de imagens orbitais em Sistemas de Informações Geográficas.

A Constituição Federal, no seu artigo 21, inciso IX, determina que é competência da União, elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação de território e de desenvolvimento econômico-social. Também na Carta Magna consta no seu artigo 23 (BRASIL, 1998), que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, entre outras: proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer uma de suas formas; preservar as florestas, a fauna e a flora; fomentar a produção agropecuária e

organizar o abastecimento alimentar; registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios.

O Código Florestal Brasileiro, Lei Federal n. 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), e as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n. 303 (BRASIL, 2002) e n. 369 (BRASIL, 2006) estabelecem critérios para o uso e o manejo adequado dos recursos naturais. No âmbito estadual o Estado de Roraima dispõe na sua Lei Complementar n. 007 de 26 de agosto de 1994 (RORAIMA, 1994), que institui o Código de Proteção ao Meio Ambiente para a Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e uso adequado dos Recursos Naturais do Estado de Roraima.

O município de Cantá que tem em seu território atualmente diversas atividades que causam impactos ambientais, e que geraram um passivo ambiental ainda não mensurado, bem como, ainda não se possui mecanismos para a sua devida recuperação. O presente projeto visa fornecer subsídios para o devido planejamento e ordenamento territorial sustentável do município de Cantá, fortalecendo suas potencialidades e indicando as possíveis medidas mitigadoras para as áreas degradadas, além de avaliar a aplicação da metodologia de Crepani et al. (2001) nas áreas de savanas e de florestas.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Fornecer análise integrada dos componentes da paisagem para planejamento territorial do município de Cantá – RR.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- ✓ Gerar mapas temáticos capazes de caracterizar os componentes do meio físico (Geologia, Geomorfologia, Solo, Clima e Cobertura Vegetal e Uso da Terra), importantes para avaliação da vulnerabilidade à perda de solo de cada unidade de paisagem caracterizada;
- ✓ Gerar mapa de áreas institucionais homologadas (Terra Indígena, Unidades de Conservação, Áreas Militares e áreas destinadas);
- ✓ Gerar um mapa de subsídio à gestão, de modo a auxiliar o planejamento e a administração territorial.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo: município de Cantá

A área de estudo corresponde ao município de Cantá, localizado no Estado de Roraima, aproximadamente a 38 km de Boa Vista, o seu território está distribuído conforme apresentado na figura 13. O município de Cantá foi criado pela Lei Estadual n. 99 de 17 de outubro de 1995 com terras desmembradas do município de Bonfim. Sua população é de 11.119 habitantes, e possui território de 7.691 km², sua densidade demográfica é de 1,45 hab./km². Suas principais vilas são: Serra Grande I, Serra Grande II, Vila Central, Félix Pinto, Vila União e Santa Cecília. Sua economia está baseada na produção da agricultura de subsistência, pecuária de leite e agroindústria caseira para o abastecimento de Boa Vista (FREITAS, 2009).

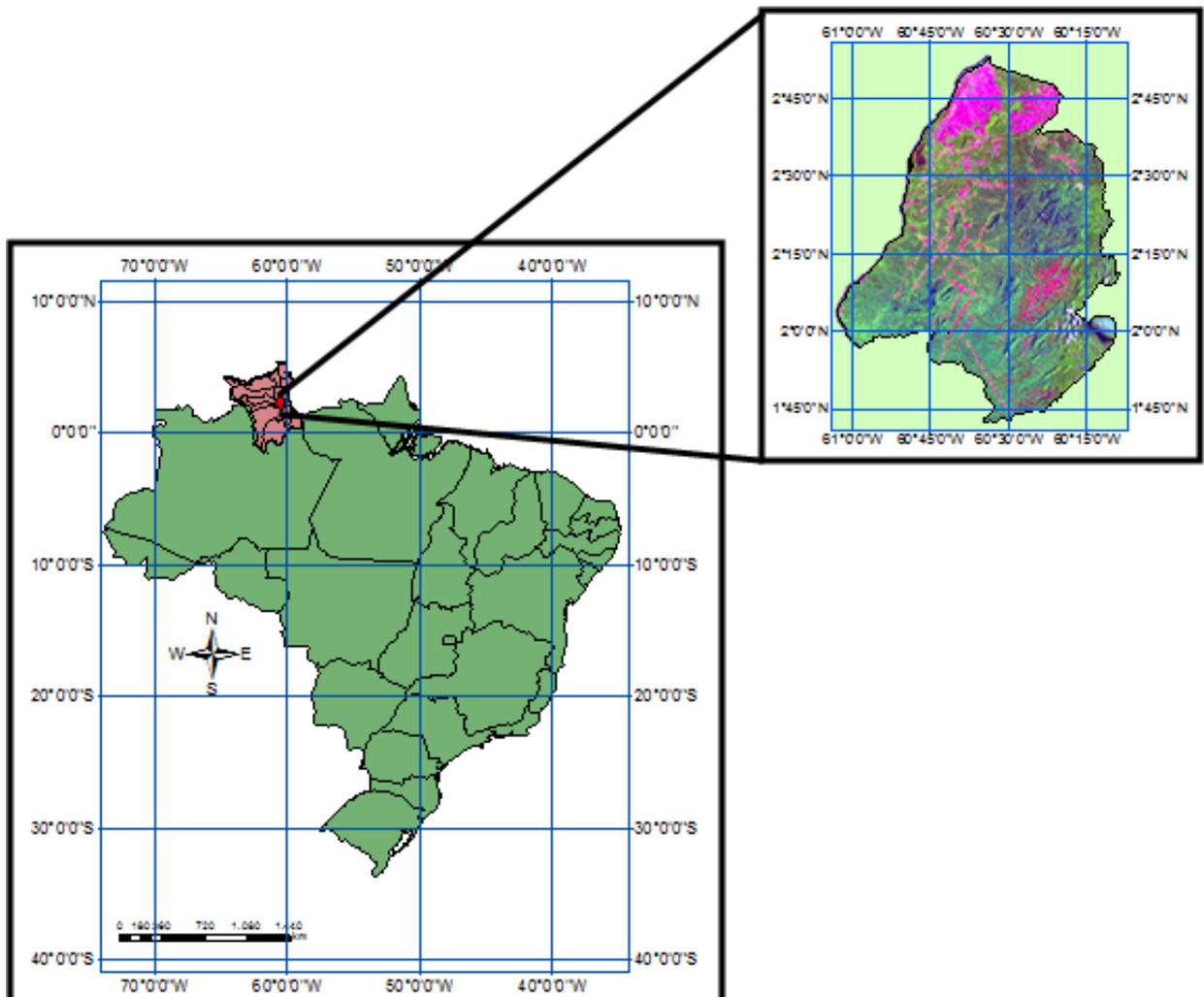


Figura 13 – Localização da área de estudo, imagem Landsat-5.

4.2 Materiais

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo, descrita por Crepani et al. (2001), é imprescindível o conhecimento dos fatores que interferem na formação das unidades de paisagem. Nesta etapa estão descritos os materiais e os equipamentos utilizados no trabalho.

4.2.1 Seleção do material.

Utilizamos imagem ETM+Landsat Geocover e a carta plani-altimétrica NA.20-X-D-II-4 na escala 1:100.000, bem como os pontos de controle, para o devido registro das imagens, e imagens SRTM na elaboração do modelo numérico de terreno (MNT), e dos seguintes mapas: altimétrico e lineamentos de drenagem. Os mapas temáticos (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima) foram obtidos junto à Instituto de Desenvolvimento Florestal de Roraima, dados oriundos do diagnóstico da CPRM (2002), na escala 1:250.000.

4.2.2 Equipamentos e aplicativos

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos e aplicativos:

- ✓ Microcomputador com memória RAM de no mínimo 2 Gb – para edição e processamento do banco de dados georreferenciado e geração dos relatórios;
- ✓ GPS (*Global Positioning System*), da Garmin modelo GPSmap 60CSx – para localização de amostras temáticas e pontos de controle para correção de imagens de sensoriamento remoto;
- ✓ Câmara fotográfica DLSR A-100, sensor CCD, da Sony – para registro fotográfico em formato digital das feições observadas em campo;
- ✓ Aplicativo SPRING 5.1.5 e seus módulos IMPIMA e SCARTA – para edição de dados cadastrais, álgebra de mapas, geração de Modelo Digital de Elevação (MDE) e elaboração de mapas temáticos;
- ✓ *Software* ArcView 9.3 e seus módulos – para leitura, edição, conversão de dados do formato shape para spg e vice-versa e elaboração de mapas temáticos;

- ✓ *Software* ENVI 4.7 – para pré-processamento e processamento de imagens de sensoriamento remoto.

4.2 Metodologia

A metodologia desenvolvida por Crepani et al. (2001) para a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo se faz mediante a interpretação de dados cartográficos, mapas temáticos, imagens de sensoriamento remoto e observações realizadas em campo. E posteriormente, elaboração de banco de dados georreferenciados no ArcView 9.3. Os métodos utilizados serão descritos a seguir.

4.2.1 Construção do banco de dados georreferenciados

Para a construção do banco de dados georreferenciados foi utilizado o software ArcView versão 9.3 que permite a administração e manipulação de dados vetoriais e matriciais e possui linguagem acessível ao usuário.

Para introdução dos dados, primeiramente foi criado o *modelo de dados* do banco com o tipo adequado de *categoria* (numérico, temático, imagem, cadastral ou rede) para cada dado inserido. Desta forma o banco passa a ter uma área física constituída de um projeto que comporta conjuntos de Planos de Informação (PI), de acordo com o fluxograma do modelo conceitual apresentado na figura 14.

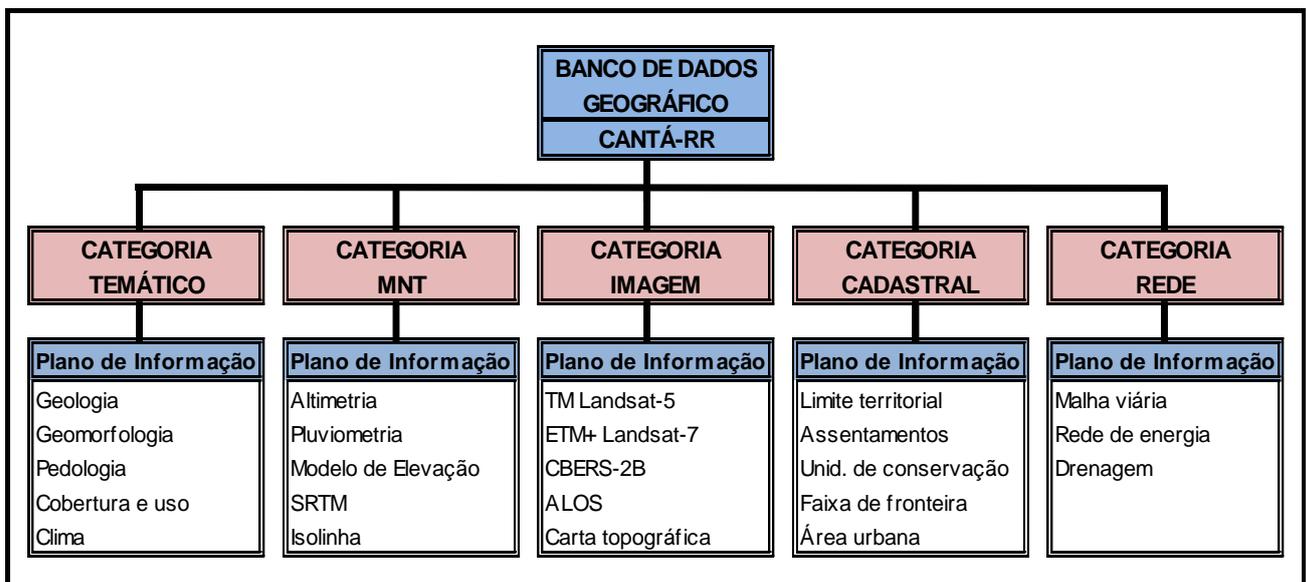


Figura 14 – Modelo conceitual do banco de dados.

4.2.2 Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto

Para obter uma melhor qualidade nos resultados da interpretação e na classificação das imagens utilizadas como “âncora” (Crepani et al., 2001) foi necessário aplicar algumas técnicas de processamento de imagens, conforme esquema apresentado na figura 15.

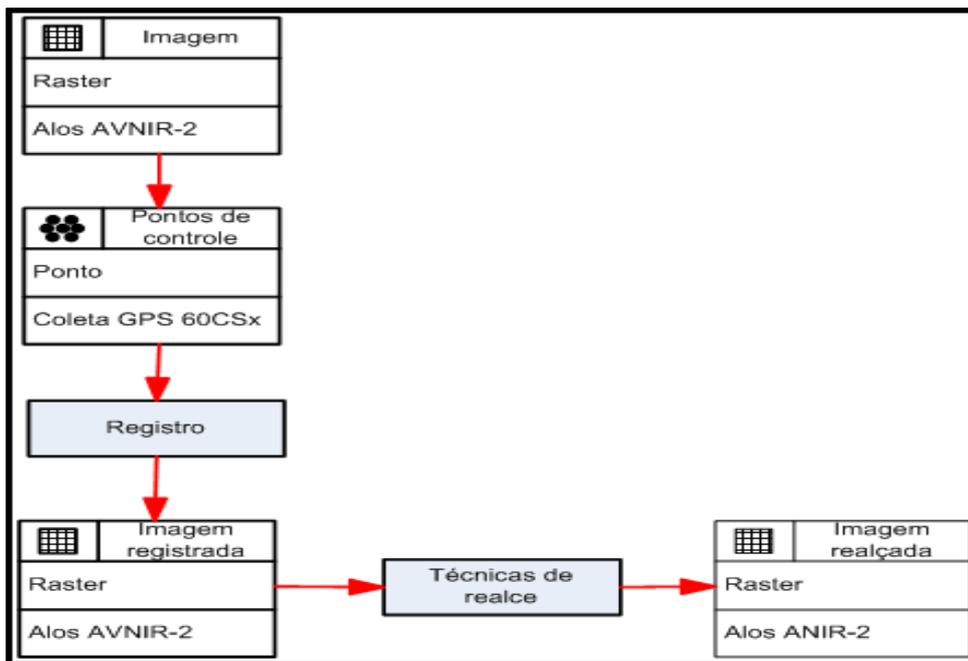


Figura 15 – Técnicas de processamento de imagem.

4.2.3 Registro e técnicas de realce

Inicialmente aplicamos a correção geométrica mediante o registro imagem-imagem, no software ENVI, através do método de vizinho mais próximo. A imagem base foi o mosaico Geocover 2000, a imagem a ser registrada foram cenas atualizadas dos sistemas TM Landsat 5 e Alos AVNIR-2. Posteriormente o registro das imagens foi refinado por meio de pontos de controle obtidos em campo.

Na fase de preparação para a interpretação visual foi aplicada a técnica de realce linear de contraste, de acordo com critérios subjetivos estabelecidos pelo intérprete, através da manipulação do histograma da imagem, o que permitirá uma melhor discriminação dos alvos ou componentes da paisagem. Esta manipulação pode ser feita pela opção linear, negativo, mínimo e máximo, raiz quadrada e logarítmica, dentre outras operações de manipulação de contraste implementadas no software ENVI.

4.2.4 Classificação

Sobre cada uma das imagens-fração de vegetação, solo e sombra, obtidas a partir do modelo linear de mistura espectral, foi aplicada uma classificação não-supervisionada utilizando o classificador ISODATA (Interactive Self Organizing Data Analysis Tecnique Algorithm), implementado no software ENVI, por meio deste procedimento obteve-se o mapa de cobertura e uso atual.

4.2.5 Análise e interpretação de dados e imagens de sensoriamento remoto

Nesta etapa, foram descritos os procedimentos utilizados na análise e interpretação de dados e imagens de sensoriamento remoto para identificação das unidades de paisagem e posterior geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem, seguindo a metodologia de Crepani et al. (1996, 2001).

4.2.5.1 Plano de Informação Cobertura Vegetal e Uso da Terra

O Plano de Informação Cobertura Vegetal e Uso da Terra será produzido utilizando-se a classificação automática não-supervisionada e supervisionada gerada no ENVI que, após uma interpretação inicial restrita a mudança de classes, será exportada e importada para o ArcView 9.3.

4.2.5.2 Reinterpretação e ajuste dos mapas

Foram selecionados mapas de Geologia, Geomorfologia e de Solos que deverão ser previamente reinterpretados e ajustados da escala de 1:250.000 para a escala de trabalho através da “*interpretação em tela*”, criando-se um Plano de Informação (PI) para cada tema.

4.2.5.3 Plano de Informação Geologia

O PI Geologia foi gerado tendo como base os mapas produzidos pela CPRM (2002) no formato digital, na escala 1: 250.000. Estes mapas estão georreferenciados e foram usados

como referência na interpretação geológica das imagens usadas como “âncora” utilizando-se a ferramenta de edição vetorial do software ArcView 9.3 para interpretação em tela.

4.2.5.4 Plano de Informação Geomorfologia

O PI Geomorfologia foi produzido tendo a imagem de satélite como “âncora” e o Mapa Geomorfológico da área, publicado pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975) na escala 1:1.000.000 e pelos mapas da CPRM (2002), como referência. Estes, por sua vez, foram digitalizados e georreferenciados para que possam orientar a interpretação da imagem.

A partir do PI Geomorfologia foi possível analisar e calcular as informações referentes aos índices morfométricos (amplitude altimétrica, declividade e grau de dissecação) obtidos por amostragem e presentes em cada classe geomorfológica.

4.2.5.5 Plano de Informação Solos

O Mapa de Solos fornecido pela CPRM (2002) no formato digital na escala 1:250.000, que após seu registro, foi utilizado como referência para a geração do PI Solos. Este Plano de Informação foi gerado tendo como base as formas de relevo fornecidas pelo PI Geomorfologia.

4.2.5.6 Plano de Informação Intensidade Pluviométrica

Os dados de intensidade pluviométrica foram obtidos por meio de estações meteorológicas contidas e nas proximidades da área de estudo. Os dados foram importados e tratados no editor de planilha do Microsoft EXCEL®, no qual devidamente processados para obtenção das médias anuais e mensais. O cálculo do valor de intensidade pluviométrica de cada estação é feito a partir da seguinte equação:

$$\text{Intensidade pluviométrica} = \text{Precipitação média anual} / \text{Número de dias com chuva} / 30$$

Os dados das estações de coleta são acompanhados das coordenadas geográficas que definem a sua posição (Projeção CYLINDRICAL/SAD69), deste modo possibilitou atribuir a cada estação o valor de intensidade pluviométrica calculado e estes pontos importados para o banco de dados utilizando-se um arquivo ASCII, contendo as informações e posteriormente elabora-se a interpolação dos valores de “z” (Intensidade Pluviométrica) utilizando-se o

interpolador “*média ponderada*”, implementado no banco de dados. Fornecendo a melhor gradação da superfície numérica, com formas mais suaves e sem quebras marcantes entre os valores de altos e baixos. Este procedimento permitiu a construção de uma superfície numérica que mostrou a distribuição linear dos valores contidos entre os intervalos de intensidade pluviométrica obtidos.

4.2.5.7 Etapa de campo

A etapa de campo serviu de base para o reconhecimento e compreensão dos processos formadores da paisagem, bem como para identificar feições que se apresentem como dúvidas na interpretação das imagens de sensoriamento remoto a respeito da geologia, geomorfologia, solos e principalmente da cobertura vegetal e uso atual da terra.

4.2.6 Análise Ecodinâmica

Para estabelecer os valores de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem, atribuídos individualmente a cada tema analisado, serão considerados os processos que influenciam no desenvolvimento da morfogênese e/ou pedogênese. Embora esses valores sejam relativos e empíricos, procura-se através deles representar o comportamento esperado para cada um dos temas frente aos processos naturais da denudação, resultante da interação de processos intempéricos e erosivos, responsável direto pela perda de solo.

A denudação em seu trabalho contínuo reduz as montanhas e elevações, aplainando as irregularidades até atingir uma superfície de erosão de topografia quase plana denominada peneplano. A velocidade de denudação é maior nas áreas de topografia mais acidentada e depende da vegetação, do clima, da resistência à erosão das rochas que encontra para desgastar e, desde que o homem começou a atuar na superfície do planeta, depende também da atividade humana. Os critérios utilizados para estabelecer estes valores são baseados na metodologia desenvolvida por Crepani et al. (1996; 2001).

4.2.6.1 Geologia

Os aspectos da geologia que foram analisados para a atribuição de valores de vulnerabilidade à perda de solo, compreendem as informações relativas à história da evolução

geológica do ambiente onde a unidade de paisagem se encontra e ao grau de coesão das rochas que a compõem. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem.

As rochas são estudadas em diferentes níveis de observação (afloramentos, amostras de mão e diversos tipos de lâminas) e sob vários aspectos. Os trabalhos de campo visam determinar os tipos litológicos presentes, a forma dos corpos rochosos, as variações estruturais, texturais e mineralógicas que ocorrem no sentido horizontal e vertical. Algumas destas feições são aprofundadas pelo estudo das amostras de mão, à partir das quais são feitas as lâminas estudadas ao microscópio com luz refletida ou transmitida. O exame microscópico é dedicado principalmente à correta identificação dos minerais constituintes da rocha, viabilizando a sua classificação e elucidando suas relações mútuas, permitindo determinar muitos aspectos evolutivos da rocha. Somam-se a isto os estudos químicos e mineralógicos, pela análise de seus elementos principais e traços, visando caracterizar grupos litológicos, as relações entre diversos grupos litológicos e aspectos genéticos.

Como toda rocha é um agregado de minerais, sua resistência ao intemperismo vai depender da resistência ao intemperismo dos minerais que a compõem (o que depende da natureza das ligações entre os átomos dos diferentes elementos químicos que os constituem), bem como da resistência à desagregação entre os minerais (o que vai depender da natureza das forças que juntaram as partículas, cristais ou grãos). O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir dos conceitos da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas devem prevalecer os processos modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de formação de solos (pedogênese).

Os processos intempéricos podem ser classificados como físicos ou químicos. No intemperismo físico predominam os processos de desintegração, onde as rochas são separadas em partes sem haver alteração na estrutura cristalina. No intemperismo químico prevalecem os processos de decomposição, os quais causam a destruição da estrutura cristalina dos minerais que formam as rochas.

Com o objetivo de se atribuir uma posição dentro de uma escala de vulnerabilidade à denudação (intemperismo + erosão), absolutamente relativa e empírica, as rochas mais comumente encontradas na superfície do planeta foram reunidas na figura 16, onde se procurou considerar todos os aspectos relativos ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

Rocha	Valor
Quartzitos ou Metaquartzitos	1,0
Riólito, Granito, Dacito	1,1
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Migmatitos, Gnaisses	1,3
Fonolito, Nefelina, Sienito, Traquito	1,4
Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7
Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9
Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0
Filito, Metassilito	2,1
Ardósia, Metargilito	2,2
Mármore	2,3
Arenitos quartzosos ou Ortoquartzitos	2,4
Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Grauvacas, Arcózios	2,6
Siltitos, Argilitos	2,7
Folhelhos	2,8
Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentos inconsolidados: Aluviões, Colúvios, etc.	3,0

Figura 16 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.
Fonte: Crepani et al. (2001).

4.2.6.2 Geomorfologia

Os valores de vulnerabilidade à perda de solo atribuídos à geomorfologia foram baseados na análise das formas de relevo e associados aos índices morfométricos (amplitude altimétrica, declividade e grau de dissecação).

Assim é considerado porque os valores de amplitude altimétrica estão relacionados à energia potencial contida nas águas das precipitações pluviais que descem do ponto mais alto para o ponto mais baixo das unidades de paisagem. Quanto maior a energia potencial, transformada em energia cinética na descida das encostas, maior será a capacidade de erosão das águas pluviais.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) proporciona uma melhor precisão na extração das cotas encontradas em cada unidade de paisagem delimitada no PI Geomorfologia. Deste modo, o cálculo da amplitude altimétrica será feito através da diferença entre as cotas máximas e mínimas extraídas da grade SRTM refinada.

No caso dos valores de vulnerabilidade para a declividade, considera-se o ângulo de inclinação das encostas em relação ao horizonte para cada unidade de paisagem. Quanto

maior a inclinação maior a declividade e, portanto, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, o que se traduz em maior velocidade para as massas de água em movimento e, conseqüente, maior poder erosivo. Desta forma, quanto maior a declividade, maior o valor de vulnerabilidade à perda de solo atribuído.

Quanto maiores forem os interflúvios (ou menor for a intensidade de dissecação) menores são os valores de vulnerabilidade atribuídos às unidades de paisagem. Da mesma forma as unidades de paisagem que apresentarem os menores interflúvios (ou maiores intensidades de dissecação) têm os maiores valores de vulnerabilidade.

Os lineamentos serão traçados a partir das feições lineares de relevo (cristas e vales) e drenagem (trechos retilíneos, padrões e anomalias) conforme Veneziani e Anjos (1982), sendo a base cartográfica, o elemento principal de análise, e a interpretação de imagens de sensores orbitais, para complementação. Os indicadores cinemáticos foram obtidos a partir dos modelos regionais vigentes elaborados por Costa (1999), CPRM (2002) e Tavares Júnior (2004), além de interpretações das imagens atuais de sensoriamento remoto.

Os valores calculados dos índices morfométricos foram associados aos valores de vulnerabilidade à perda de solo, conforme mostrado nas figuras 17, 18 e 19.

Amplitude altimétrica (m)	Vulnerabilidade/Estabilidade
< 20,0	1,0
20,0 - 29,5	1,1
29,5 - 39,0	1,2
39,0 - 48,5	1,3
48,5 - 58,0	1,4
58,0 - 67,5	1,5
67,5 - 77,0	1,6
77,0 - 84,5	1,7
84,5 - 94,0	1,8
94,0 - 103,5	1,9
103,5 - 113,0	2,0
113,0 - 122,5	2,1
122,5 - 132,0	2,2
132,0 - 141,5	2,3
141,5 - 151,0	2,4
151,0 - 160,5	2,5
160,5 - 170,0	2,6
170,0 - 179,5	2,7
179,5 - 189,0	2,8
189,0 - 200,0	2,9
> 200,0	3,0

Figura 17 – Valores de vulnerabilidade à perda de solo para a amplitude altimétrica. Fonte: Crepani et al. (2001).

Declividade		Vulnerabilidade/Estabilidade
Graus	Porcentagem	
< 2	< 3,5	1,0
2,0 - 3,3	3,5 - 5,8	1,1
3,3 - 4,6	5,8 - 8,2	1,2
4,6 - 5,9	8,2 - 10,3	1,3
5,9 - 7,3	10,3 - 12,9	1,4
7,3 - 8,6	12,9 - 15,1	1,5
8,6 - 9,9	15,1 - 17,4	1,6
9,9 - 11,2	17,4 - 19,8	1,7
11,2 - 12,5	19,8 - 22,2	1,8
12,5 - 13,8	22,2 - 24,5	1,9
13,8 - 15,2	24,5 - 27,2	2,0
15,2 - 16,5	27,2 - 29,6	2,1
16,5 - 17,8	29,6 - 32,1	2,2
17,8 - 19,1	32,1 - 34,6	2,3
19,1 - 20,4	34,6 - 37,2	2,4
20,4 - 21,7	37,2 - 39,8	2,5
21,7 - 23,0	39,8 - 42,4	2,6
23,0 - 24,4	42,4 - 45,3	2,7
24,4 - 25,7	45,3 - 48,1	2,8
25,7 - 27,0	48,1 - 50,0	2,9
> 27,0	> 50,0	3,0

Figura 18 – Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas.
Fonte: Crepani et al. (2001).

Amplitude do interflúvio (m)	Vulnerabilidade/Estabilidade
> 5000	1,0
4750 - 5000	1,1
4500 - 4750	1,2
4250 - 4500	1,3
4000 - 4250	1,4
3750 - 4000	1,5
3500 - 3750	1,6
3250 - 3500	1,7
3000 - 3250	1,8
2750 - 3000	1,9
2500 - 2750	2,0
2250 - 2500	2,1
2000 - 2250	2,2
1750 - 2000	2,3
1500 - 1750	2,4
1250 - 1500	2,5
1000 - 1250	2,6
750 - 1000	2,7
500 - 750	2,8
250 - 500	2,9
< 250	3,0

Figura 19 – Valores de vulnerabilidade para o grau de dissecação do relevo.
Fonte: Crepani et al. (2001).

4.2.6.3 Solos

A causa fundamental da erosão hídrica seja laminar, em sulcos ou ravinas, é a ação da chuva sobre o solo. A chuva é o agente ativo da erosão e o solo é o agente passivo. O termo *erodibilidade* se refere à capacidade de um determinado solo resistir à erosão. A erodibilidade de um solo é função das condições internas ou intrínsecas do solo, como sua composição (mineralógica e granulométrica) e características físicas e químicas, e das suas condições externas ou atributos da superfície do solo, relacionadas ao manejo do solo.

O manejo do solo pode ser subdividido em *manejo da terra*, que se refere aos diferentes tipos de uso da terra, como silvicultura, pastagens e agricultura, e *manejo da cultura* que se refere especificamente às técnicas de agricultura, como tipo de cultura, métodos de preparo de solo e plantio, tipo de cultivo, etc.

Para a caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem nos aspectos relativos ao solo são enfocadas suas condições intrínsecas, enquanto que para a análise do uso do solo são abordados os seus atributos de superfície.

A Pedologia participa da caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica: a maturidade dos solos. A maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, profundos, lixiviados e bem desenvolvidos.

A maior ou menor suscetibilidade de um solo a sofrer os processos erosivos da morfogênese depende de diversos fatores e os mais importantes são: estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis. É bom lembrar que o tempo de formação de um solo desenvolvido, apesar de ser variável, nunca é uma reação instantânea, requerendo centenas a milhares de anos para formar 1 cm de solo que, com manejo inadequado, pode se perder em apenas uma safra. A figura 20 mostra os valores de vulnerabilidade atribuídos aos principais tipos de solos.

Classificação de solos (EMBRAPA, 2006)	Vulnerabilidade/Estabilidade
Latossolos Amarelos	1,0
Latossolos Vermelhos-Amarelos	1,0
Latossolos Vermelhos	1,0
Latossolos Brunos	1,0
Latossolos (...) Húmicos	1,0
Latossolos Bruno (...) Húmicos	1,0
Argissolos	2,0
Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos	2,0
Argissolos Nitossolos	2,0
Luvisolos	2,0
Chernossolos	2,0
Planossolos	2,0
Espodossolos	2,0
Cambissolos	2,5
Neossolos Litólicos	3,0
Neossolos Flúvicos	3,0
Neossolos Regolíticos	3,0
Neossolos Quartzarênicos	3,0
Vertissolos	3,0
Organossolos	3,0
Gleissolos	3,0
Gleissolos Plintossolos	3,0
Plintossolos	3,0
Afloramento Rochoso	3,0

Figura 20 – Valores de vulnerabilidade dos solos.

Fonte: Modificada de Crepani et al. (2001), incluindo a nova nomenclatura de solos de Embrapa (2006).

Nas unidades de paisagem em que ocorrem associações de solos é feita uma ponderação em função da predominância das classes de solos usando as seguintes proporções: 60% e 40% para uma associação de duas classes ou 60%, 30% e 10% para uma associação com três classes de solos.

4.2.6.4 Cobertura vegetal e uso atual da terra

As informações vindas da Fitogeografia se revestem de grande importância para a caracterização da vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem, porque a cobertura vegetal representa a defesa da unidade contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão). A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras:

- ✓ Evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promove a desagregação das partículas;

- ✓ Impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água;
- ✓ Aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva;
- ✓ Suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo.

Em última análise, compete à cobertura vegetal um papel importante no trabalho de retardar o ingresso das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de drenagem pelo aumento da capacidade de infiltração. A infiltração impede o incremento do *escoamento superficial*, com a consequente diminuição na capacidade de erosão pela transformação de energia potencial em energia cinética. A figura 21 mostra os valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra presentes na área de estudo.

Classes de cobertura vegetal e uso da terra	Vulnerabilidade/Estabilidade
Floresta Ombrófila Densa	1,0
Floresta Densa de Planície Aluvial	1,0
Floresta Secundária (sucessão sec.)	1,2
Reflorestamento (fins comerciais)	2,5
Pasto Sujo	2,6
Campo de Várzea	2,7
Pasto Limpo	2,8
Agricultura	3,0
Área Urbana	3,0

Figura 21 – Valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra.

Fonte: Crepani et al. (2001).

4.2.6.5 Clima

A erosão hídrica - causada pelo impacto das gotas de chuva e arraste de partículas na superfície e sub-superfície do solo, ou pelo movimento do rio em seu leito - é a forma mais comum e mais importante de erosão.

A causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas provocando o intemperismo, e mais tarde sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica. O impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva são os agentes ativos da erosão hídrica, o solo é o agente passivo.

As principais características físicas da chuva envolvidas nos processos erosivos são a quantidade ou *pluviosidade total*, a intensidade ou *intensidade pluviométrica* e a *distribuição sazonal*. Dentre as três características é especialmente importante se conhecer a intensidade pluviométrica, pois representa uma relação entre as outras duas características (quanto chove / quando chove), resultado que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética. A figura 22 mostra os valores de vulnerabilidade à perda de solo relacionados aos valores de intensidade pluviométrica.

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

Figura 22 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo.

Fonte: Crepani et al., (2001).

4.2.7 Integração dos dados

Nesta fase, foram descritos os tratamentos a serem realizados para que os mapas temáticos envolvidos, na análise ecodinâmica, possam conter os valores atribuídos de vulnerabilidade, de acordo com a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), para geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo. Também será elaborado mapa de Áreas de Preservação Permanente, seja de corpos hídricos e/ou relevo, definidas na legislação vigente.

4.2.7.1 Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo

Para que os Planos de Informação referentes a cada tema possam conter os valores de vulnerabilidade à perda de solo foi realizada uma operação pontual de ponderação que gerará uma grade com os valores de vulnerabilidade, conforme apresenta a figura 23.

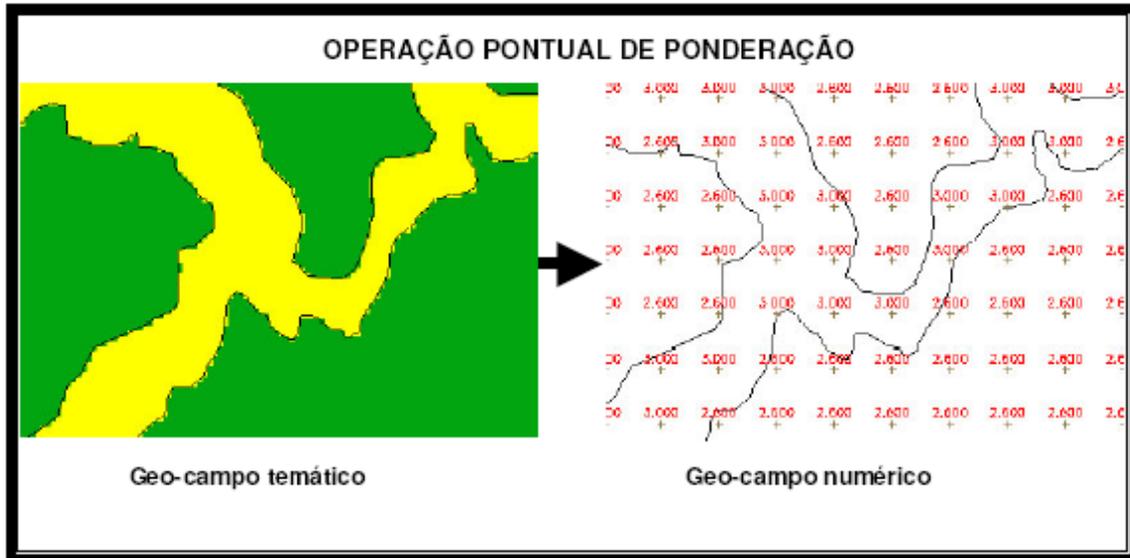


Figura 23 – Operação pontual de ponderação em um geo-campo temático. No exemplo: Plano de Informação de Geologia, com aluviões (valor de vulnerabilidade = 3,0) em área sedimentar (valor de vulnerabilidade = 2,6).

Fonte: Palmeira, (2004).

A ponderação da categoria temática para a categoria numérica será executada a partir do programa PONDERE, elaborado na linguagem de programação LEGAL do SPRING. A partir da operação de ponderação no banco de dados, são geradas das grades numéricas para cada mapa temático por meio de operação pontual, na qual são atribuídos os valores de vulnerabilidade natural à perda do solo, definidos em Crepani et al. (2001), a fim de gerar outra grade numérica. Com o valor de vulnerabilidade à perda de solo, segundo a metodologia de Crepani et al. (2001) em cada mapa temático, calcula-se a média aritmética dos valores dos cinco PI (Geomorfologia, Geologia, Solos, Cobertura Vegetal e Uso da Terra, e Intensidade Pluviométrica), que representa o valor final de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem, conforme mostrado na figura 24.

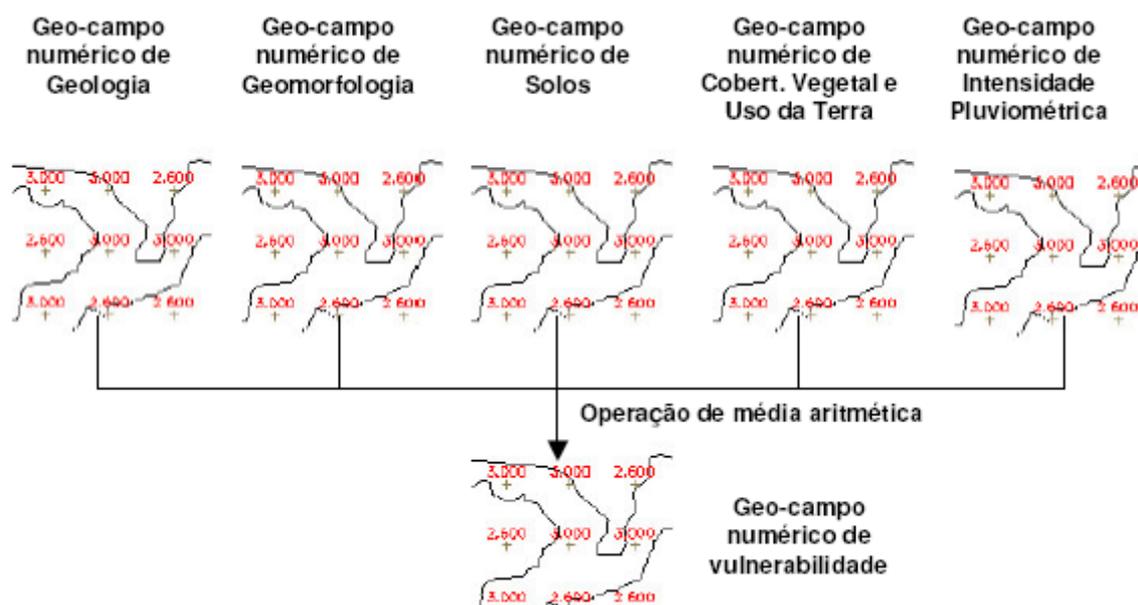


Figura 24 – Modelo esquemático da operação de média aritmética.
Fonte: Palmeira, (2004).

4.2.7.2 Mapa de Subsídio à Gestão Territorial

O Mapa de Subsídio à Gestão Territorial é resultado da combinação do Mapa de Áreas Prioritárias para Preservação, Recuperação ou Uso Sustentado com o Mapa de Áreas de Preservação Permanente e com a área correspondente à Terra Indígena, será realizada através da operação “*Mosaico*” disponível no banco de dados. Esta operação permite que todas as representações de categorias iguais possam ser transferidas dos Planos de Informação fonte para um único Plano de Informação destino. Com esse procedimento reuniu-se num único mapa toda informação relativa a estes três Planos de Informação.

4.3 Avaliação do Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra

A confiabilidade de um mapa está vinculada à sua exatidão, que indica a proximidade de uma medida ao seu valor real. Para a análise da exatidão dos dados gerados em um mapeamento temático, algumas medidas e coeficientes podem ser extraídos a partir de matrizes de confusão com os quais é possível verificar os erros provenientes do processo de classificação, como a exatidão global, os erros de omissão, os erros de inclusão e o índice Kappa (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007).

A matriz de confusão é formada por um arranjo de linhas e colunas que expressam a classe correta (obtida através de verdade terrestre) e as classes estimadas por um classificador, respectivamente (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007). Assim, cada célula da matriz armazena o valor de pixels que deveriam ter sido classificados conforme a classe especificada na linha, mas foram classificadas de acordo com a classe especificada na coluna (CENTENO, 2003). Os elementos da diagonal principal indicam o nível de acerto, ou a concordância, entre os dois conjuntos de dados, vejamos o exemplo na tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de Matriz de Confusão

Classe	A	B	C	D	Soma Parcial
A	60	0	0	0	60
B	0	40	55	15	110
C	0	0	5	5	10
D	8	16	4	32	60
Soma Parcial	68	56	64	52	240

Fonte: Adaptado de Centeno (2003).

A **exatidão global (G)** dá a porcentagem de pixels corretamente classificados na imagem e é calculada dividindo a soma total da diagonal principal pelo número de amostras (CENTENO, 2003). Para a matriz do exemplo seria dada por:

$$G = (60+40+55+32)/240 = 187/240 = 0,78 \text{ ou } 78\%$$

Os **erros de inclusão** são pixels pertencentes a uma determinada classe que foram erroneamente classificados como de outra classe, ou seja, foram omitidos de sua verdadeira classe. Descreve com que precisão uma determinada classe foi definida. São dados para cada classe dividindo o número de pixels incorretamente classificados da classe pela soma parcial da linha da mesma classe (CENTENO, 2003).

$$Ein(i) = [SL(i) - M(i,i)] / SL(i)$$

Onde:

SL(i) = soma parcial da linha i

M(i,i) = elemento da diagonal na linha i

Para a Classe C da matriz do exemplo: $Ein(C) = (60-55)/60 = 5/60 = 0,083 = 8,3\%$

Neste caso, a exatidão obtida se refere ao ponto de vista do produtor do mapa temático, ou seja, quanto maior esta exatidão, maior a quantidade de pixels corretamente classificados em cada classe (CENTENO, 2003). É dada por:

$$EP(i) = 100 - Eom(i)$$

$$EP(C) = 100 - 8,3 = 91,7\%$$

Os **erros de omissão** correspondem aos pixels que foram incluídos na classe considerada, sendo na realidade pertencentes à outra classe. Indicam o quanto uma classe foi superestimada (CENTENO, 2003).

$$Eom(i) = [SC(i) - M(i,i)] / SC(i)$$

Onde:

SC(i) = soma parcial da coluna i

M(i,i) = elemento da diagonal na coluna i

Para a Classe C da matriz do exemplo: $Eom(C) = (64-55)/60 = 9/60 = 0,15 = 15\%$

Neste caso, a exatidão obtida se refere ao ponto de vista do usuário do mapa temático, ou seja, se o total de pixels representados como uma determinada classe na imagem temática realmente corresponde a esta classe. Quanto maior a exatidão, maior a correspondência (CENTENO, 2003). É dada por:

$$EU(i) = 100 - Ein(i)$$

$$EU(C) = 100 - 15 = 85\%$$

O **coeficiente Kappa** é uma medida de quanto à classificação está de acordo com os dados de referência, pois compara o mapa temático produzido com um mapa temático resultante de uma classificação completamente aleatória (CONGALTON, 1991). Considera-se que quanto melhor for a qualidade do mapa temático, maior será a diferença entre ele e um mapa produzido de forma totalmente aleatória (CENTENO, 2003). É dado por:

Onde:

$$\hat{k} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2}$$

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n} \quad \text{Exatidão Global}$$

$$\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2} \quad \text{Exatidão Global} \\ \text{(se a classificação e a verdade fossem independentes)}$$

Para a matriz do exemplo, o Kappa é dado por:

Exatidão Global: $\theta_1 = 0,80$

Exatidão Global se classificação e verdade fossem independentes: $\theta_2 = 0,25$

$$\hat{k} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} = (0,8 - 0,25) / (1 - 0,25) = 0,733$$

Landis e Koch (1977) estabeleceram intervalos para os quais o coeficiente Kappa pode ser conceituado, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Conceitos de eficiência do coeficiente de concordância kappa

Kappa	Conceito
< 0	Péssima
$0 < k \leq 0,20$	Má
$0,20 < k \leq 0,40$	Razoável
$0,40 < k \leq 0,60$	Boa
$0,60 < k \leq 0,80$	Muito Boa
$0,80 < k \leq 1,00$	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

Figueiredo e Vieira (2007) afirmam que embora a exatidão global geralmente apresente um valor mais alto, o coeficiente Kappa é mais consistente por envolver todas as

células da matriz de confusão, ao contrário do primeiro avaliador, que considera apenas os valores da diagonal da matriz. Além disto, lembram que o Kappa é bastante indicado para a avaliação de acurácia de mapas temáticos, embora tenha a tendência de superestimar a proporção de concordância por chance e subestimar a precisão da classificação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados alcançados no decorrer do trabalho. Para melhor discorrer sobre os resultados o capítulo foi dividido em quatro etapas: processamento digital das imagens orbitais, análise e interpretação dos dados gerados, integração dos dados e banco de dados.

5.1 Processamento digital das imagens orbitais

5.1.1 Correção geométrica

A correção geométrica das imagens foi feita através de registro imagem-carta, no qual foram coletados 9 (nove) pontos de controle para cada imagem. Este procedimento proporcionou um registro que foi gerado através de polinômio do primeiro grau. Registro esse com erro médio de 0,942 pixel, ou seja, abaixo de 30 metros e aceitável para a escala de trabalho (1: 100.000). O critério utilizado no registro possibilitou a confecção do mosaico das imagens de forma eficiente sem erros perceptíveis de deslocamento.

5.1.2 Técnicas de realce

A técnica de realce por aumento linear de contraste e a manipulação do histograma permitiu realçar determinadas feições importantes para a interpretação. As técnicas de realce foram utilizadas nas interpretações dos mapas temáticos, visando uma melhor observação dos alvos. Foi bastante útil na análise dos temas de geologia, geomorfologia, pedologia e cobertura e uso atual da terra, o realce gaussiano na composição R(5)G(4)B(3). Na banda 4, utilizada isoladamente, foi aplicada uma operação de mapeamento linear inverso, o que proporcionou a inversão do relevo na imagem. A banda invertida alternada com mesma banda 4 (apenas com o realce e sem a inversão) facilitou a interpretação das formas de relevo, conforme apresentado nas figuras 24 a 35.

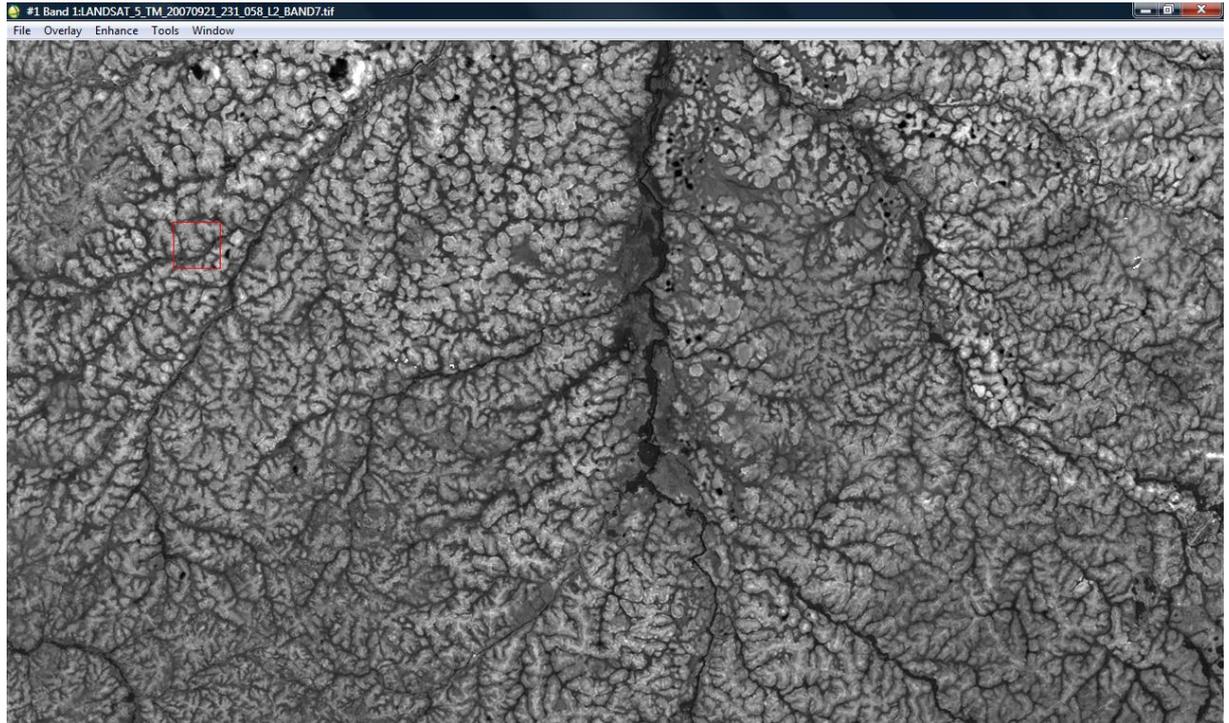


Figura 25- Imagem pré-processada da área de estudo na banda 4.

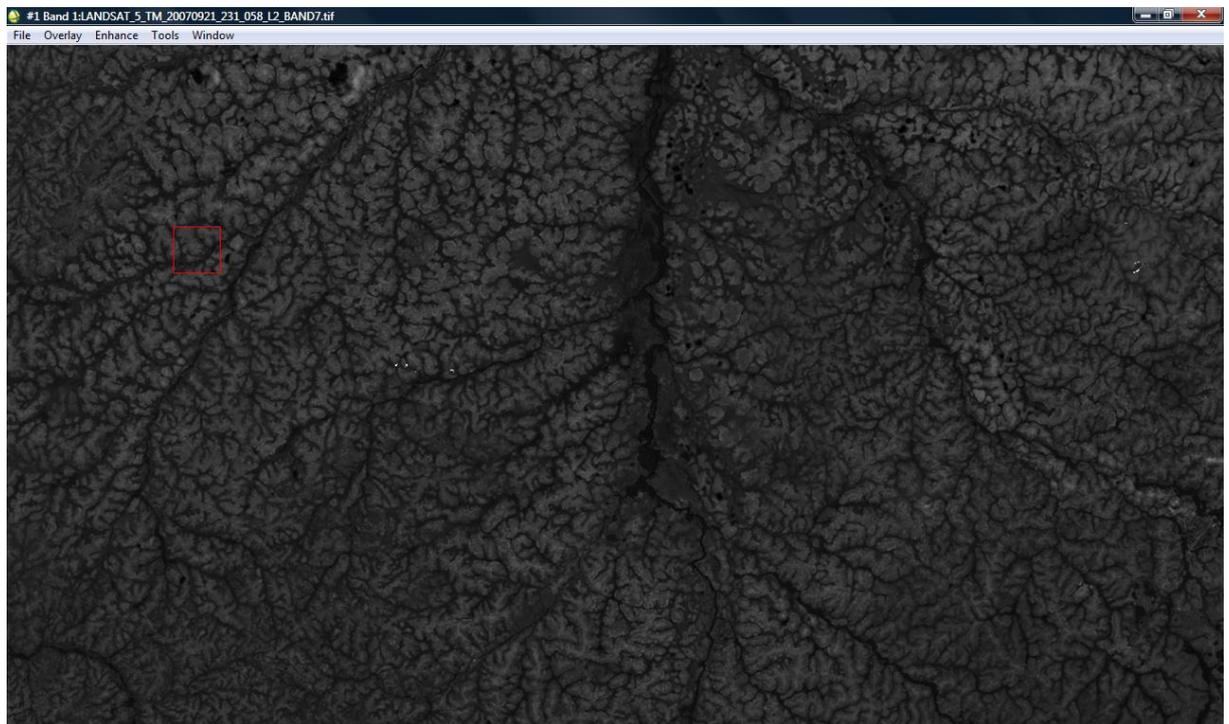


Figura 26- Imagem processada com realce linear da área de estudo na banda 4.

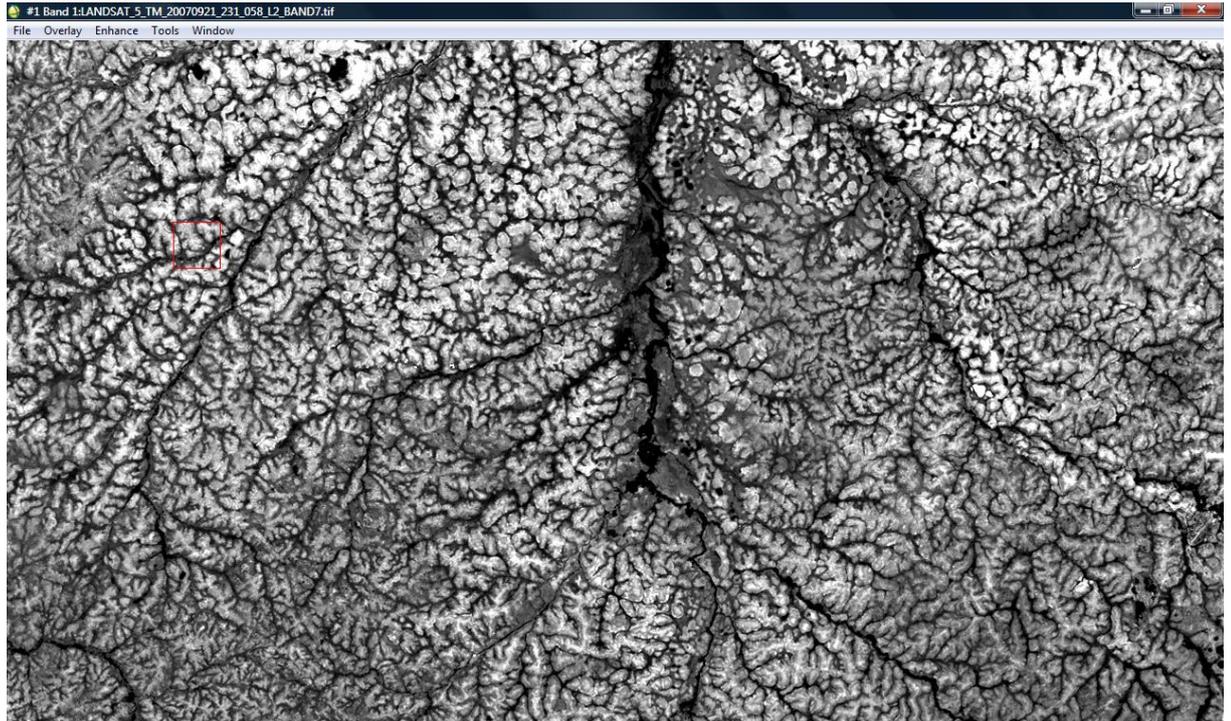


Figura 27- Imagem processada com realce gaussiano da área de estudo na banda 4.

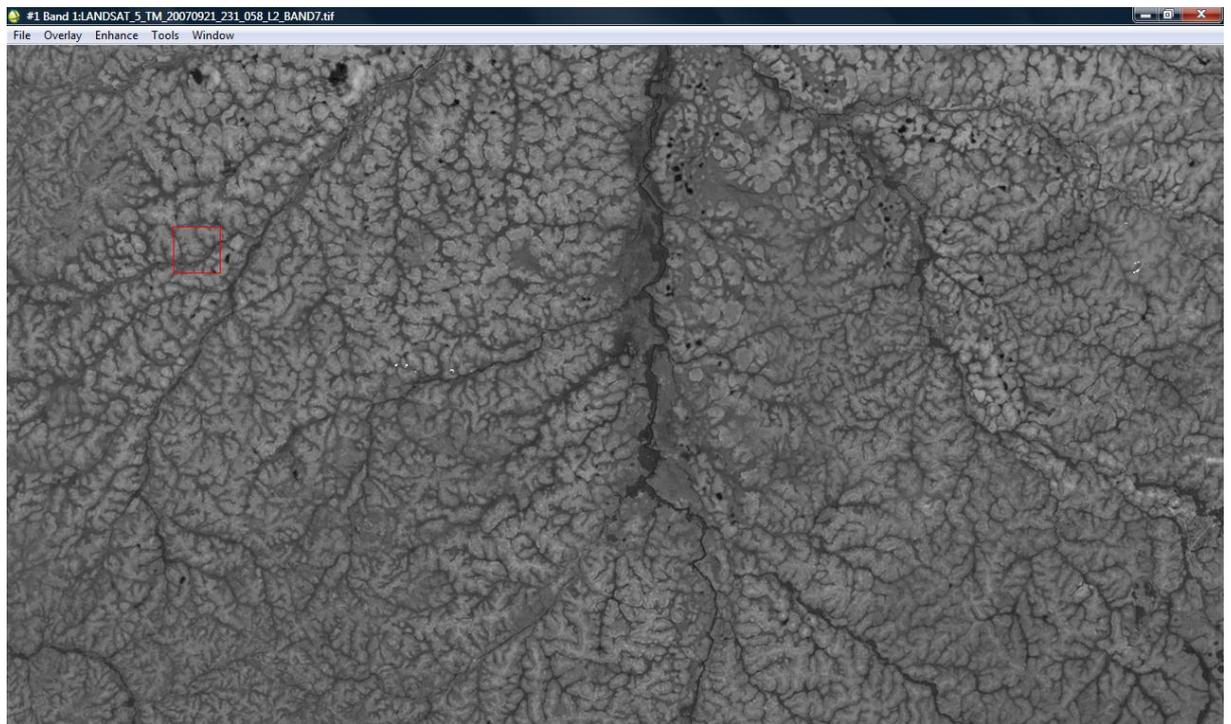


Figura 28- Imagem processada com realce quadrático da área de estudo na banda 4.

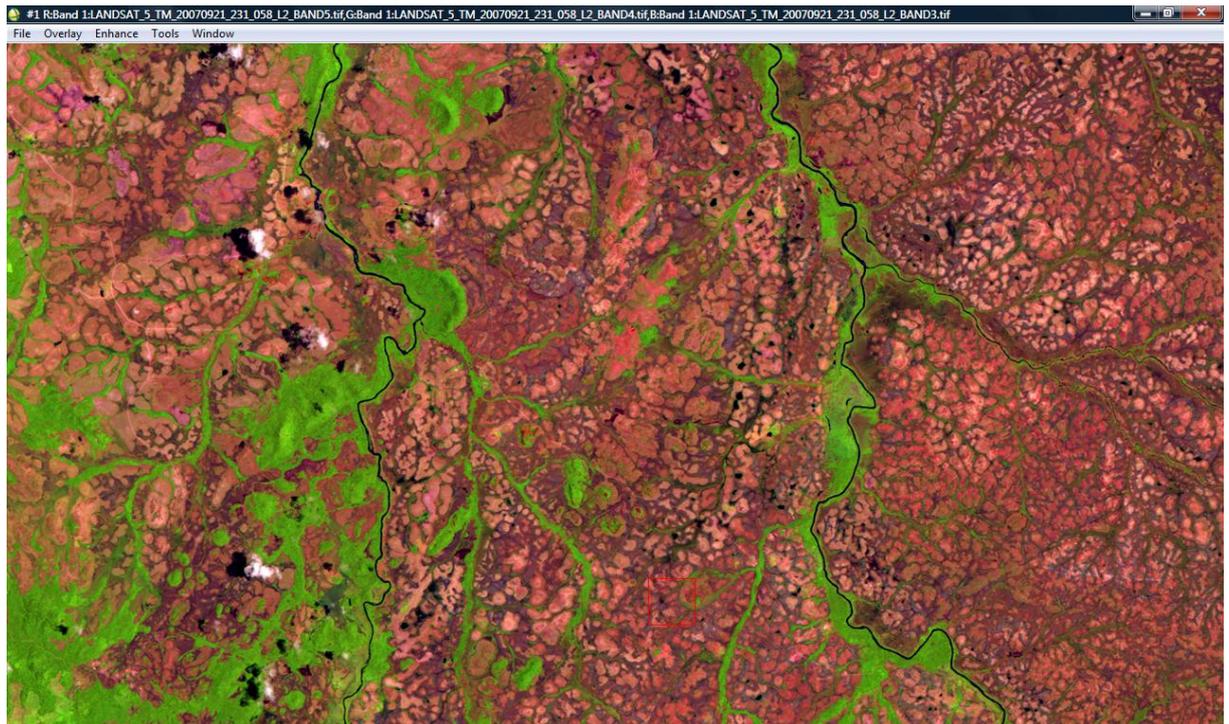


Figura 29- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3.

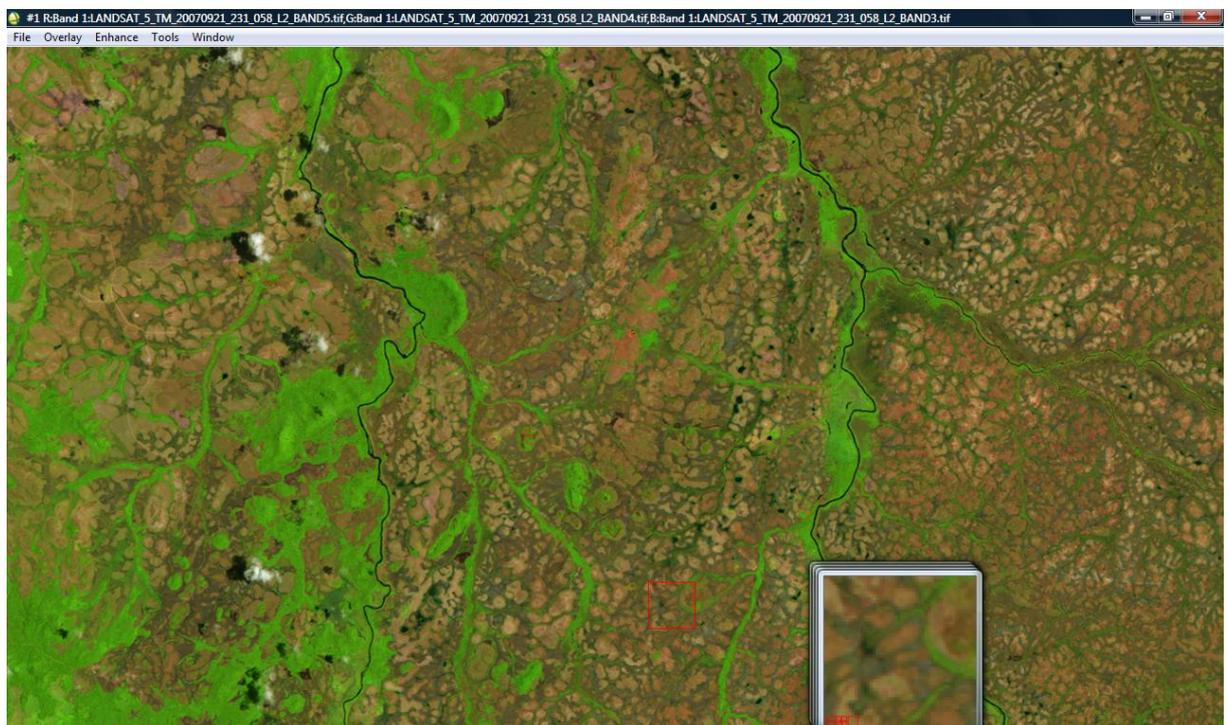


Figura 30- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce linear.

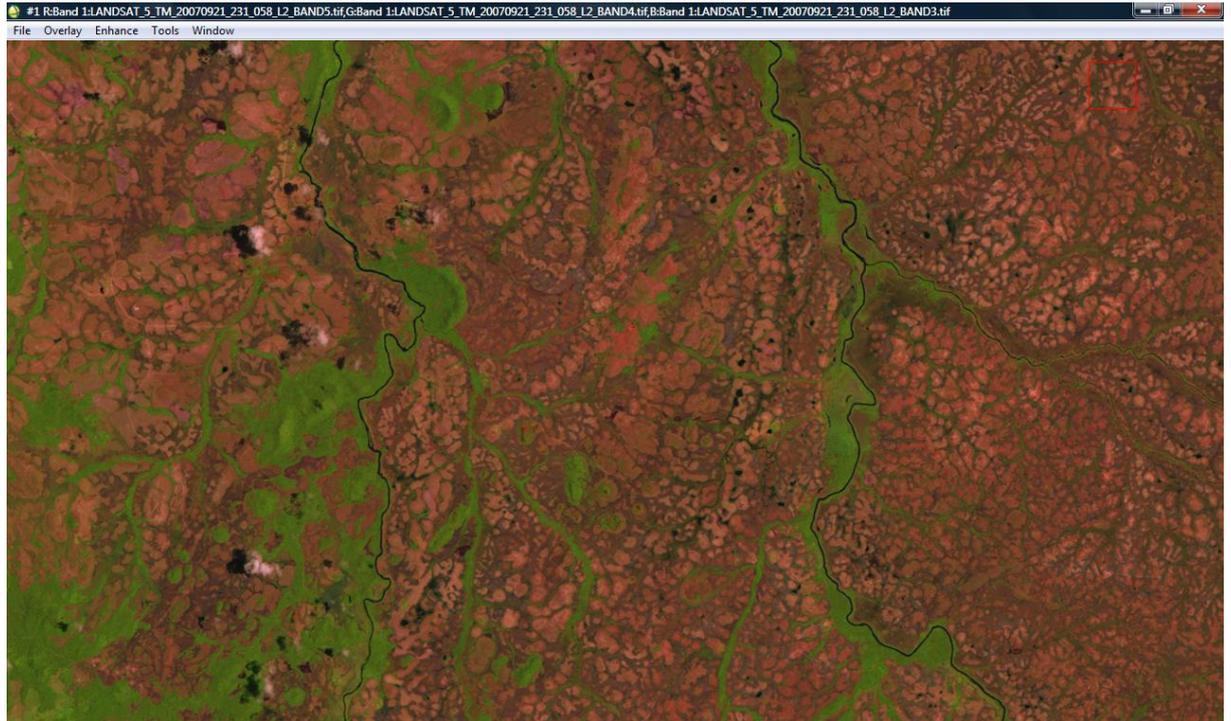


Figura 31- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce de 0-255 níveis de cinza.

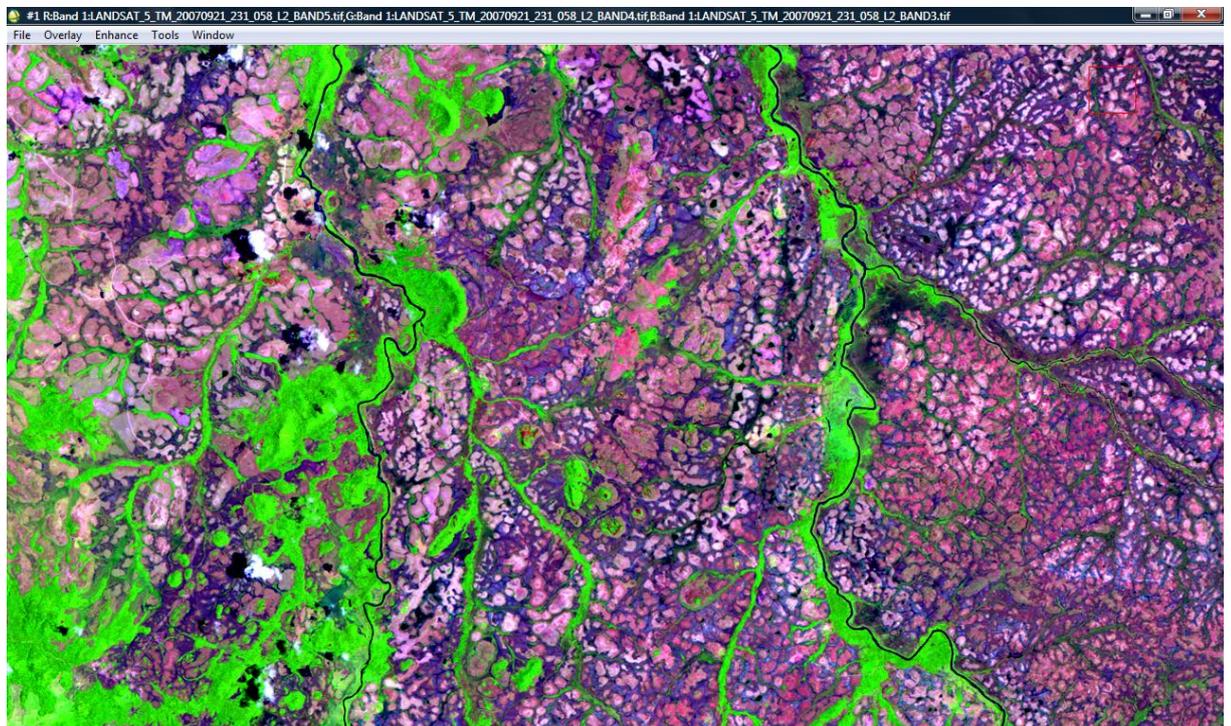


Figura 32- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce de 2%.

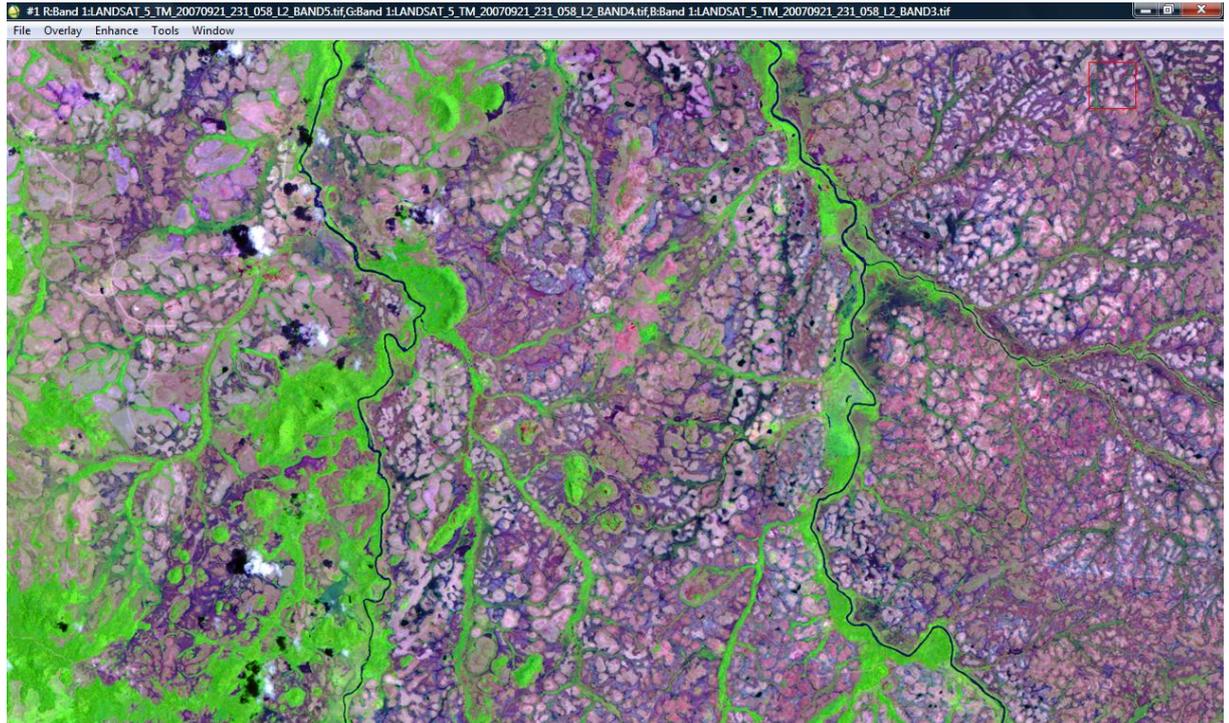


Figura 33- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce gaussiano.

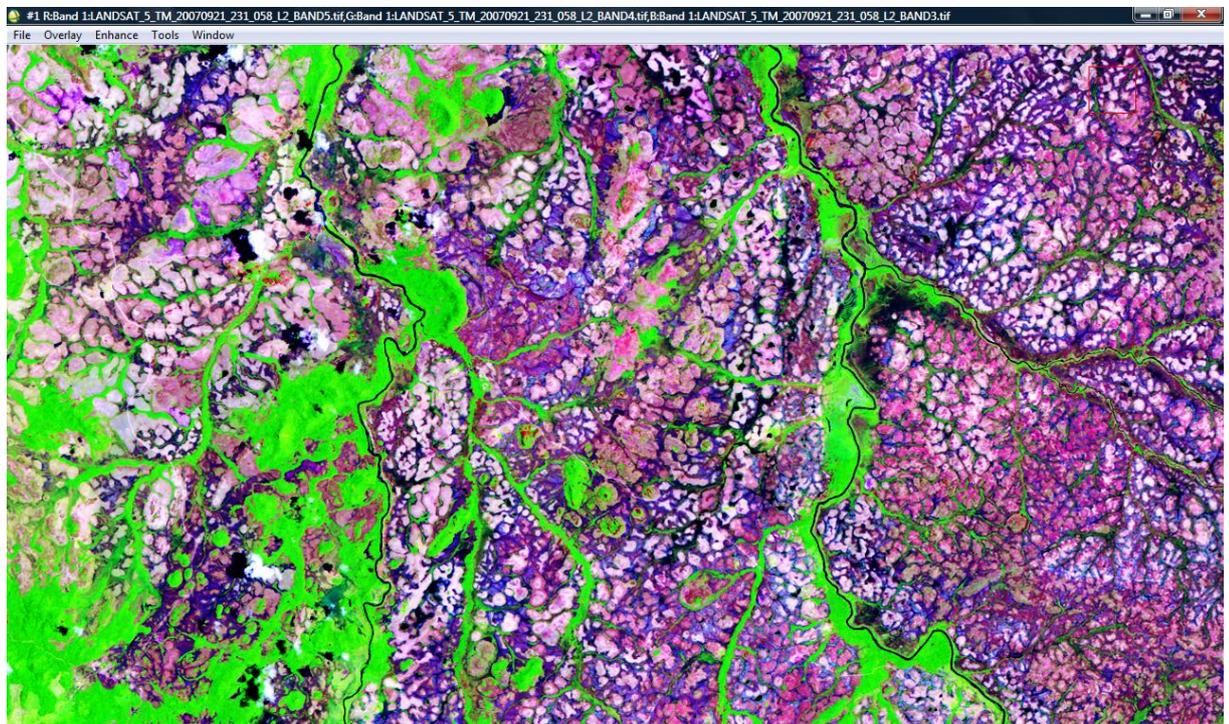


Figura 34- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce equalizado.

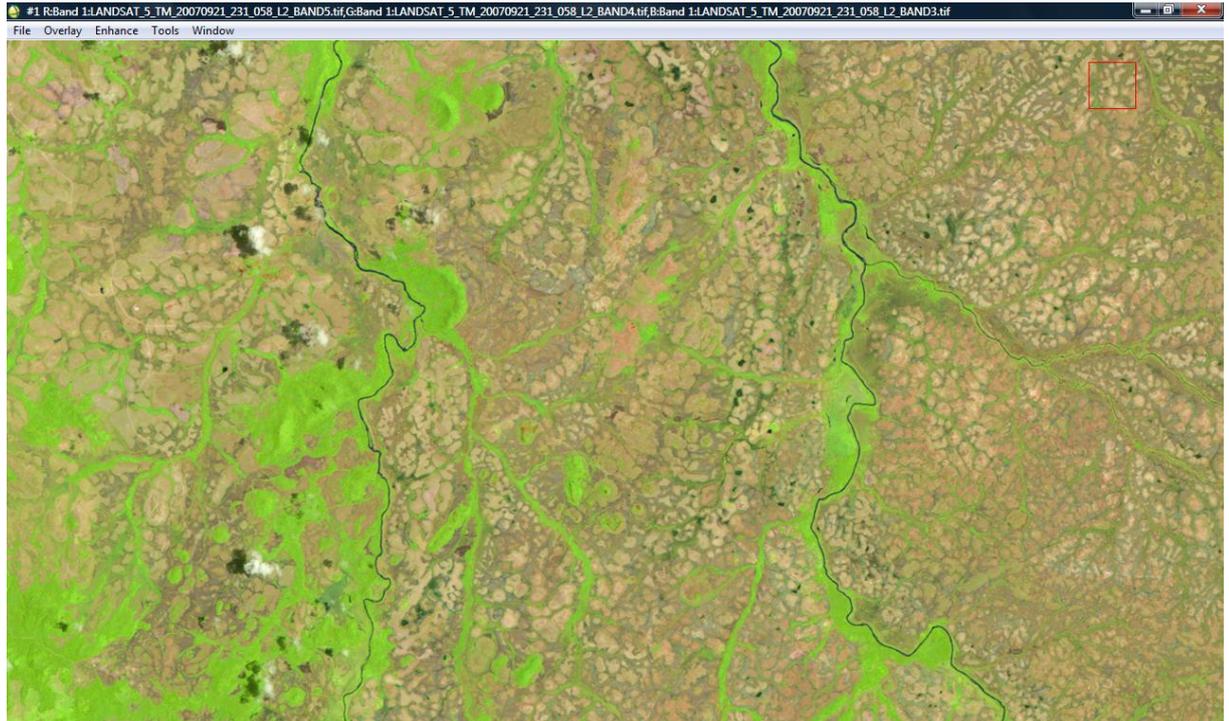


Figura 35- Imagem da área de estudo na composição R5G4B3 processada com realce quadrático.

5.1.3 Modelo linear de mistura espectral e classificação

Para que pudesse ser avaliada a precisão do modelo de mistura foi feita a análise das imagens-erro geradas e dos erros de estimação descritos nas tabela 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14.

Tabela 3 – Erros estimados para a imagem TM/Landsat-5 Órbita/Ponto 232/58 de 04 de janeiro de 2008.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	1,034
	Banda 4	0,843
	Banda 5	2,467
Erro Total		1,448

Tabela 4 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/58 de 03 de janeiro de 2009.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	4,067
	Banda 4	0,643
	Banda 5	1,235
Erro Total		1,982

Tabela 5 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/58 de 12 de janeiro de 2010.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	2,893
	Banda 4	1,892
	Banda 5	0,831
Erro Total		1,872

Tabela 6 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/58 de 02 de janeiro de 2011.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	1,874
	Banda 4	0,845
	Banda 5	1,459
Erro Total		1,393

Tabela 7 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 10 de março de 2008.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	2,024
	Banda 4	0,954
	Banda 5	2,762
Erro Total		1,913

Tabela 8 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 20 de março de 2009.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	3,022
	Banda 4	0,568
	Banda 5	1,346
Erro Total		1,645

Tabela 9 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 23 de março de 2010.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	2,679
	Banda 4	1,945
	Banda 5	0,932
Erro Total		1,852

Tabela 10 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 232/59 de 12 de março de 2011.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	1,689
	Banda 4	0,937
	Banda 5	1,689
Erro Total		1,438

Tabela 11 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 02 de abril de 2008.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	1,846
	Banda 4	1,204
	Banda 5	1,908
Erro Total		1,653

Tabela 12 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 13 de abril de 2009.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	2,084
	Banda 4	0,846
	Banda 5	1,568
Erro Total		1,499

Tabela 13 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 25 de abril de 2010.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	2,346
	Banda 4	1,824
	Banda 5	0,864
Erro Total		1,678

Tabela 14 – Erros estimados para a imagem ETM+/Landsat-7 Órbita/Ponto 231/59 de 28 de abril de 2011.

	BANDA	ERRO
Erro por banda	Banda 3	1,468
	Banda 4	0,842
	Banda 5	1,469
Erro Total		1,260

Todos os erros ficaram praticamente abaixo de 3,000, em virtude do rigor na escolha das cenas mais adequadas para o trabalho. Nesta fase utilizamos as imagens oriundas do sensor Landsat TM-5, em função de sua maior riqueza espectral, bem como, de sua disponibilidade gratuita pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O maior erro estimado (4,067) está associado à banda 3 da imagem TM/Landsat-5, órbita/ponto 232/58, na data de 04 de agosto de 2008. Este erro deve-se à elevada reflectância emitida pelas nuvens, que não foram incluídas como componente de mistura, conforme figura 36.

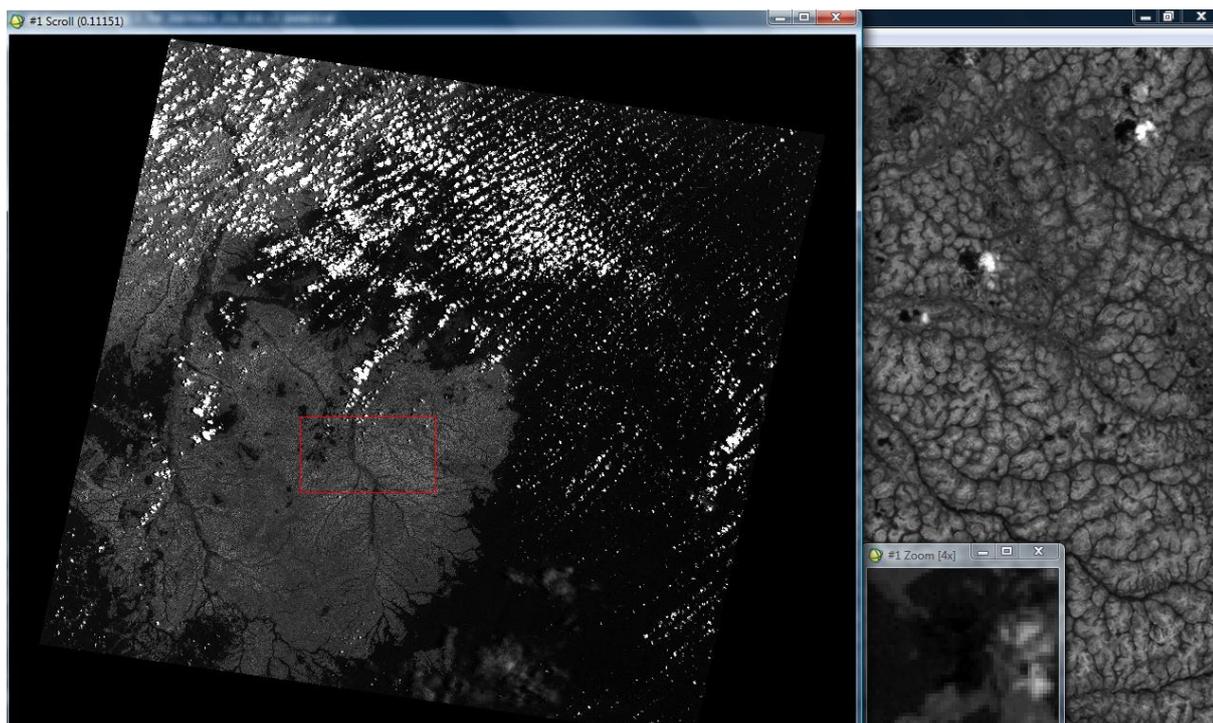


Figura 36- Imagem-erro da banda 3 realçada do sensor TM/Landsat.

Dos métodos utilizados e implementados no SPRING para estimar as proporções, aquele que apresentou os menores erros foi o dos Mínimos Quadrados Ponderados. A classificação das imagens-fração do modelo linear de mistura espectral apresentou melhores resultados que das bandas originais. Para verificação deste resultado foi feita a análise dos valores de reflectância nas bandas 3, 4 e 5 e nas imagens-fração vegetação, solo e sombra. Esta análise mostrou que nas imagens do modelo linear de mistura, o padrão espectral das feições dos principais tipos de uso e cobertura vegetal presentes na área estudada aparecem mais realçadas que nas bandas 3, 4 e 5 originais. Por este motivo, aplicou-se o classificador não-supervisionado ISODATA, implementado no Envi 5.3, sobre as imagens-fração o que proporcionou os seguintes resultados:

- ✓ A classificação das imagens-fração sombra separa melhor as classes de água e floresta;
- ✓ A classificação das imagens-fração vegetação separa melhor as classes de floresta de várzea, sucessão secundária, agricultura e pasto sujo; e
- ✓ A classificação das imagens-fração solo possibilitou separar as classes de pasto limpo, campo de várzea, área urbana e reflorestamento.

Foram testados outros classificadores sobre as imagens da área, entretanto eles não apresentaram resultados tão eficientes quanto o ISODATA:

- ✓ O classificador pixel a pixel MAXVER não atendeu as necessidades do trabalho por tratar-se de um classificador supervisionado e, como a área estudada apresenta uma grande heterogeneidade de feições, necessitaria de um tempo muito grande para coletar todas as amostras representativas à cada alvo de interesse para o treinamento do classificador.
- ✓ O classificador por região ISOSEG, que agrupa os “pixels” a partir da medida de similaridade entre eles, não conseguiu delimitar determinadas feições importantes para a análise ecodinâmica, como é o caso das áreas de corte seletivo e estradas, que foram separadas com eficiência pelo ISODATA.

A classificação utilizando o ISODATA gerou um mapa de cobertura vegetal e uso da terra contendo 11 classes temáticas. Em função do ISODATA ser um classificador pixel a pixel e não-supervisionado, conseguiu abranger e separar as variações e diversidades das feições encontradas nas imagens.

A aplicação de 32 classes de separação atribuídas ao classificador foi suficiente para que o mesmo pudesse separar as variações das feições encontradas na imagem. As 32 classes separadas pelo classificador foram posteriormente agrupadas nas 11 classes de interesse, conforme figura 37.

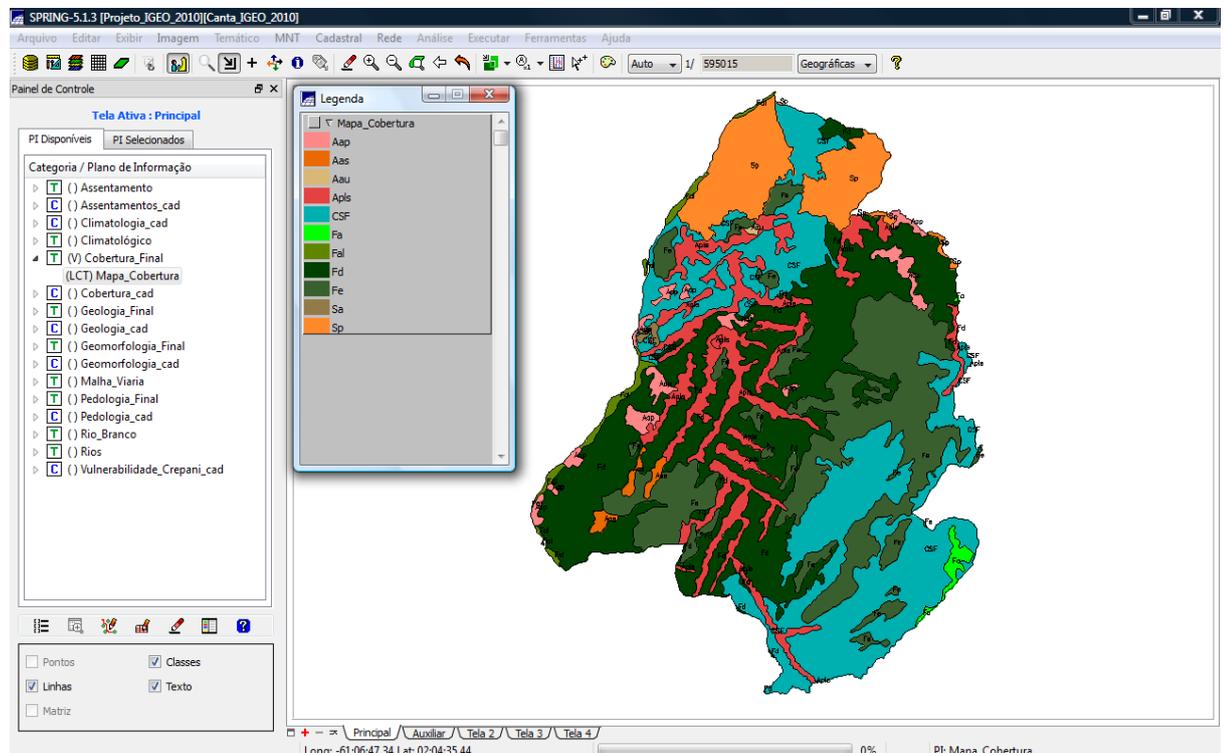


Figura 37- Plano de Informação de Cobertura Vegetal e Uso da Terra do Município de Cantá obtido por classificação usando o ISODATA.

5.2 Análise e interpretação dos dados gerados

5.2.1 Etapa de campo

A etapa de campo foi essencial para o processo de interpretação. Os dados coletados em campo auxiliaram na interpretação visual, via edição matricial do Envi da classificação ISODATA, corrigindo erros do classificador pela mudança de forma e classes de polígonos. Foram registrados 86 pontos, conforme figura 38, onde foram coletadas informações referentes aos Planos de Informação temáticos. Nestes pontos foi possível observar as características das feições no terreno e o seu comportamento na imagem, observado imediatamente na composição colorida disponível.

A distribuição dos pontos de conferência de campo foi aleatória, e sua checagem se deu por meio de veículos, embarcações e aeronaves. Todos os pontos foram registrados em GPS de navegação e posteriormente processado para correção geométrica das imagens orbitais utilizadas.

Os pontos de conferência de campo também foram utilizados para calibração da classificação ISODATA, bem como da classificação orientada a objeto, no caso com a utilização de imagens ópticas e de RADAR. Além da verificação da cobertura vegetal e uso atual, em 40 pontos foram examinados os solos ali existentes, gerando-se assim uma riqueza de informações para interpretação do mapa pedológico da área de estudo.

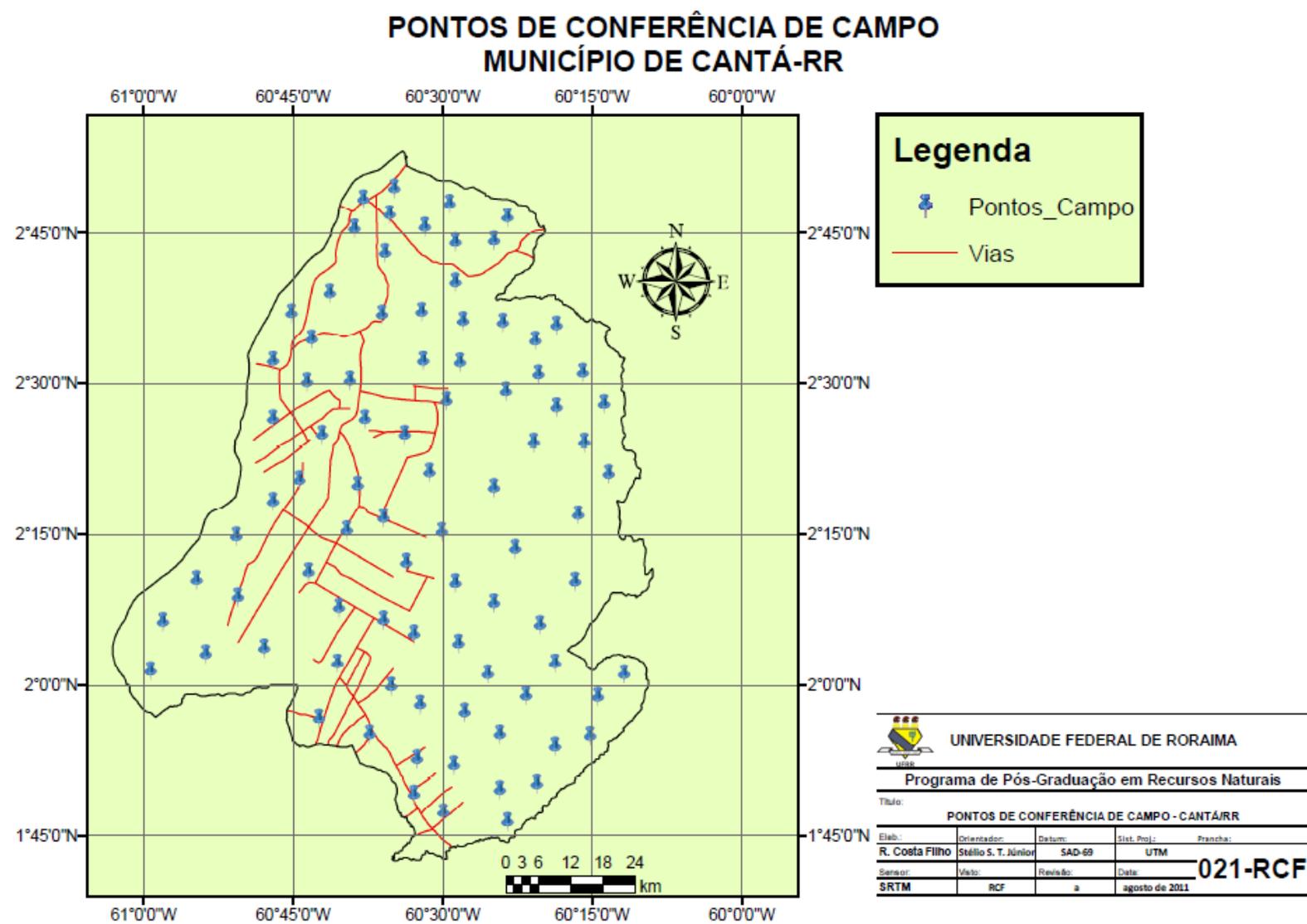


Figura 38 – Distribuição dos pontos de coleta de dados em campo.

As 11 classes do Plano de Informação de Cobertura Vegetal e Uso da Terra, escolhidas a partir da classificação ISODATA, são as seguintes:

- ✓ **Contato Savana / Floresta Ombrófila Densa:** Constitui manchas de floresta densa, aberta e/ou estacional dispersas pelo domínio das áreas de savanas. Distribuem-se pelas bacias dos rios Mucajaí, Urubu, Quitauaú, Cachorro, Barauana, Itã e Jauaperi, sobre Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Latossolos Amarelos. Pecuária extensiva e extrativismo constituem as principais atividades de uso do solo observadas nesta unidade;
- ✓ **Floresta Estacional:** A unidade fitoecológica da Floresta Tropical Estacional semidecidual, no Estado de Roraima, é caracterizada por uma feição com manchas perenifólias e decíduais, apresentando sinais de xeromorfismo e uma variada ocorrência de porte. Ocorre na área de estudo em dois ecossistemas, sendo a questão do relevo preponderante na sua distinção. A primeira feição, distribuída em áreas planas, mostra elementos arbóreos de pequeno porte, tortuosos, com presença de espécies como breu, tarumã, sucupiras e marupá. A segunda feição, presente nos relevos mais movimentados, compreende indivíduos arbóreos decíduais e perenifólios de portes variados, com grupamentos emergentes, onde aparecem espécies como taperebá, freijó, pau-roxo e ipê. Este tipo de vegetação distribui-se, sob a forma de “ilhas”, pelas bacias dos rios Tacutu, Urubu, Quitauaú, Cachorro e Barauana, sobre Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos;
- ✓ **Floresta Ombrófila Aberta:** É um subgrupo que, no conceito fisionômico-ecológico, mostra uma feição composta de árvores com relativo espaçamento, podendo apresentar-se com ou sem palmeiras e sinúsias arbustivas densas com ou sem lianas lenhosas, refletindo condições climáticas e pedológicas especiais. As florestas com palmeiras são mais abertas do que as outras tipologias presentes. A entrada abundante de luz solar até o solo facilita a regeneração das palmeiras, algumas com certo grau de exigência de luz. A densidade aqui também é um pouco maior do que nas florestas sem palmeiras, devido à intensa presença das touceiras de palmeiras que adensam consideravelmente a floresta. Podem ser citadas as Florestas Ombrófilas Abertas associadas com as palmeiras açai (*Euterpe oleracea*), murumuru

(*Astrocaryum murumuru*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*), marajá (*Bactris setosa*) e anajá (*Attalea maripa*). As palmeiras buriti (*Mauritia flexuosa*) e caranã (*Mauritiella aculeata*) também podem aparecer, porém não caracterizam a associação por estarem, geralmente, em baixas densidades. Além das palmeiras, as florestas abertas contêm na associação espécies como a *Virola surinamensis* (ucuúba), *Carapa guianensis* (andiroba), *Symphonia globulifera* (anani), *Qualea* sp. (mandioqueiras) e *Vismia grandifolia* (lacre). Aparecem ainda no dossel indivíduos de *Theobroma subincanum*, *T. cacao*, *Herrania mariae*, *Maquira coriacea* e *Protium heptaphyllum*. No sub-bosque são freqüentes as espécies *Heliconia bihai* e *Astrocaryum murumuru*. A Floresta Ombrófila Aberta distribui-se pelas bacias dos rios Tacutu, Urubu e Barauana, sobre Argissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos, Plintossolos Pétricos e sobre Neossolos Litólicos. As atividades de uso do solo observadas são extrativismo frutícola e madeireiro, lavouras perenes e de subsistência e pecuária extensiva;

- ✓ **Floresta Ombrófila Aluvial:** A Floresta Ombrófila Aluvial é composta por uma vegetação que sofre a influência de processos de inundação periódica ou permanente, provocada pelos movimentos de enchente e vazante dos rios. As principais espécies arbóreas encontradas nesta fisionomia são: andiroba (*Carapa guianensis*), acapu (*Vouacapoua americana*), anani (*Symphonia globulifera*), cupiúba (*Goupia glabra*), itaúba (*Mezilaurus itauba*), maçaranduba (*Manilkara huberi*), macacaúba (*Platimiscium trinitatis*), sucupira (*Diploptropis martiusii*) e ucuúba (*Virola surinamensis*). Este tipo de floresta ocupa as planícies fluviais recentes e os baixos terraços dos principais rios da área de estudo, apresentando maior distribuição nas bacias dos rios Branco e Tacutu sobre Neossolos Flúvicos, Gleissolos, Planossolos Hidromórficos e Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos. As atividades de uso do solo observadas são lavouras temporárias irrigadas e pecuária extensiva;
- ✓ **Floresta Ombrófila Densa:** A Floresta Ombrófila Densa é caracterizada pela exuberância de sua cobertura vegetal, com predomínio de árvores emergentes de grande porte, como o anjelim (*Dinizia excelsa*), a maçaranduba (*Manilkara huberi*) e o visgueiro (*Parkia pendula*). Sua composição florística, porém, é muito variada, ainda não inteiramente conhecida. São freqüentes e amplamente distribuídas a castanheira (*Bertholletia excelsa*), o anjelim rajado

(*Pithecellobium racemosum*), o tanimbuca (*Terminalia amazonica*), o tauari (*Coutari pulchra*), a guariúba (*Clarisia racemosa*), a quaruba (*Vochysia maxima*), as sucupiras (*Diplotropis* spp.), o cedrorona (*Cedrelinga catenaeformis*), o cardeiro (*Scleronema micranthum*), a muirapiranga (*Brosimum rubencens*), os ipês (*Tabebuias* spp), as mandioqueiras (*Qualea* spp.), os louros (*Ocoteas* spp.), os breus (*Protium* spp.) e a seringueira verdadeira (*Hevea brasiliensis*). É a unidade fitoecológica de maior distribuição na área de estudo, no estado ocupa as bacias dos rios Quitauaú, Cachorro, Tacutu e Branco, predominantemente sobre Argissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos, além de Cambissolos Háplicos Argissólicos. As atividades de uso do solo observadas nos ambientes onde ocorre a Floresta Ombrófila Densa são extrativismo madeireiro e frutícola, lavouras perenes e de subsistência e pecuária extensiva;

- ✓ **Savana Arbórea:** A Savana Arbórea, ou Campo Cerrado, apresenta uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminóide, contínua, sujeita anualmente, ao longo das décadas, à ação do fogo. A composição florística possui ecótipos dominantes que, de acordo com o espaço geográfico ocupado, caracterizam os ambientes. Esta feição distribui-se pela bacia do rio Urubu, sobre Argissolos Acinzentados e Amarelos. Como atividades de uso do solo mais frequentes observam-se pastagens extensivas e lavouras semicomerciais;
- ✓ **Savana Parque:** Esta unidade fitoecológica é constituída essencialmente por um estrato graminóide, integrado por hemicriptófitos e geófitos de florística natural e/ou antropizada, entremeado por nanofanerófitos isolados, com aparência de um parque inglês. A Savana Parque distribui-se pelas bacias dos rios Branco, Tacutu, Arraia, Urubu e Quitauaú, sobre Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e Acinzentados. Como atividades de uso do solo observa-se pecuária extensiva e lavoura de grãos;
- ✓ **Áreas Alteradas Urbanas:** Estas áreas representam os pequenos aglomerados populacionais do município de Cantá, os quais estão concentrados no entorno das principais vilas e sede municipal. Distribuem-se pelas bacias dos rios Branco e Tacutu, sobre Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e Acinzentados e Neossolos Flúvicos. As principais vilas da área de estudo são: Serra Grande I, Serra Grande II, Central, Santa Rita, Félix Pinto e União;

- ✓ **Áreas Alteradas com Pastagem:** As pastagens plantadas, na área de estudo, apresentam normalmente extensões superiores a 40 hectares, nem sempre contínuos, ocupadas por capim, geralmente do tipo braquiária. É comum a existência de áreas de pasto abandonadas, com diversas espécies de plantas invasoras, além de gramíneas e ciperáceas típicas da região. Na área de estudo, as pastagens distribuem-se pelas bacias dos rios Quitauaú e Cachorro, sobre Cambissolos Háplicos, Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Plintossolos Háplicos e Latossolos Amarelos;
- ✓ **Áreas Alteradas com Pastagem, Lavoura e Vegetação Secundária:** A vegetação secundária, ou capoeiras, está restrita a algumas áreas originalmente florestadas, de terra firme, que são desmatadas e queimadas durante a época seca. Estas áreas, quando abandonadas, iniciam um processo de regeneração natural, que dá origem a diversos ciclos de capoeiras. É composta, normalmente, por macegas e capoeiras de diversas fases de regeneração, destacando-se como espécies invasoras: embaúba (*Cecropia* sp.), embaubão (*Cecropia sciadophylla*), lacre (*Vismia cayennensis*) e inajá (*Maximiliana regia*). A remoção da cobertura vegetal na região está associada inicialmente à formação de grandes áreas de pastagens. Atualmente, o desmatamento está ligado mais às práticas de agricultura em propriedades rurais e assentamentos do INCRA (lavouras semicomerciais e comerciais), e aos plantios de culturas de subsistência, como mandioca, banana e milho, além de algumas hortaliças e legumes. Algumas espécies freqüentes nas capoeiras de terra firme são: *Vismia guianensis*, *V. grandifolia*, *Maprounea guianensis*, *Tapirira guianensis*, *Guatteria poeppigiana*, *Inga edulis* e *Clidemia hirta*, dentre outras. A Floresta Secundária, na área de estudo, distribui-se pelas bacias dos rios Branco, Quitauaú e Cachorro, sobre Latossolos e Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, além de Cambissolos Háplicos Argissólicos. São feições individualizadas e/ou intercaladas com lavouras e pecuária extensiva;

5.2.2 Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra

A partir da classificação da cobertura vegetal e do uso da terra, procedeu-se à interpretação visual das composições coloridas em ambiente de Sistema de Informações

Geográfica (SIG), a fim de editar as eventuais classes confundidas pelo classificador com o auxílio dos dados coletados no campo.

As feições de savanas, que dominam a parte central e norte-nordeste do estado, apresentam-se nas formas arbórea, parque e graminosa. No extremo norte de Roraima observa-se a feição caracterizada como estépica, nas formas arbórea e parque. Atualmente, verifica-se um alto grau de antropismo nos ambientes dominados pelas savanas, representado principalmente pela ocupação com pastagens e lavouras, além de áreas alteradas abandonadas.

Além das unidades fitoecológicas representadas pelas diversas formas de Campinarana e de Formações Pioneiras, podem ser evidenciadas, no Estado de Roraima, áreas de tensão ecológica ou transição (contatos) entre as duas feições de floresta, entre as savanas e as florestas, entre a campinarana e as florestas e entre as formações pioneiras e as florestas.

A maior dificuldade encontrada para a correta classificação das unidades fitoecológicas de savanas e áreas alteradas, em virtude de suas características espectrais serem semelhantes. Apesar de não existir a unidade fitoecológica de campinarana na área de estudo, a mesma aparece no momento que utilizamos o mosaico estadual para treinamento dos classificadores. Para minimizar os erros de classificação, a solução foi utilizar imagens de RADAR gentilmente cedidas pelo Censipam, e imagens Alos adquiridas junto ao IBGE, e a utilização do classificador orientado a objeto e-Cognition, o qual utilizar além das características espectrais, as características geométrica, de forma e de contexto. Por meio deste classificador se obteve um produto coerente com as conferências de campo. Entendemos, como um grande potencial na classificação de cobertura vegetal e uso da terra, os classificadores via objeto, que deverá em pouco tempo está difundido na comunidade de Sensoriamento Remoto local.

5.2.3 Análise dos resultados das classificações

Uma maneira de avaliar a acurácia do mapeamento temático é calcular o índice Kappa do mapeamento. Para isto, é necessário que existam pontos conhecidos como “verdade terrestre”, nos quais o intérprete possa se basear para fazer a classificação. Neste trabalho existem 86 pontos, provenientes do trabalho de campo, que foram utilizados para o cálculo do Kappa do mapa de vegetação gerado antes do trabalho de campo e do mapa de vegetação obtido após o trabalho de campo.

Através da comparação entre os pontos de campo, suas respectivas formações vegetais e as classificações de cada um dos dois mapeamentos, foram geradas as matrizes de confusão a seguir na tabela 15 e 16.

Tabela 15 – Matriz de confusão obtida para o mapeamento feito antes do trabalho de campo (Mapa Pré-Campo).

Classes reais (Pontos de Campo)	Classes apresentadas somente ISODATA (Pré-Campo)											Total	Erro de Inclusão
	Contato Savana / Floresta Omrófila Densa	Floresta Estacional	Floresta Omrófila Aberta	Floresta Omrófila Aluvial	Floresta Omrófila Densa	Savana Arbórea	Savana Parque	Áreas Alteradas Urbanas	Áreas Alteradas com Pastagem	Áreas Alteradas com Pastagem, Lavoura e Vegetação Secundária	Áreas Alteradas com Vegetação Secundária		
Contato Savana / Floresta Omrófila Densa	3	0	0	0	1	2	1	0	1	1	0	9	0,6667
Floresta Estacional	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	7	0,7143
Floresta Omrófila Aberta	1	1	4	1	2	1	1	0	0	0	0	11	0,6364
Floresta Omrófila Aluvial	1	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	8	0,6250
Floresta Omrófila Densa	0	1	1	1	3	1	0	0	0	0	0	7	0,5714
Savana Arbórea	2	1	1	1	0	6	1	0	2	1	0	15	0,6000
Savana Parque	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	4	0,5000
Áreas Alteradas Urbanas	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	1	6	0,3333
Áreas Alteradas com Pastagem	0	0	0	0	0	0	0	1	4	2	1	8	0,5000
Áreas Alteradas com Pastagem, Lavoura e Vegetação Secundária	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	8	0,6250
Áreas Alteradas com Vegetação Secundária	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	0,3333
Total	8	6	8	7	9	12	5	5	11	9	6	86	
Erro de Omissão	0,6250	0,6667	0,5000	0,5714	0,6667	0,5000	0,6000	0,2000	0,6364	0,6667	0,6667		

Tabela 16 – Matriz de confusão obtida para o mapeamento feito antes do trabalho de campo (Mapa Pós-Campo).

Classes reais (Pontos de Campo)	Classes apresentadas e-Cognition (Pós-Campo)											Total	Erro de Inclusão
	Contato Savana / Floresta Omrófila Densa	Floresta Estacional	Floresta Omrófila Aberta	Floresta Omrófila Aluvial	Floresta Omrófila Densa	Savana Arbórea	Savana Parque	Áreas Alteradas Urbanas	Áreas Alteradas com Pastagem	Áreas Alteradas com Pastagem, Lavoura e Vegetação Secundária	Áreas Alteradas com Vegetação Secundária		
Contato Savana / Floresta Omrófila Densa	6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	8	0,2500
Floresta Estacional	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,0000
Floresta Omrófila Aberta	1	0	7	0	1	1	0	0	0	0	0	10	0,3000
Floresta Omrófila Aluvial	1	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	8	0,2500
Floresta Omrófila Densa	0	0	1	0	7	0	0	0	0	0	0	8	0,1250
Savana Arbórea	0	1	0	1	0	9	0	0	1	0	0	12	0,2500
Savana Parque	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	5	0,2000
Áreas Alteradas Urbanas	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	6	0,1667
Áreas Alteradas com Pastagem	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	1	9	0,2222
Áreas Alteradas com Pastagem, Lavoura e Vegetação Secundária	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	2	10	0,4000
Áreas Alteradas com Vegetação Secundária	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	0,4000
Total	8	6	8	7	9	12	5	5	11	9	6	86	
Erro de Omissão	0,2500	0,1667	0,1250	0,1429	0,2222	0,2500	0,2000	0,0000	0,3636	0,3333	0,5000		

Tabela 17 – Comparação entre os valores de Exatidão Global e índice kappa.

Mapas	Exatidão Global	Coefficiente kappa
Antes do Campo	41,86%	0,3550
Após o Campo	75,58%	0,7295

De acordo com os resultados obtidos para a exatidão global e para o coeficiente kappa, o mapeamento desenvolvido após o trabalho de campo, com a utilização de classificação orientada a objeto, foi o que obteve a maior quantidade de acertos nas classificações. O número do coeficiente kappa obtido por este mapeamento (0,7295) não só prova uma melhoria de classificação, se comparado aos outros mapas pré-existentes, como é considerado mapeamento muito bom segundo os desempenhos de classificação adotados pela comunidade científica em geral.

Com a utilização da classificação orientada a objeto, e as imagens de RADAR, foi possível uma melhora considerável nas classificações das savanas, em virtude de suas características geométricas predominantes sob as espectrais. Outro aspecto importante que facilitou bastante a classificação foi a utilização de imagens fusionadas agregando os potenciais de imagens oriundas dos sensores passivos e ativos.

A metodologia inicial de classificação adotada neste trabalho, segundo Almeida-Filho e Shimabukuro (2002), a propriedade de minimizar os chamados erros de comissão e omissão, que ocorrem nas classificações automáticas, com a edição dos eventuais erros em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) através da interpretação visual, com uso das informações coletadas em campo. O resultado final da classificação e posterior edição em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) geraram um Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra, conforme figura 39, com 11 classes temáticas: Contato Savana / Floresta Ombrófila Densa; Floresta Estacional; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Ombrófila Aluvial; Floresta Ombrófila Densa; Savana Arbórea; Savana Parque; Áreas Alteradas Urbanas; Áreas Alteradas com Pastagem; Áreas Alteradas com Pastagem, Lavoura e Vegetação Secundária e Áreas Alteradas com Vegetação Secundária.

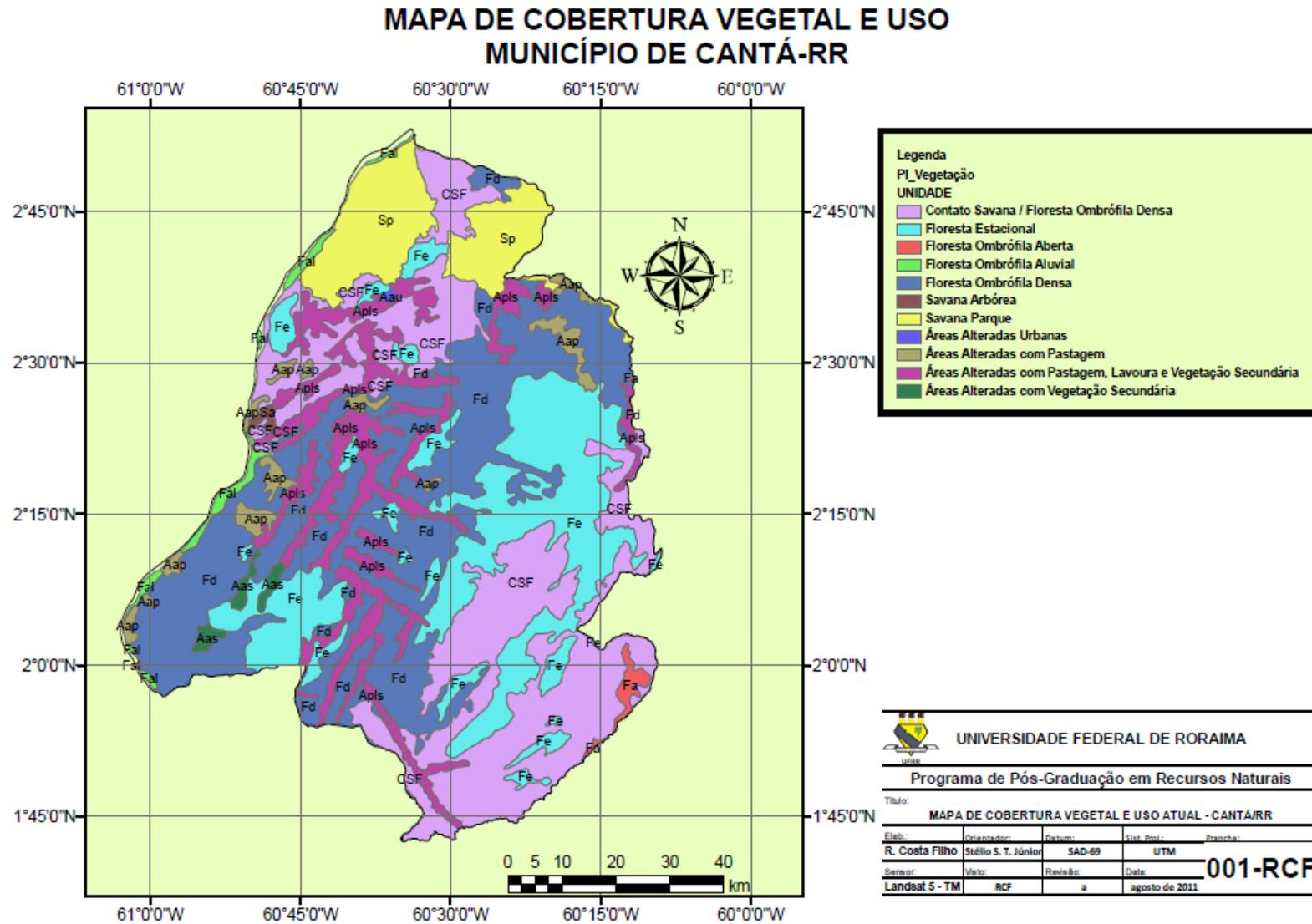


Figura 39 – Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra

5.2.4 Representação dos dados de Intensidade Pluviométrica

As informações hidrológicas e climatológicas disponíveis na área de estudo apoiam-se em dados da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL, da Estação Climatológica de Boa Vista, de propriedade do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, das estações operadas pelo 6º Batalhão de Engenharia de Construção em seus canteiros, e daqueles contidos no Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira, elaborado pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia-SUDAM, em 1984.

Foi realizado o levantamento bibliográfico e da base de dados hidrológicos existentes. Esses dados, depois de analisados, foram utilizados para a caracterização dos recursos hídricos potenciais na região. Os estudos foram realizados em nível mensal e anual, considerando que essas dimensões são suficientes para caracterizar o regime hidrológico da área de estudo.

No desenvolvimento dos trabalhos foram aplicadas técnicas convencionais usadas em hidrologia, como: crítica dos dados, determinação de curvas chaves, determinação de curvas de permanência de descargas e de níveis d'água e regionalizações de vazões. Para as análises, foram considerados os dados de 4 (quatro) estações hidrometeorológicas contidas na área de estudo ou em suas proximidades, várias delas em operação desde a década de 80.

Os dados de precipitação pluviométrica, adquiridos em 4 (quatro) postos de coleta, foram transformados em intensidade pluviométrica. A tabela 18, 19, 20 e 21 mostra os valores de precipitação média (mensal e anual), o número de dias com chuva convertidos em meses (divididos por 30) e os valores da intensidade pluviométrica calculados a partir destes dados para um período de 30 anos (1980 – 2010). Além destas 4 (quatro) estações específicas da área de estudo foi utilizado o mosaico estadual de clima para tornar mais precisas as interpolações.

O interpolador de média ponderada, aplicado para os valores de intensidade pluviométrica, foi o que melhor caracterizou a distribuição destes valores na área estudada. Esta operação gerou uma superfície numérica que foi “fatiada” em intervalos regulares, originando o Mapa de Intensidade Pluviométrica conforme figura 40.

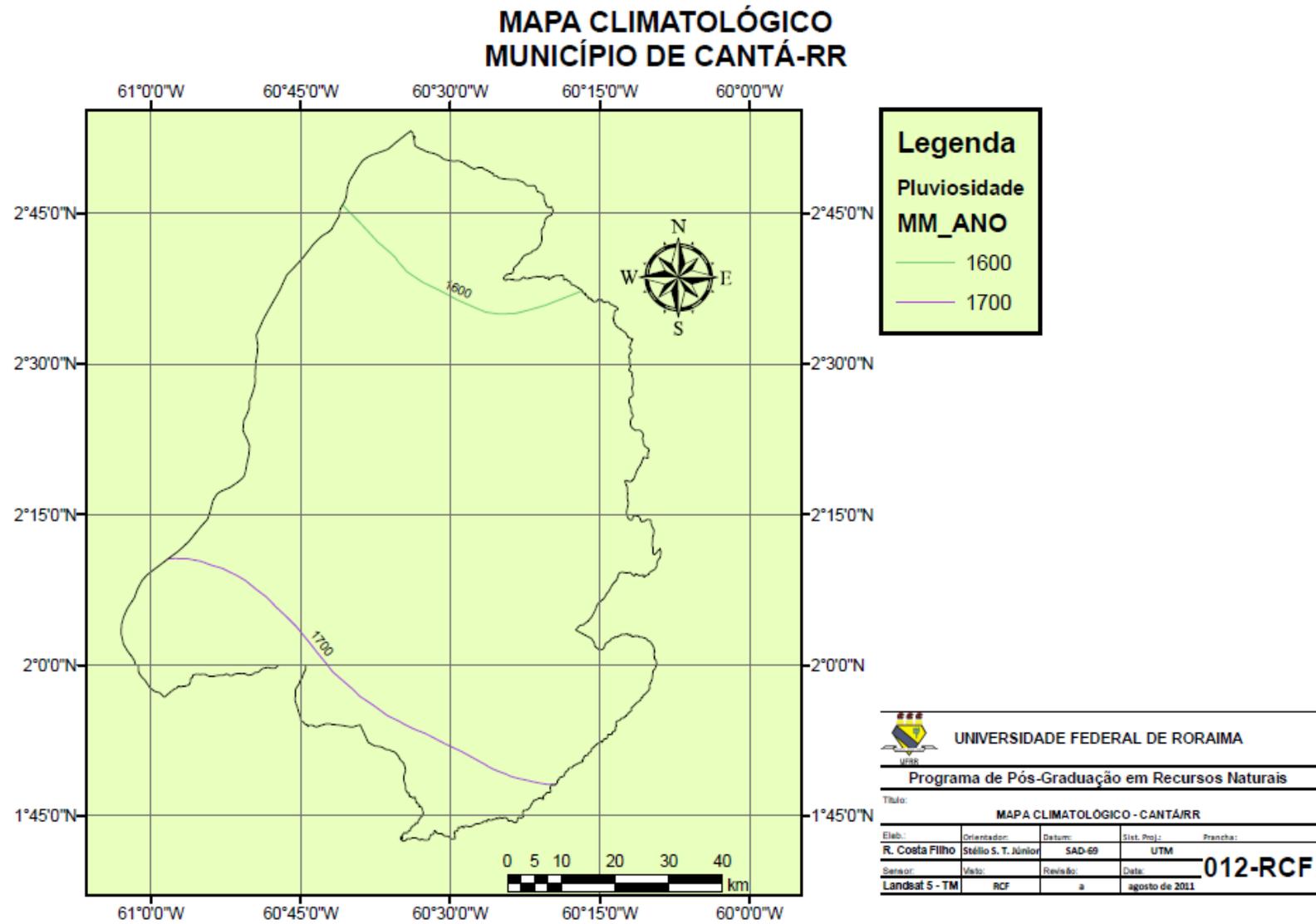


Figura 40 – Mapa Climático

5.2.5 Análise e reinterpretação dos mapas pré-existentes

A reinterpretação dos mapas pré-existentes, por fotointerpretação das imagens de satélite utilizadas como “âncora” e auxílio das observações de campo, permitiu ampliar a informação dos mapas temáticos até a escala de trabalho (1: 100.000).

As Figuras 41, 42, 43 e 44 mostram os mapas pré-existentes, no quadrante 2°N-61° W e 3°N-60°W, obtidos em diferentes escalas junto aos diversos órgãos competentes (RADAMBRASIL, EMBRAPA e SEPLAN).

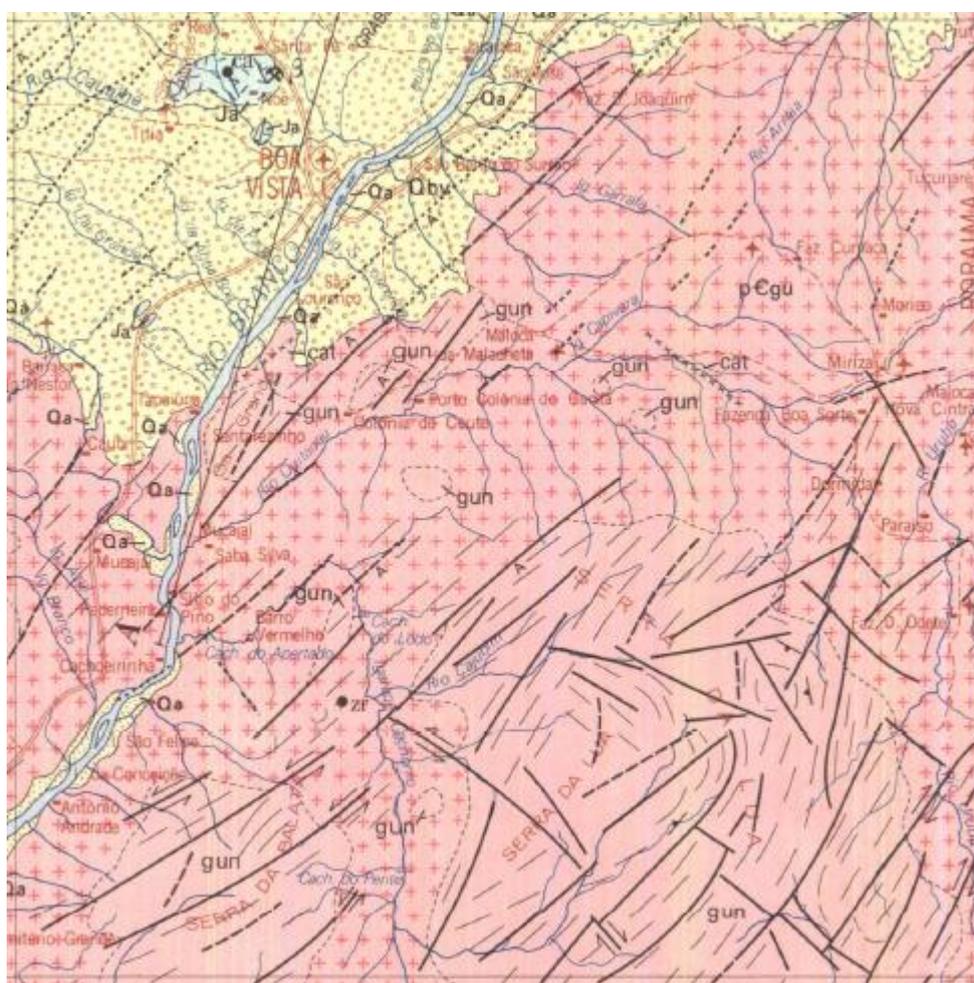


Figura 41- Mapa Geológico.
Fonte: Brasil (2011).

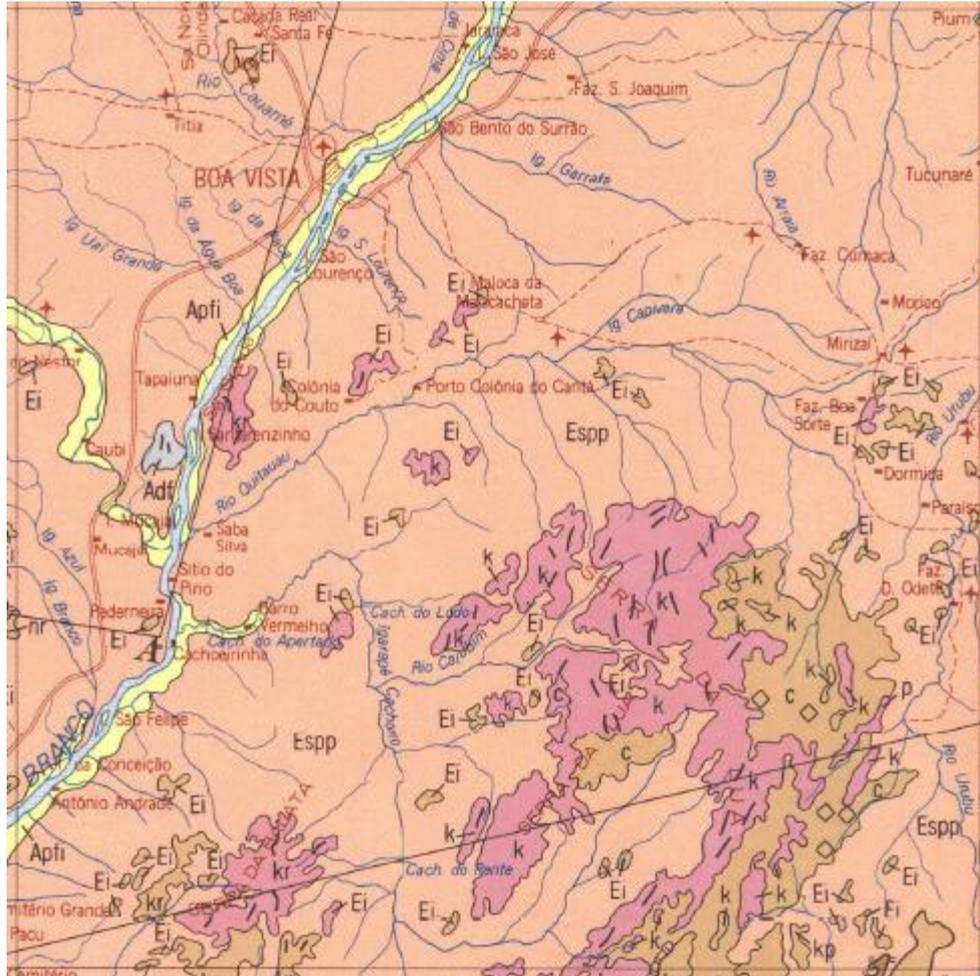


Figura 42- Mapa Geomorfológico.
 Fonte: Brasil (1975).

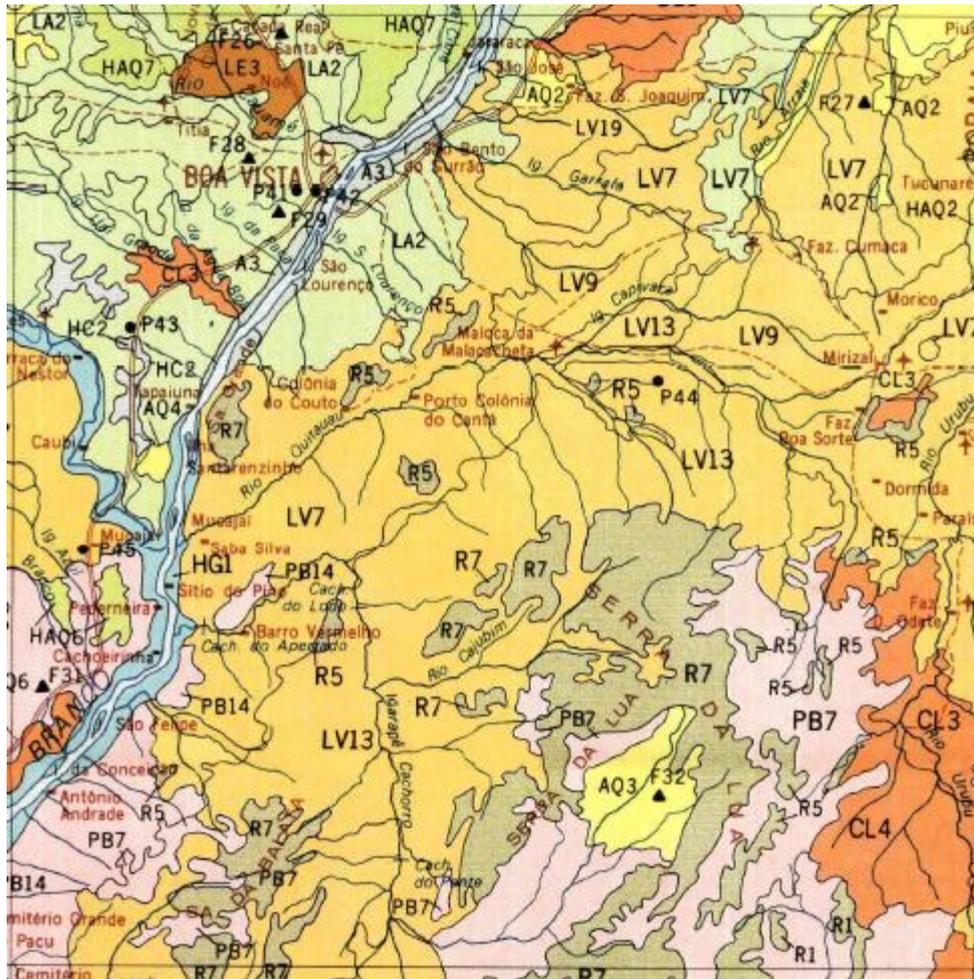


Figura 43- Mapa Pedológico.
 Fonte: Brasil (1975).

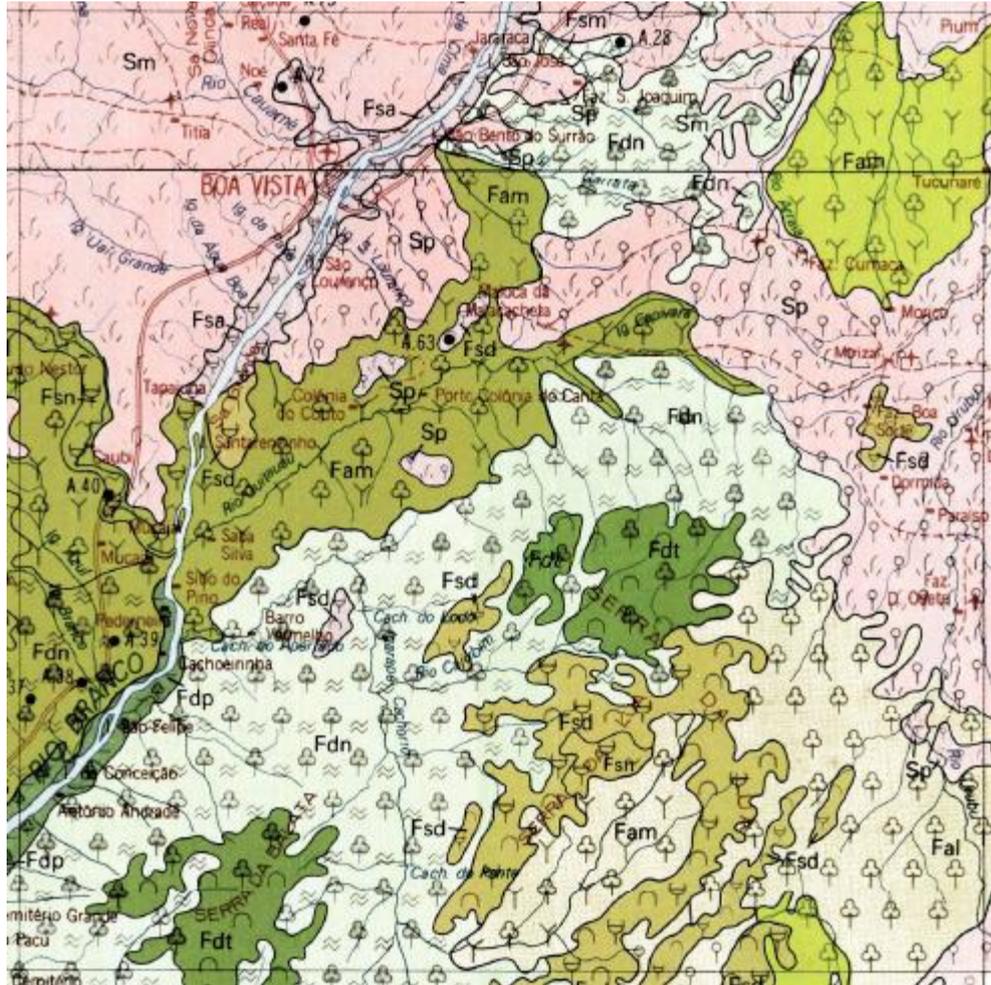


Figura 44- Mapa Fitoecológico.
Fonte: Brasil (1975).

O novo mapa geológico gerado apresenta algumas alterações em relação aos pré-existentes. Entre essas alterações destacam-se:

- ✓ **Grupo Cauarane (PP2cm, PP2cp):** As litologias pertencentes ao Grupo Cauarane tem sua maior expressão areal nos domínios da sub-região hídrica Uraricoera, em sua porção leste região compreendida pelo trecho vila Brasil – Taiano. Outras ocorrências mais significativas situam-se na sub-região hídrica Tacutu e somente uma pequena extensão se encontra na área de estudo, a qual em mapeamentos anteriores não estava contida nesta, conforme figura 45;
- ✓ **Suíte Metamórfica Rio Urubu:** Essa unidade litoestrutural tem sua maior distribuição espacial no extremo nordeste da sub-região hídrica Anauá e sul da sub-região hídrica Tacutu, a exemplo das ocorrências no leito do rio Quitauaú. Também comparece na forma alongada sigmoidal ou como pequenas lentes dispostas no sul da sub-região hídrica Uraricoera e Branco Norte, respectivamente. Essa unidade litoestrutural ocupava cerca de 90% da área de estudo, na re-interpretação esse percentual passou para aproximadamente 75%, conforme figura 45;
- ✓ **Suíte Intrusiva Serra da Prata (Mp1y_{sp}):** A Suíte Intrusiva Serra da Prata ocorre principalmente na sub-região hidrográfica Anauá na forma de extensos e espessos sigmóides alongados preferencialmente orientados na direção NE–SW. De forma mais restrita comparece no setor sul da sub-região hídrica Tacutu. As ocorrências mais expressivas afloram nas serras Cigana, Balata e da Prata e no rio Urubu. Ao longo do Cinturão Guina Central, os autores do Projeto Roraima Central, identificaram hiperstênio granitóides (charnockitos a mangeritos) não deformados, além de hiperstênio granitóides foliados e hiperstênio gnaisses, tendo sido todo o conjunto, tentativamente, agrupado na Suíte Intrusiva Serra da Prata, cujo posicionamento no Mesoproterozóico é sugerido pela idade obtida para um litótipo não deformado. Essa unidade foi re-interpretada e teve uma ampliação em sua extensão de aproximadamente 20%, conforme figura 45;
- ✓ **Formação Boa Vista (n12bv):** A sedimentação cenozóica mais antiga que recobre os litotipos do hemigráben do Tacutu correspondem aos sedimentos da Formação Boa Vista, a qual ocorre amplamente distribuída no setor central da sub-região hídrica Tacutu e setor leste das sub-regiões hídricas Uraricoera e Branco Norte. Essa unidade é uma das mais expressivas no setor nordeste de

Roraima, sendo limitada à norte pelas Suítes intrusivas Pedra Pintada e Saracura, a sudeste pelas unidades pré-cambrianas (Grupo Cauarane e Suíte Intrusiva Rio Urubu), a sul pelos granitóides e gnaisses da Suíte Intrusiva Mucajaí e a oeste pelo Grupo Cauarane. A bacia sedimentar Boa Vista revela morfologicamente características de uma planície, com relevo suave e dissecação localizada e representada por limitados campos arenosos com feições de dunas eólicas. Testemunhos gnáissicos, granitóides e vulcânicos em meio à sua sedimentação, atestam um embasamento irregular e tectonicamente controlado, citando-se as serras Grande, Malacacheta, Cantá e Nova Olinda dentre outras. Na re-interpretação essa unidade teve sua extensão ampliada em aproximadamente 10%, conforme figura 45;

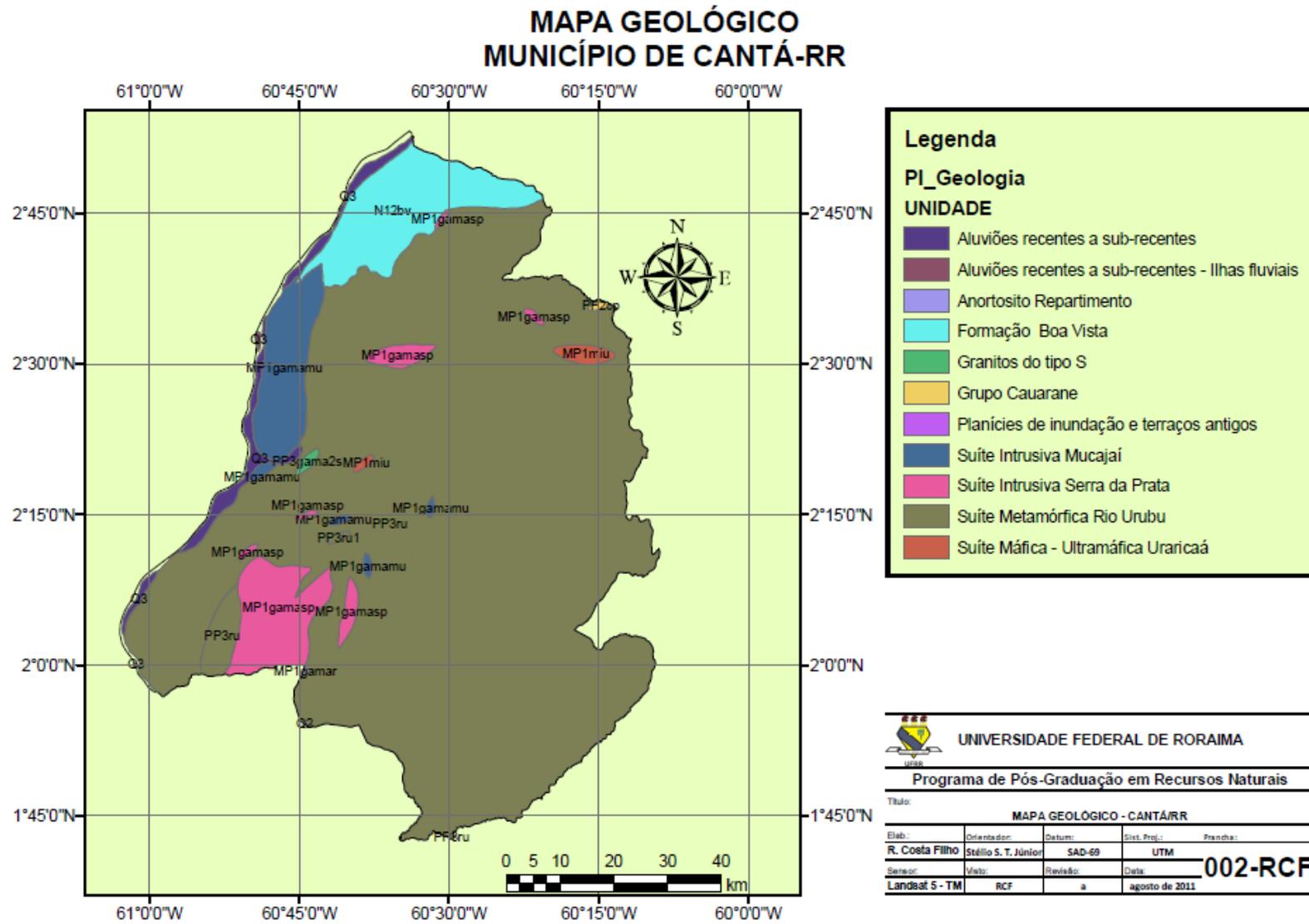


Figura 45 – Mapa Geológico.

O novo mapa geomorfológico gerado apresenta algumas alterações em relação aos pré-existentes. Entre essas alterações destacam-se:

- ✓ **Terrenos Proterozóicos do Escudo das Guianas:** o termo Terrenos Proterozóicos do Escudo das Guianas foi estabelecido de maneira informal por CPRM (2002), com o objetivo de reunir as associações litológicas de idade Proterozóica, representadas por rochas metavulcanossedimentares, granitóides, vulcânicas ácidas a intermediárias, granitos, gnaisses, migmatitos, e ainda as rochas sedimentares levemente dobradas e metamorfisadas do Supergrupo Roraima e Formação Tepequém. Eventualmente, ocorrem diques de rochas básicas e intrusão de rochas alcalinas do Mesozóico, conforme figura 46;
- ✓ **Bacia de Boa Vista:** a bacia de Boa Vista encontra-se instalada na porção nordeste de Roraima, aproveitando, em parte, a estruturação do gráben Tacutu. Trata-se de uma área de sedimentação relativamente rasa, com espessura bastante variável em função da conformação de seu embasamento, podendo atingir, em alguns trechos, cerca de 14 metros de espessura. Engloba os sedimentos terciários da Formação Boa Vista (arenitos ferruginosos, arenitos arcoseanos a conglomeráticos, siltitos e argilitos) e, ocasionalmente, os da bacia do Tacutu (de idade mesozóica, porém atribuída à área da bacia de Boa Vista para facilitar o mapeamento). O substrato rochoso é representado por rochas ígneas e metamórficas dos Domínios Estruturais Guiana Central e Urariqüera, expostas na superfície sob a forma de relevo residual e lajeiros.

Nesse trabalho também foi elaborada uma escala com níveis de favorabilidade à erosão e fragilidade potencial das formas de relevo:

- ✓ **Muito Baixa:** este nível reúne as formas de relevo que propiciam, através do escoamento superficial difuso das águas pluviais, o desenvolvimento de erosão laminar incipiente. Em função dos aspectos morfométricos pouco expressivos, a erosão apresenta baixa competência para a desagregação e transporte das partículas, sendo observada localmente a instalação do mecanismo natural de erosão típico de relevos planos, denominado de dessolagem. O processo de dessolagem age principalmente sobre solos arenosos, pouco coesos, removendo-os e, em alguns casos, expondo o substrato rochoso. Compreende as superfícies planas a levemente colinosas, com eventuais formas residuais subordinadas. Apresentam dissecação pela rede de drenagem extremamente baixa, amplitude altimétrica inferior a 5,0 metros e declividade muito suave a

nula do terreno (< 2%). Como área típica, pode ser citado o extenso pediplano desenvolvido sobre a Depressão Marginal do Norte da Amazônia e de Boa Vista;

- ✓ **Baixa:** as formas de relevo reunidas neste nível propiciam a instalação do processo de erosão laminar difusa ou semiconcentrada, decorrente de um maior adensamento da rede de drenagem e da presença de gradientes mais elevados no terreno. Neste estágio já é possível observar sinais significativos de remoção da camada superficial do solo, sobretudo nas áreas desmatadas pela atividade agropecuária. Compreende as superfícies planas, levemente onduladas a colinosas, podendo haver a presença subordinada de formas residuais e de acumulação. Apresenta baixa dissecação do terreno, amplitude altimétrica inferior a 40 metros e declividade das vertentes muito suave a suave (< 6%). Incluem-se ainda neste nível as formas residuais sem dissecação aparente, como os “inselbergs” e os platôs lateríticos. As áreas levemente onduladas a colinosas nas imediações das vicinias do município de Rorainópolis, no sul do estado, tipificam bem este nível de fragilidade;
- ✓ **Moderada:** encontram-se inseridas neste nível as formas de relevo que, em função do gradiente de suas vertentes e/ou da alta densidade da rede de drenagem, propiciam o escoamento semiconcentrado da água pluvial, sobretudo nas áreas desprovidas de cobertura vegetal original. Ocorre a erosão laminar fraca a moderada, responsável pela remoção do horizonte superficial do solo e pela instalação nas vertentes de sulcos erosivos e voçorocas ocasionais, de profundidade rasa a moderada. Caracterizam-se por superfícies levementes onduladas a colinosas com dissecação média, eventualmente com a presença de formas decorrentes dos processos de laterização e acumulação. Incluem-se ainda, as formas aguçadas/arredondadas, com amplitudes inferiores a 100 metros, vertentes com declividade moderada a forte (6 –20%) e grau de dissecação moderada. A amplitude média destes terrenos é inferior a 80 metros e a declividade é suave a moderada (<20%). As áreas colinosas do Planalto Dissecado do Norte da Amazônia tipificam o relevo presente neste nível;
- ✓ **Alta:** Encontram-se agrupadas neste nível as formas de relevo que, devido ao gradiente elevado de suas vertentes, a uma maior densidade da rede de drenagem e à própria constituição do substrato rochoso, tornam-se propícias ao desenvolvimento de escoamento difuso, semiconcentrado a concentrado,

associado, em alguns casos, à erosão remontante das águas pluviais. Englobam as formas colinosas, eventualmente com topo tabular originado por eventos de laterização, ou ainda as formas aguçadas e escarpadas com controle estrutural. Representam terrenos com forte dissecação, com amplitudes inferiores a 200 metros e declividade forte das vertentes (20 – 50%). Os processos erosivos ocorrem com maior intensidade nas formas associadas a solos provenientes da alteração de rochas arenosas e micáceas, principalmente quando desprovidos da vegetação original, ou ao longo de cortes de estrada em terrenos íngremes. Como exemplos, são citados os trechos de voçorocas instaladas ao longo dos cortes de estrada da BR-174, na subida para Pacaraima. Nas áreas mais íngremes e escarpadas os processos erosivos têm uma maior relação com os eventos envolvendo escorregamento de solo e queda de blocos, a exemplo do que ocorre nas áreas serranas da região. Em função dos aspectos restritivos à ocupação humana, foram também incluídas neste nível as áreas predispostas a desequilíbrios morfodinâmicos, tais como as formas geradas por processos de aplainamento/acumulação sujeitas à inundação, ou ainda as áreas de intervenção antrópica desorganizada. Estas áreas apresentam, de uma maneira geral, alto potencial à contaminação do lençol freático por resíduos, risco de assoreamento dos rios em locais de extração de bens minerais (areia, cascalho, argila, concreções ferruginosas, diamante, etc.) e instalação de processos erosivos induzidos pela abertura de vias de acesso;

- ✓ **Muito Alta:** Esta categoria engloba as formas de relevo topograficamente mais elevadas e íngremes da região, correspondendo aos alinhamentos serranos, maciços montanhosos e escarpas erosivas. Apresenta, como característica geral, formas aguçadas e íngremes, com dissecação muito forte e expressivo controle estrutural. As amplitudes altimétricas apresentam-se superiores a 200 metros e a declividade das vertentes acima de 50 %. Estas formas propiciam o desenvolvimento de movimentos de massa, voçorocamentos, deslocamentos e queda de blocos relacionados com a estrutura da rocha (falhas, diáclases ou qualquer outro tipo de descontinuidade). Nesta categoria são incluídas ainda, em função dos seus aspectos restritivos, as extensas áreas inundáveis por prolongado ou permanente período de tempo.

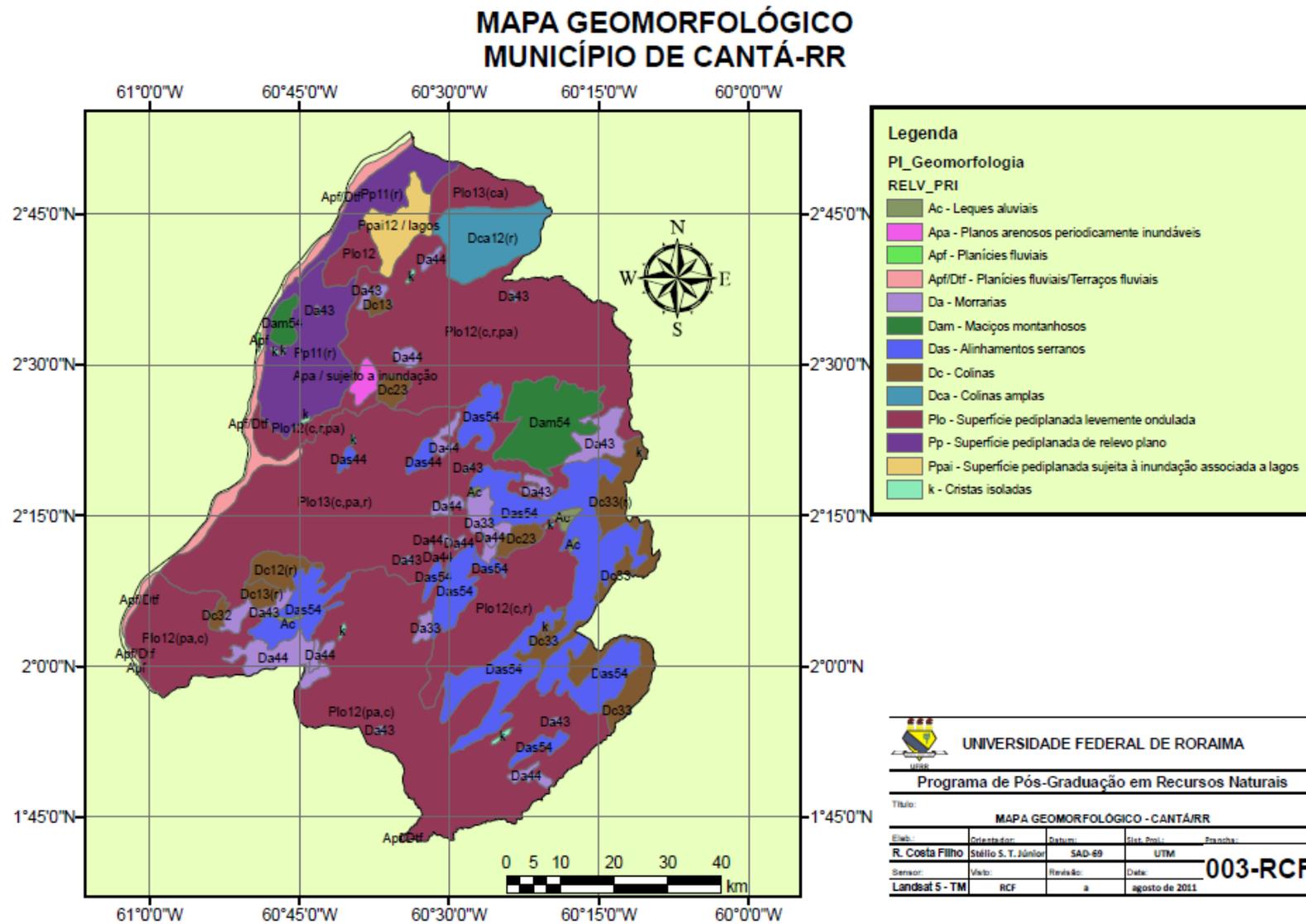


Figura 46 – Mapa Geomorfológico.

MAPA GEOMORFOLÓGICO - FRAGILIDADE À EROSÃO MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

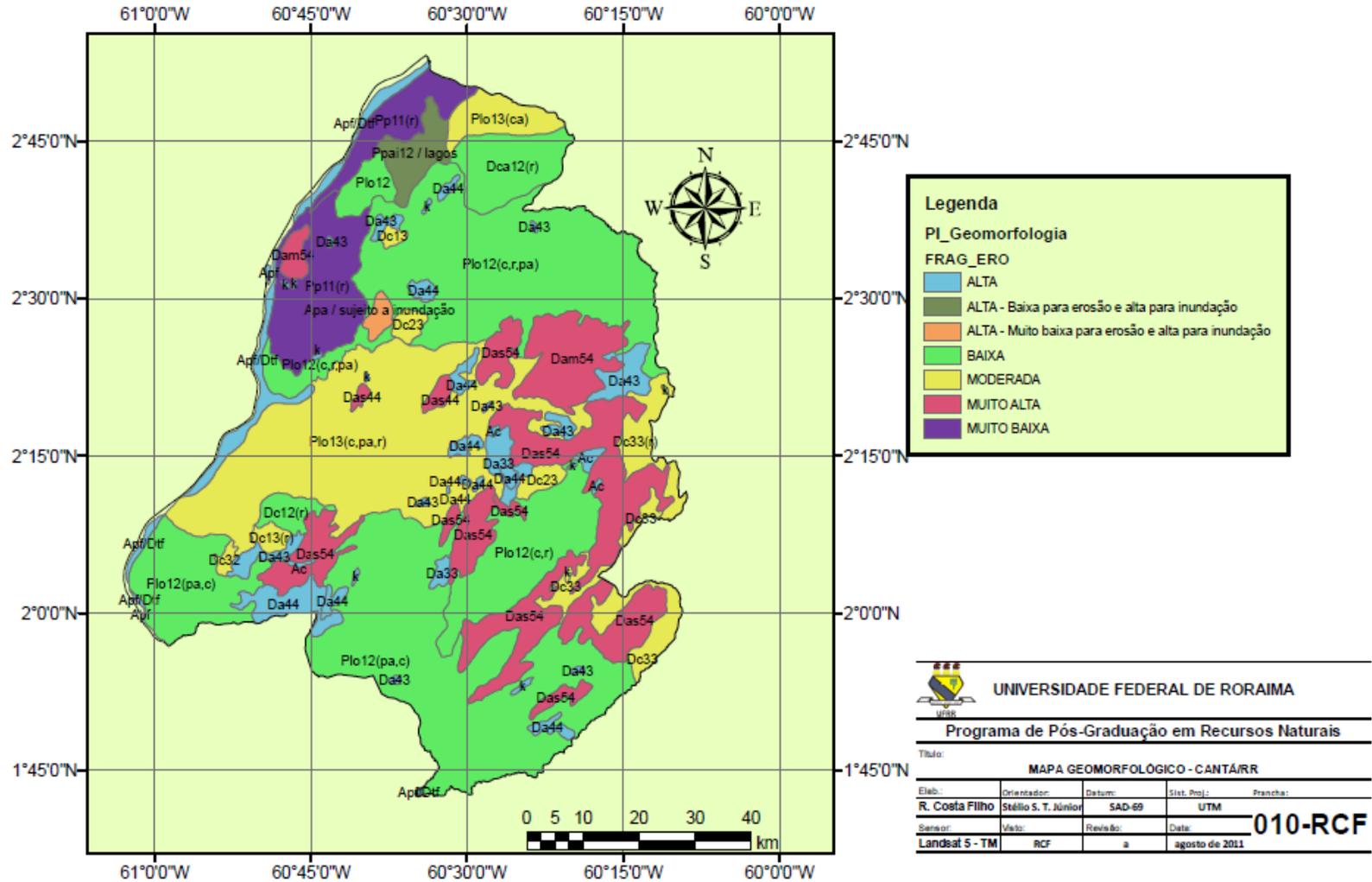


Figura 47 – Mapa Geomorfológico – Fragilidade à erosão.

MAPA GEOMORFOLÓGICO - DOMÍNIOS MORFOESCULTURAIS MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

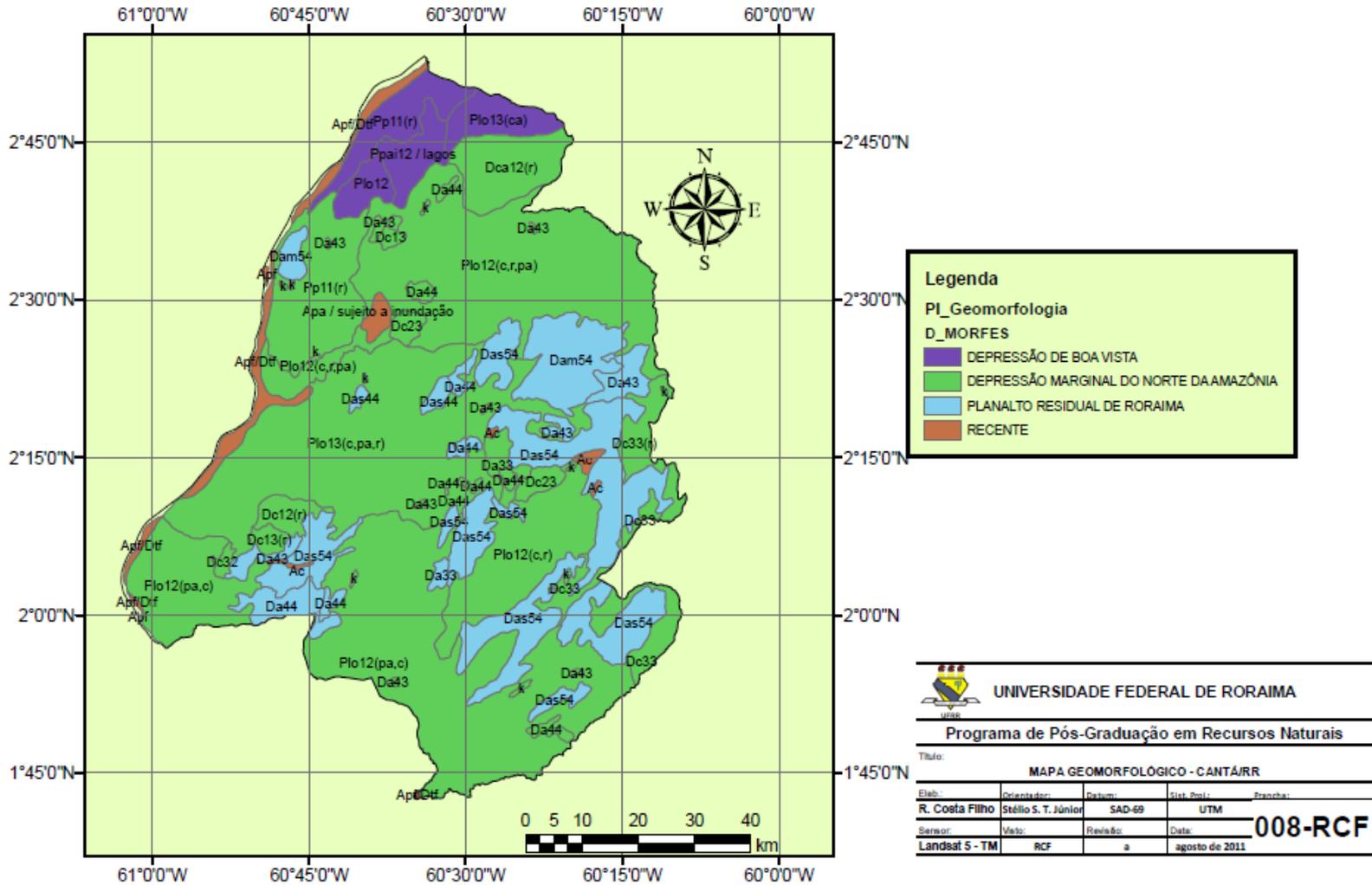


Figura 48 – Mapa Geomorfológico – Domínios Morfoesculturais.

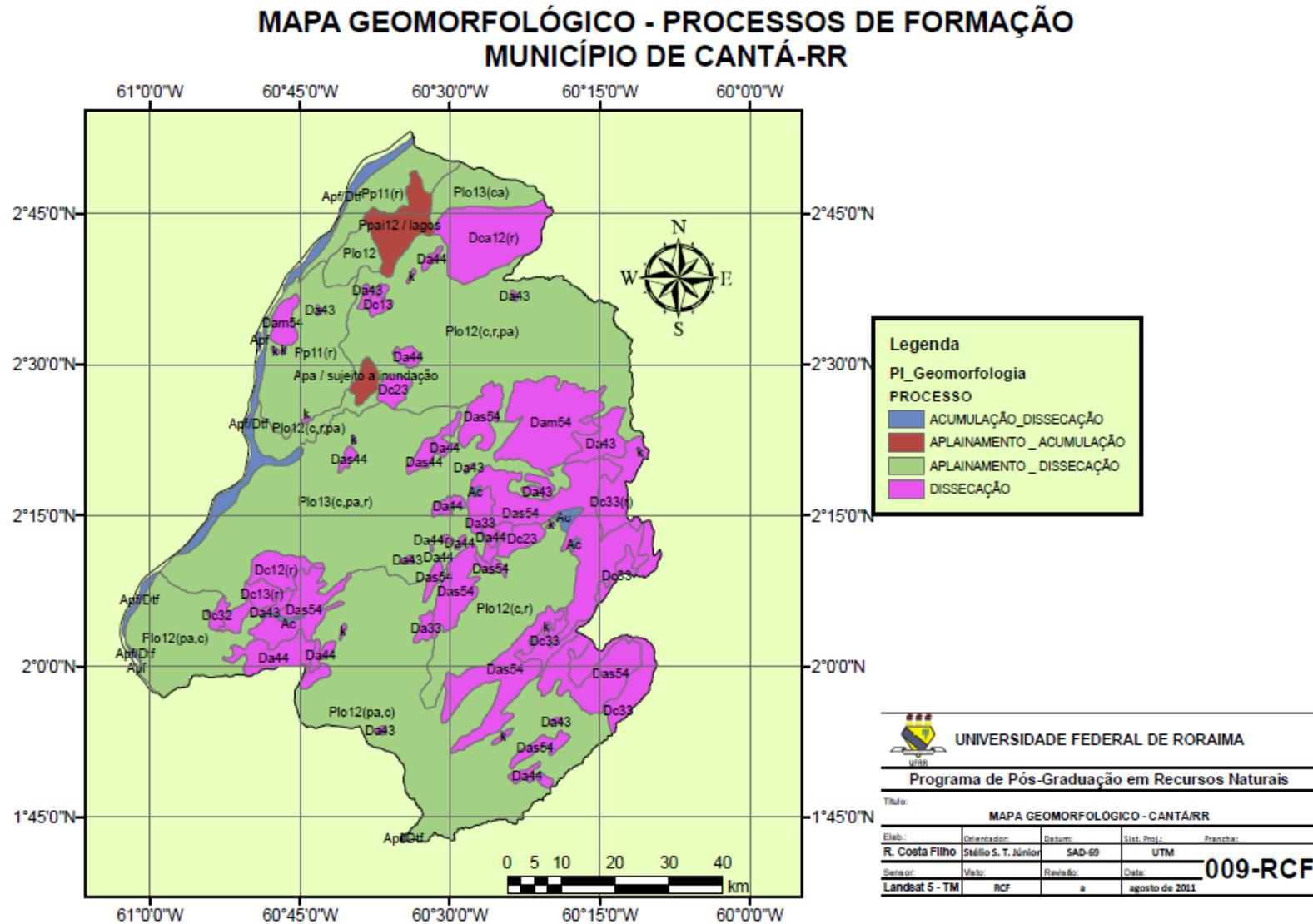


Figura 49 – Mapa Geomorfológico – Processos de formação.

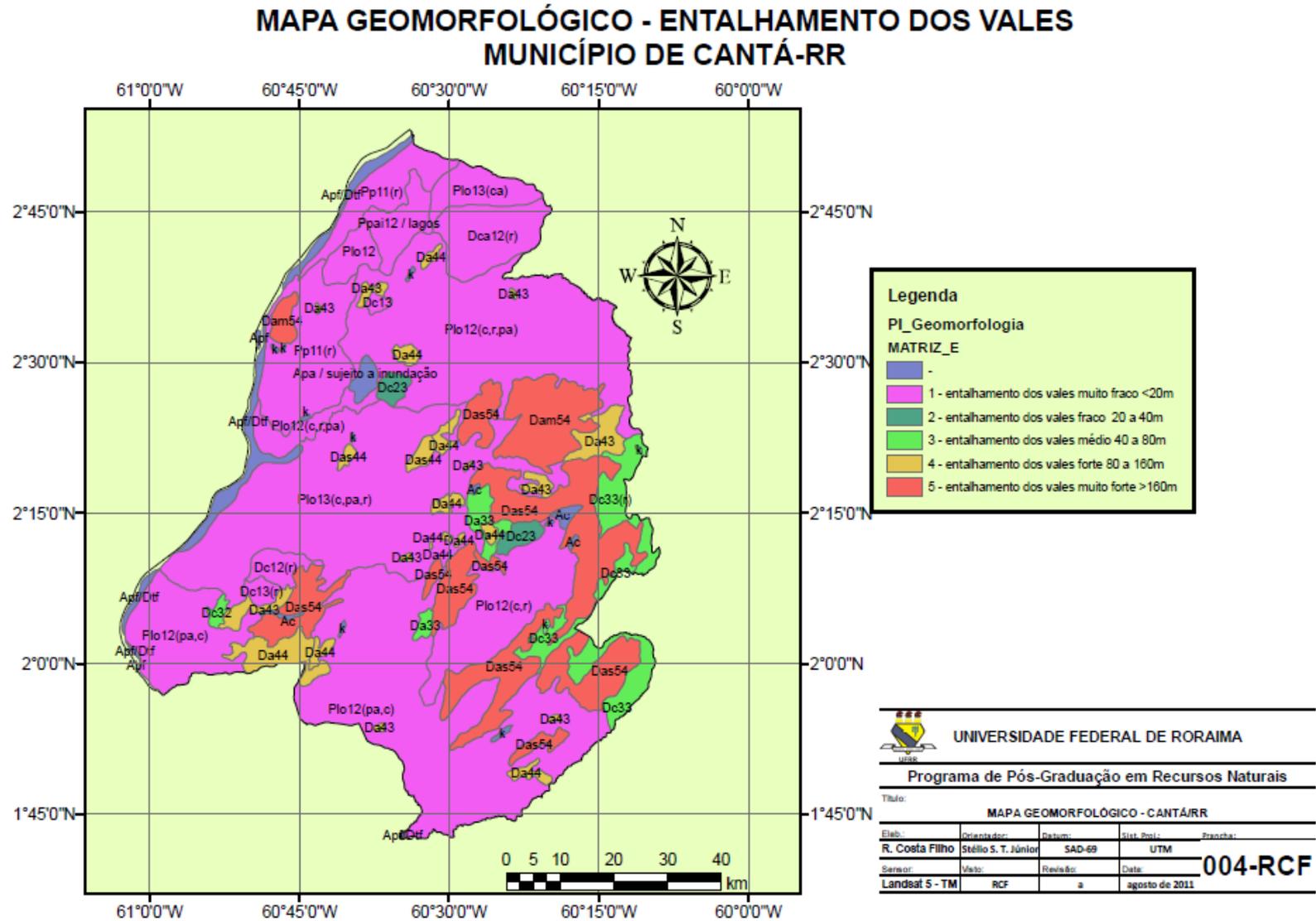


Figura 50 – Mapa Geomorfológico – Entalhamento dos vales.

MAPA GEOMORFOLÓGICO - DIMENSÃO INTERFLUVIAL MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

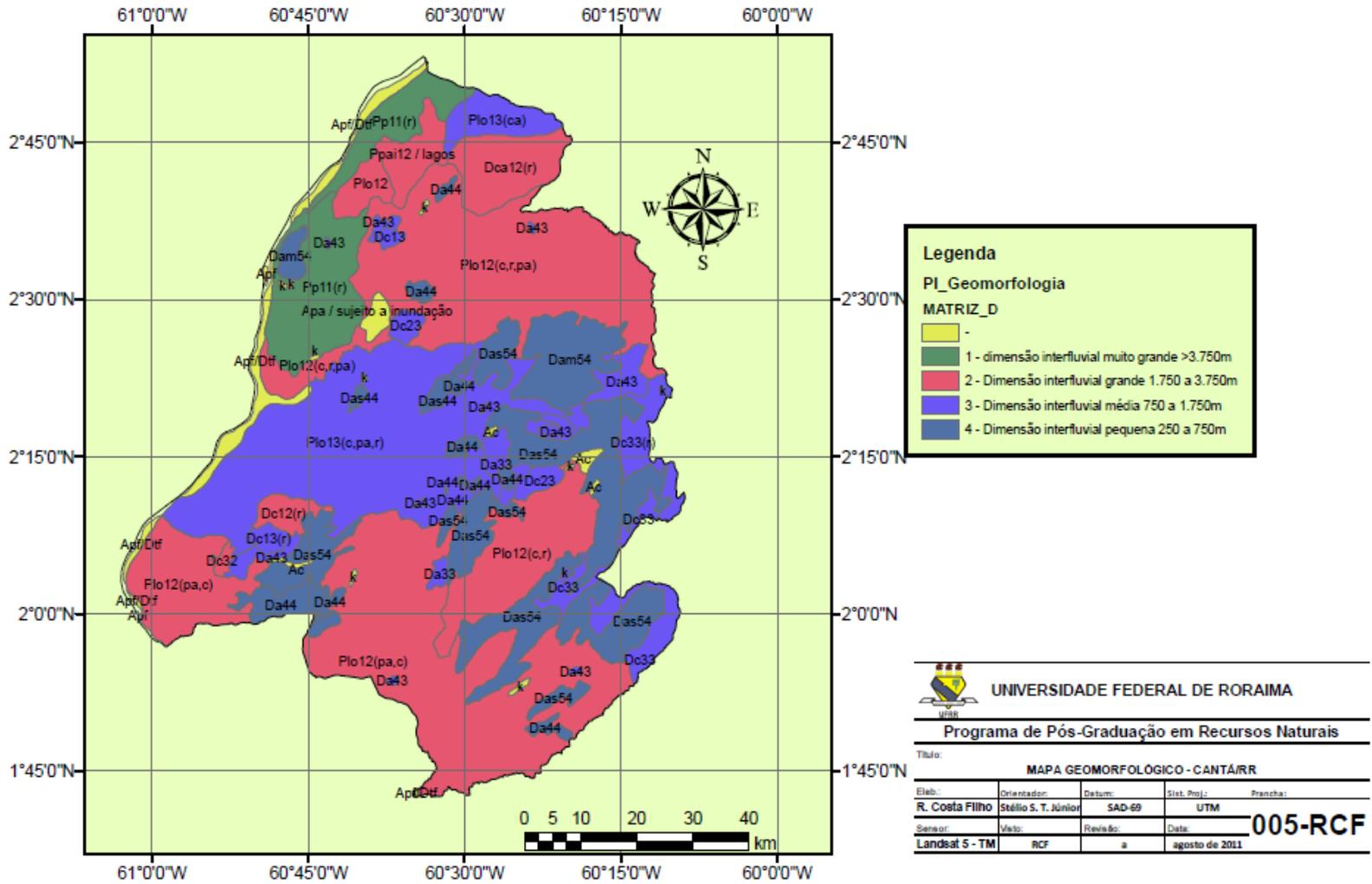


Figura 51 – Mapa Geomorfológico – Dimensão Interfluvial.

MAPA GEOMORFOLÓGICO - DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

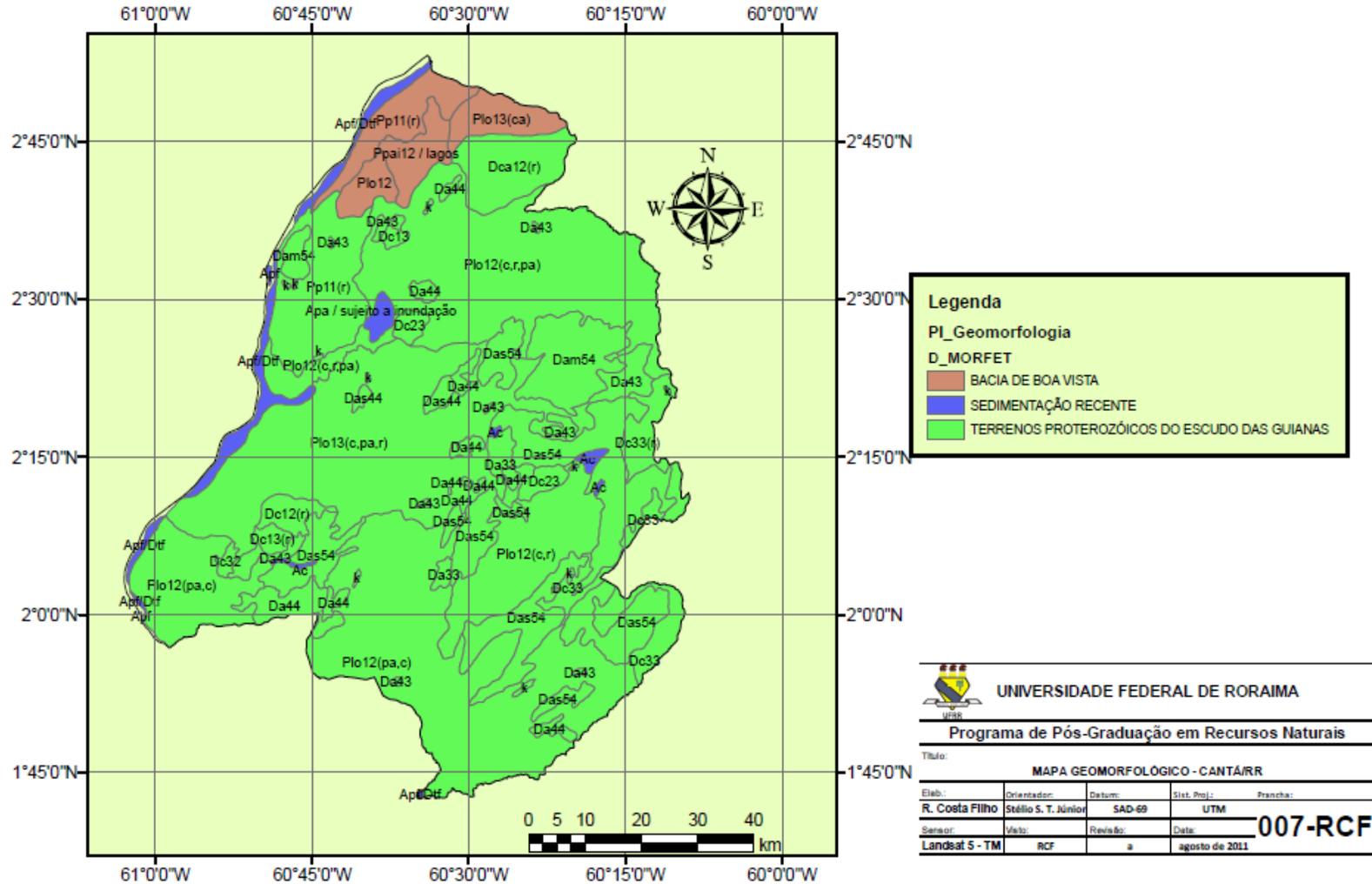


Figura 52 – Mapa Geomorfológico – Domínios Morfoestruturais.

MAPA GEOMORFOLÓGICO - RELEVO MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

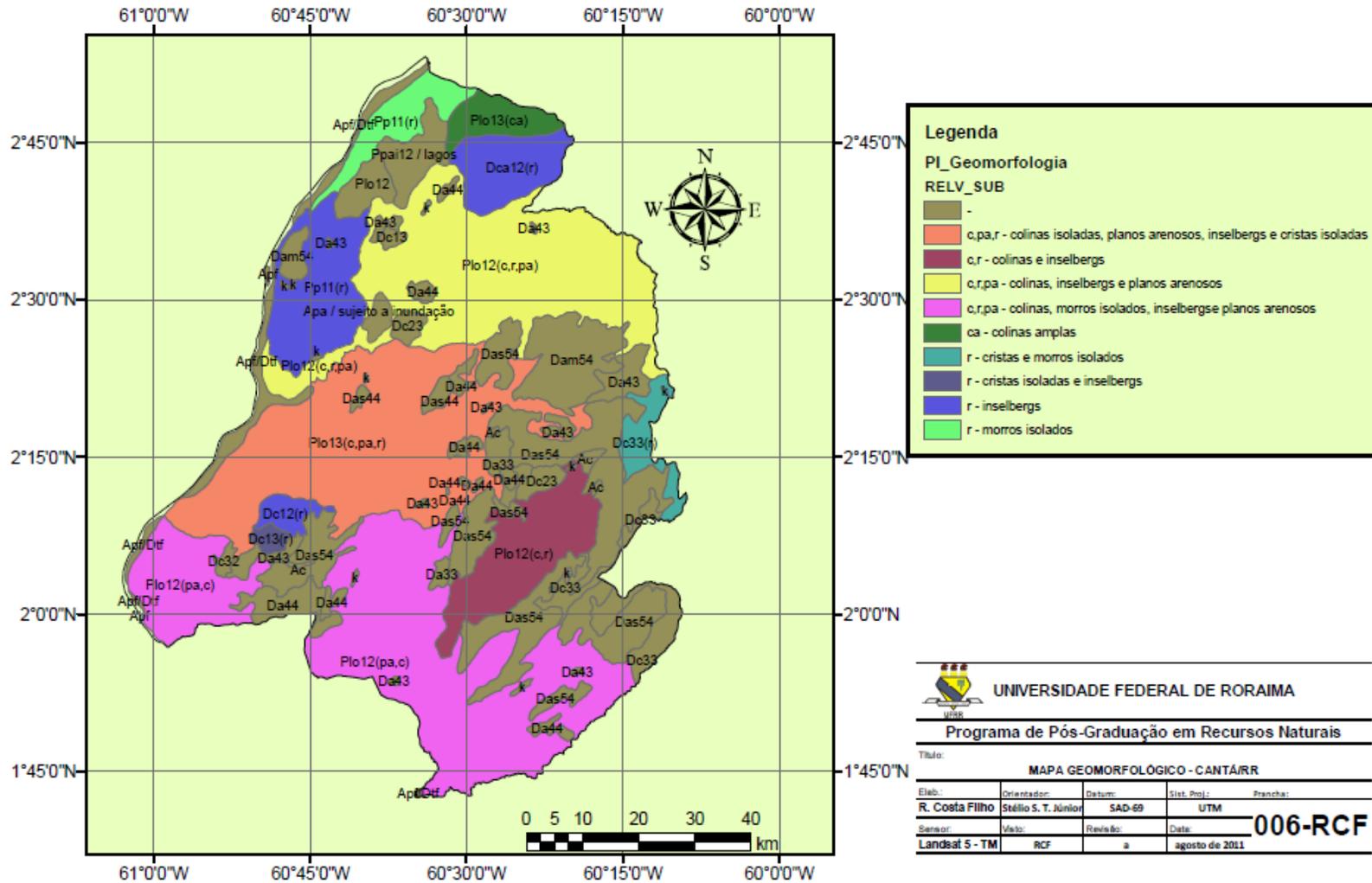


Figura 53 – Mapa Geomorfológico – Relevo.

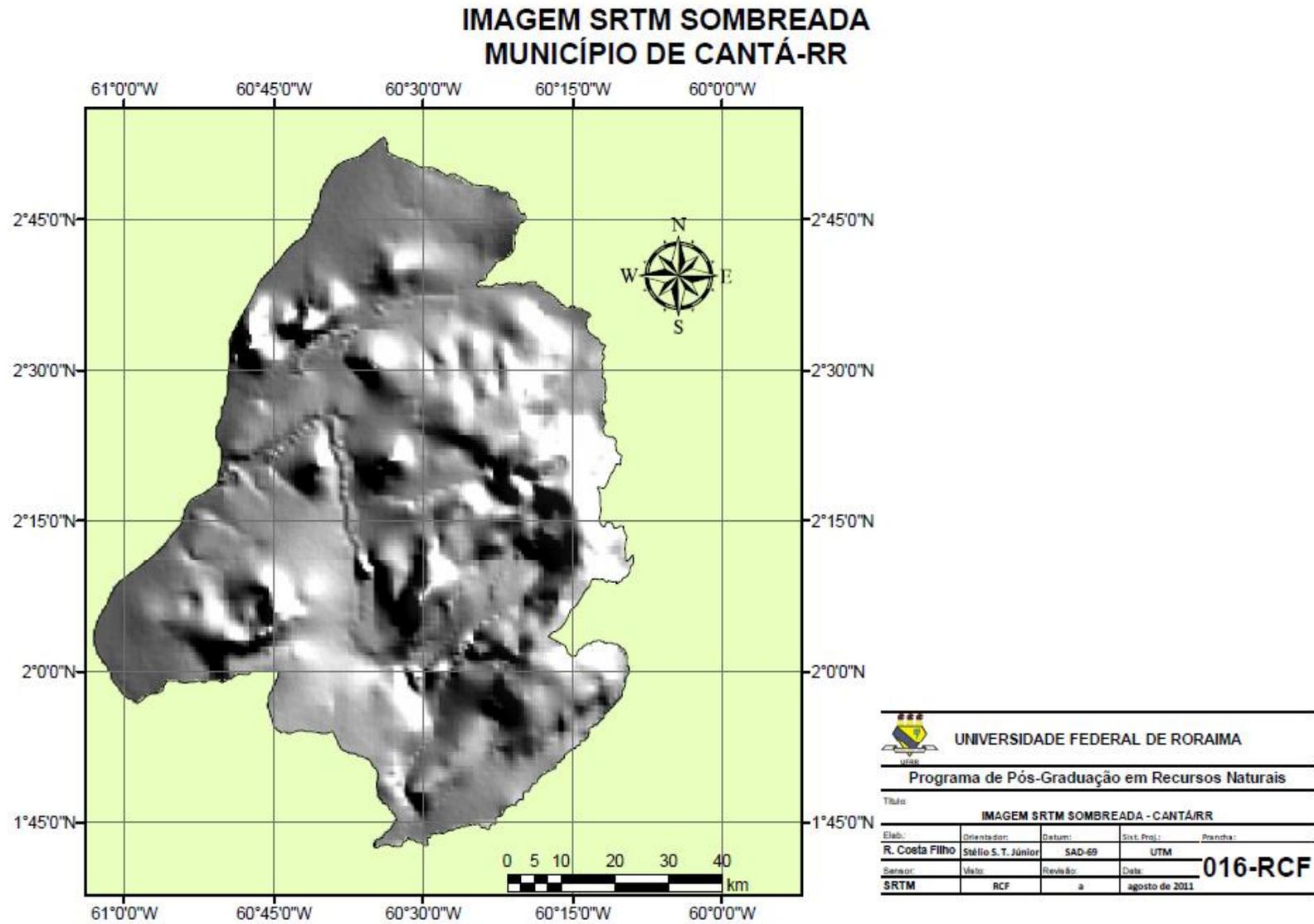


Figura 54 – Imagem SRTM sombreada.

MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

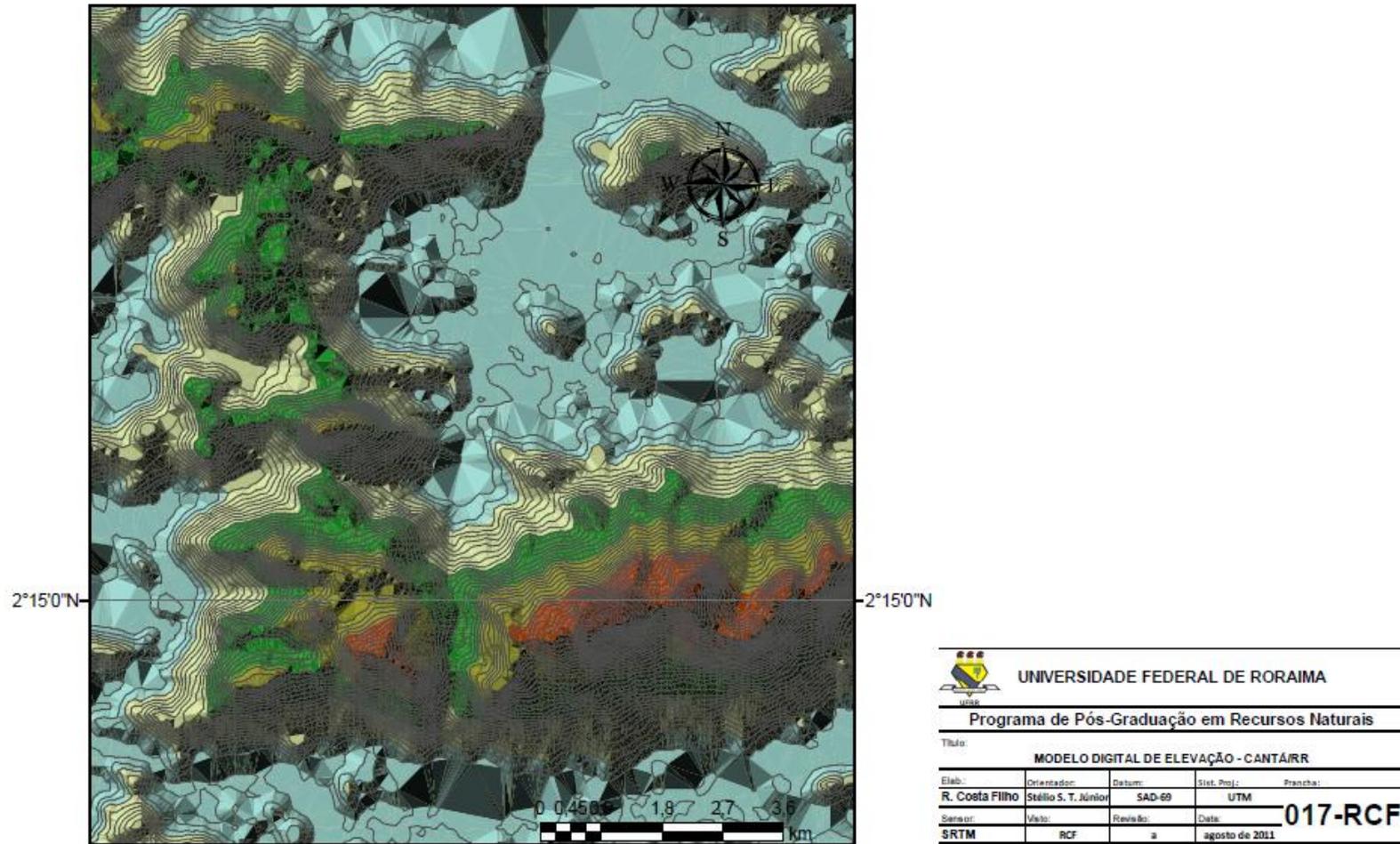


Figura 55 – Modelo Digital de Elevação.

CURVAS DE NÍVEL MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

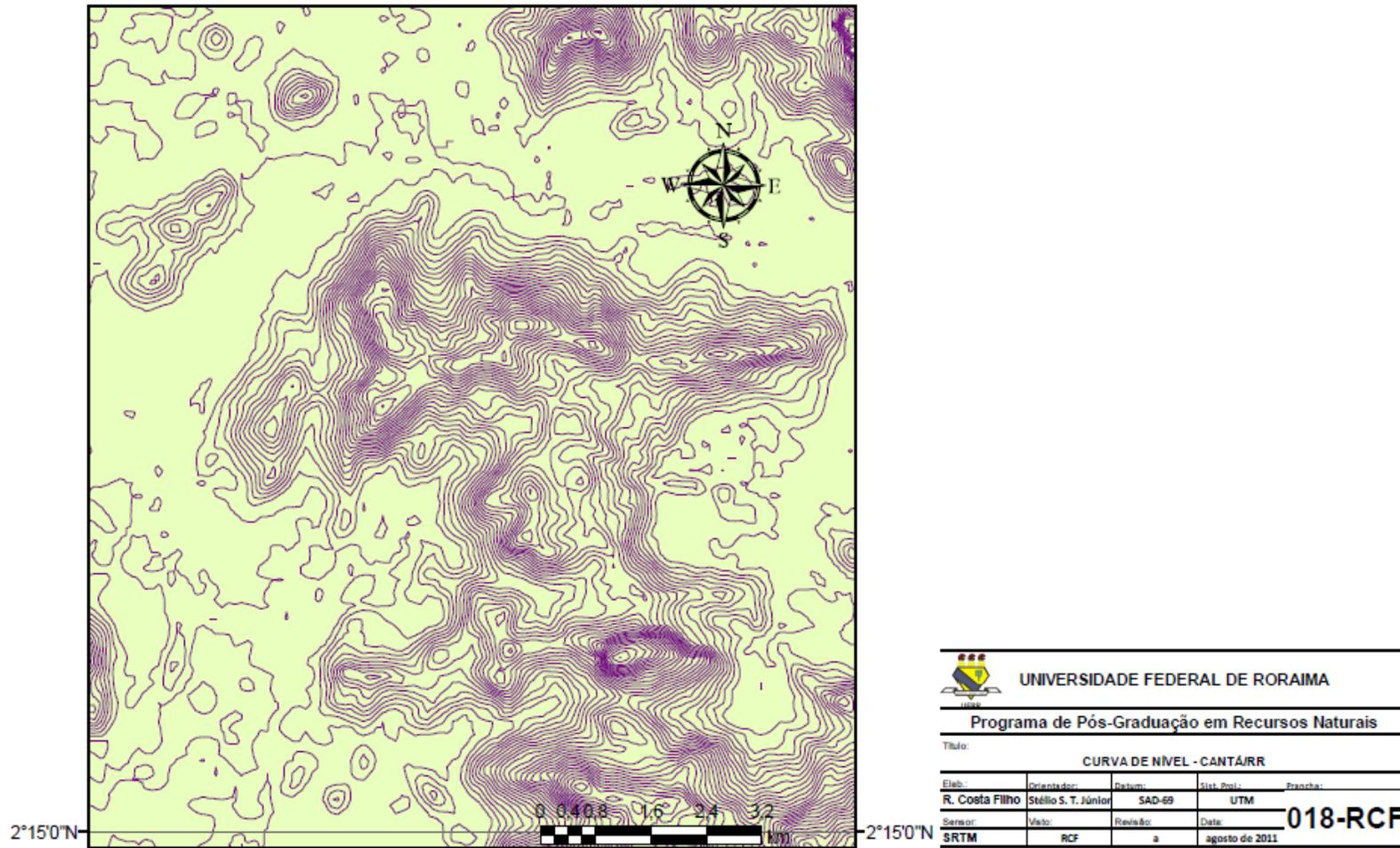


Figura 56 – Extração de Curvas de Nível.

Foram também avaliadas as características pedogenéticas levando-se em consideração trabalhos anteriores de âmbito regional, realizados por diversas instituições, bem como novos trabalhos de campo ao longo das rodovias federais, estaduais e vicinais. Nesta avaliação foi possível associar as características de gênese de alguns solos com as condições em que se desenvolveram, observando os parâmetros morfológicos, físicos e químicos dos perfis disponíveis. Como suporte para espacialização das unidades de mapeamento, foram utilizadas imagens de ópticas e de radar.

O novo mapa pedológico gerado apresenta algumas alterações em relação aos pré-existentes. Entre essas alterações destacam-se:

- ✓ **Plintossolo Pétrico:** representam solos bem drenados, com horizonte litoplântico. Contêm concreções ferruginosas, que são formações originadas por segregação de compostos ferrosos e, secundariamente, alumínio, além de argila, quartzo e outros elementos, pobres em matéria orgânica, geradas pelo processo cíclico de umedecimento e secagem. Estas concreções, ou petroplintitas, constituem 50% ou mais da massa do solo, ocorrendo próximo ou desde a superfície, ao longo do perfil, originando a denominação de Plintossolo Pétrico Concrecionário. Possui seqüência de horizontes A ou E, Bf e C. O horizonte A possui espessura média variável, cores bruno (7,5YR5/4) e bruno-forte (7,5YR) 5/6 e 5/8, as texturas pertencem às classes franco-arenosa, franco-argilo-arenosa e argila-arenosa, a estrutura é de difícil definição, em virtude da presença de petroplintitas, a consistência, quando molhado, varia de ligeiramente plástico a plástico e de ligeiramente pegajoso a pegajoso. O horizonte B tem características morfológicas e físicas semelhantes às do A, distinguindo-se pela cor, que é geralmente vermelho-amarelada (5YR5/8). São solos alumínicos, ácidos, de baixa fertilidade natural, com texturas argilosa e média, sendo encontrados em relevo que varia de suave ondulado a ondulado, associados principalmente a Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Litólico. Sobre estes solos deve-se manter a vegetação primitiva (áreas de preservação permanente, permitindo-se seu uso pontualmente, para exploração de material de construção), a extensão deste tipo de solo neste trabalho aumentou em aproximadamente 40% em relação aos trabalhos anteriores;
- ✓ **Neossolo Quartzarênico:** correspondem a solos minerais arenoquartzosos, pouco evoluídos, pouco profundos a profundos, contendo percentagem de

argila menor que 15% até 150 cm de profundidade ou até um contato lítico, sendo que mais de 95% da fração areia está representada por quartzo, calcedônia e opala, observando-se ausência de minerais primários alteráveis. Possui seqüência de horizontes A e C, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade. O horizonte A possui espessura variável, cores dominantes bruno (10 YR 5/3) e bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4), textura da classe areia e areia franca, estrutura em grãos simples; a consistência úmida é solta e, quando molhado, é não plástico e não pegajoso. O horizonte C tem espessura média de 120 cm, sua cor mais comum é bruno (10YR) 7/2 e 8/2, cinzento claro e branco respectivamente; a textura é da classe areia e areia franca, a estrutura é em grãos simples, a consistência úmida é solto e, se molhado, é não plástico e não pegajoso. Apresentam-se órticos ou hidromórficos, com presença de lençol freático elevado durante grande parte do ano, imperfeitamente ou mal drenados, com mosqueados comuns, pequenos e distintos. São solos alumínicos, sendo encontrados em relevo plano e suave ondulado. Quando órticos, estão associados principalmente a Argissolo Amarelo, Latossolo Amarelo, Gleissolo e Afloramento de Rochas, e, quando hidromórficos, a Gleissolo Háptico, Espodossolo Cárbico e Plintossolo Háptico, nas planícies do rio Branco e áreas alagadas da parte sul do estado. A extensão deste tipo de solo neste trabalho foi ampliado em 5% em relação aos trabalhos anteriores;

- ✓ **Neossolo Flúvico:** são solos pouco desenvolvidos, pouco profundos até profundos, moderadamente drenados, formados pela deposição de sedimentos transportados pelos cursos d'água, tendo como horizonte diagnóstico apenas o A, seguido de uma sucessão de camadas estratificadas, de diferentes tipos de materiais, sem nenhuma relação pedogenética. Os Neossolos Flúvicos, por terem camadas estratificadas, possuem distribuição muito irregular de carbono, portanto, mostram teor de matéria orgânica bastante variável de um estrato para outro. Aparecem predominantemente ao longo das planícies do rio Branco, associados a Gleissolo Háptico e Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, sob vegetação de formação pioneira e floresta aluvial, em relevo plano. A extensão deste tipo de solo neste trabalho foi ampliado em 15% em relação aos trabalhos anteriores



Figura 57 – Mapa Pedológico.

5.3 Integração dos dados gerados

5.3.1 Mapa de Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo

A partir dos valores atribuídos a cada tema (geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e uso da terra e climatologia) foi possível determinar um valor de vulnerabilidade para cada unidade de paisagem, através das operações de álgebra de mapas, conforme discutido em 4.2.7.1. Estes valores possibilitaram caracterizar as diferentes unidades de paisagem da área em um mapa de vulnerabilidade à perda de solo do município de cantá, conforme figura 58. As regiões mais vulneráveis à perda de solo no município estão localizadas em áreas com maior grau de dissecação, com solos mais jovens e de intenso uso. Por outro lado, as áreas menos vulneráveis, que ocupam a grande maioria do município, encontram-se sobre os platôs e áreas aplainadas, com solos maduros e profundos (latossolos e latossolos+associações). As maiores dificuldades para o estabelecimento correto do valor da vulnerabilidade natural à perda de solo foram com certeza os dados climáticos extremamente dispersos e sem continuidade nas medições, o que acaba gerando interpolações, o que nem sempre é coerente com a realidade.

No mapa de vulnerabilidade natural à perda do solo da área de estudo, a unidade predominante foi a de valor 1,9, ou seja, medianamente estável/vulnerável. Neste aspecto fica bastante claro que o uso desta unidade deve ser devidamente planejado e de forma racional, como se trata de um valor limítrofe, qualquer alteração num dos meios naturais (geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura e uso e clima) pode levar essa unidade para a categoria instável, e assim inviabilizando o seu uso.

A principal ameaça para esta unidade é a conversão da cobertura vegetal nativa por pastagens e agricultura sem os devidos manejos. Como citado anteriormente, qualquer alteração nos meios naturais pode inviabilizar o seu uso, e atualmente nos parece que o meio mais vulnerável é cobertura vegetal nativa.

VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO MUNICÍPIO DE CANTÁ-RR

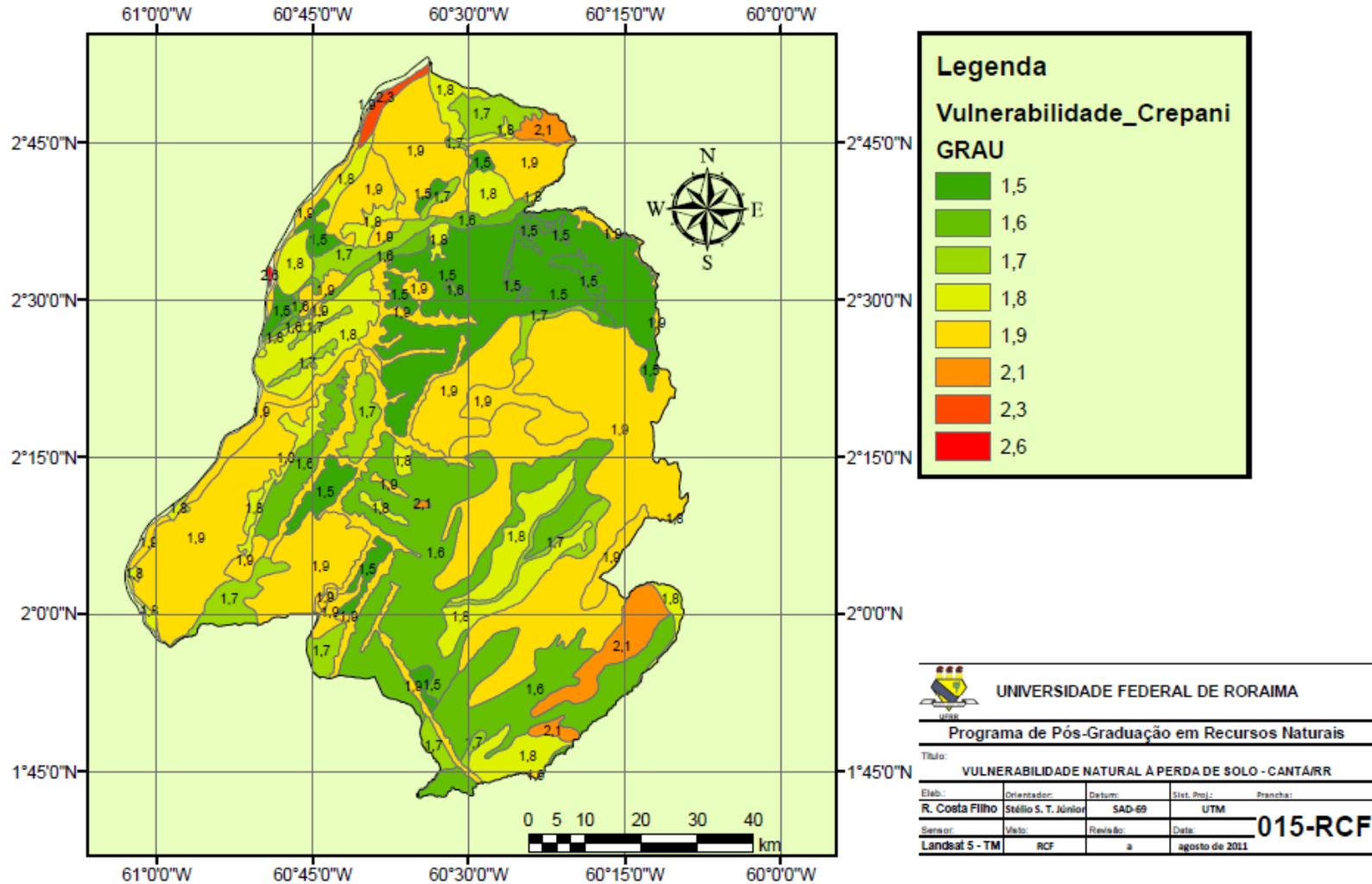


Figura 58 – Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo – Segundo Crepani et al. (2001).

5.3.2 Mapa de Subsídio à Gestão Territorial

O Mapa de Subsídio à Gestão Territorial, conforme figura 59 e 60, é resultado da combinação do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo e os atuais usos. O resultado desta combinação mostra que o município da Cantá pode ainda ampliar suas atividades produtivas, desde que de maneira sustentável.

Outro aspecto relevante é que se faz necessário também nas comunidades indígenas, o uso sustentável dos recursos naturais. Nas Terras Indígenas já existe agricultura e pecuária extensiva, sem regime de manejo adequado, e que se esse problema não for resolvido será necessário mais recursos naturais para essas comunidades.

O Mapa de Subsídio à Gestão Territorial mostra que alguns Projetos de Assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) estão instalados sob unidade consideradas frágeis, e com o uso alternativo do solo pode causar grandes processos erosivos, e por fim inviabilizar o seu uso.

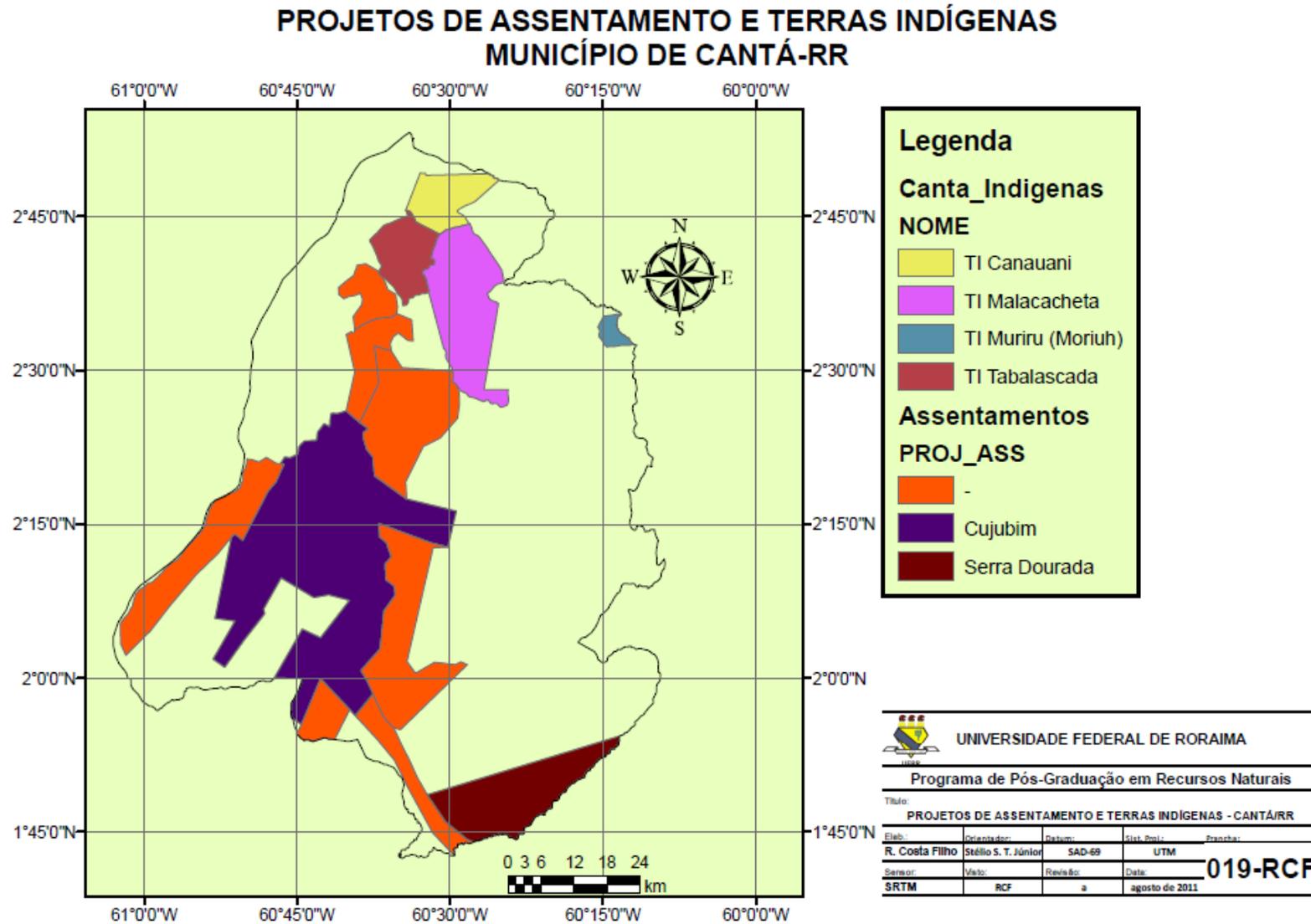


Figura 59 – Mapa de Subsídio à Gestão Territorial – Projetos de Assentamento e Terras Indígenas.



Figura 60 – Mapa de Subsídio à Gestão Territorial – Projetos de Assentamento, Terras Indígenas e Vulnerabilidade.

5.4 – Banco de dados georreferenciados

O produto final deste trabalho está reunido num banco de dados georreferenciados, anexado a este documento através de um CD-ROM, contendo mosaicos de imagens de satélites de diferentes épocas, dados básicos de altimetria, rede de estradas, mapas temáticos reinterpretados (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Climatologia, Hidrografia), mapas e dados gerados (mapa de Intensidade Pluviométrica, mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra e mapa de localização de pontos visitados) e os resultados alcançados (Mapa de Subsídio à Gestão Territorial).

Este banco de dados tem por objetivo:

- ✓ Permitir a análise dos mapas e dos demais dados gerados de modo que determinadas áreas de interesse possam ser observadas com maior detalhe (escalas maiores);
- ✓ Colocar os dados a disposição da sociedade para que sejam utilizados em benefício do desenvolvimento do Município de Cantá e da região amazônica;
- ✓ Tornar possível a atualização dos dados à medida que novos conhecimentos e tecnologias sejam adquiridos;
- ✓ Colocar os dados a disposição da comunidade científica para que a metodologia de trabalho, se considerada útil, seja estendida a outras regiões do país.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados pode-se concluir que as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento mostraram-se muito eficientes no planejamento do uso da terra e no ordenamento territorial. Neste sentido a metodologia adotada possibilitou a compreensão dos processos formadores da paisagem, bem como das formas de ocupação do território que ocorrem no município de Cantá.

Os métodos de processamento de imagens foram indispensáveis na distinção das feições importantes para a interpretação das imagens de satélite utilizadas como “âncora”. As técnicas de contraste aplicadas foram eficientes na reinterpretação dos mapas temáticos. A utilização das imagens-fração, criadas pelo modelo linear de mistura espectral, mostrou-se eficiente na separação de classes de cobertura vegetal e uso da terra. Pois proporcionou ao classificador maior eficiência na distinção das classes e feições, poupando tempo na etapa de edição matricial.

O software ArcView 9.3 permitiu o pleno desenvolvimento de todas as etapas deste trabalho, a exceção da etapa de classificação que foi utilizado o Envi. Paralelamente a isto, utilizamos o software Spring a fim de se obter uma ferramenta totalmente gratuita, mas infelizmente isso não possível, pela falta de robustez do referido sistema.

O classificador ISODATA, implementado no Envi, foi o que apresentou maior eficiência na discriminação de classes, conseguindo distinguir áreas como sucessão secundária, estradas e áreas de corte seletivo, e um classificador similar deve ser implementado na próxima versão do SPRING. Apesar disto a interpretação visual ainda é imprescindível para resolver as dúvidas decorrentes das confusões entre classes em função da semelhança existente na resposta espectral dos alvos. E como foi verificado neste trabalho às inspeções de campos são fundamentais para a qualidade do produto, senão fosse isso o mapa de cobertura vegetal e uso atual estaria com uma qualidade bem inferior à necessária para validação dos dados do referido mapa.

As unidades de paisagem delimitadas apresentam peculiaridades características da área. Praticamente todo município localiza-se sobre a Suíte Metamórfica Rio Urubu (Leucognaisses), fator este que pode acelerar processos erosivos. Esta disposição agrava-se pela ação do clima, que mostra alta pluviosidade concentrada em determinados períodos do ano, mas é amenizada pelo relevo relativamente plano, com exceção das áreas junto às quebras de relevo, onde a dissecação é mais evidente e severa e, portanto, deveria ser evitado qualquer tipo de uso da terra, o que infelizmente não se verifica.

Para próximos trabalhos sugerimos a utilização do método AHP na obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solo, pois mostra-se adequado, apresentando vantagens, como a hierarquização dos principais fatores que ocasionam a erosão hídrica. Além disso, propicia menor subjetividade na determinação de pesos relativos e a possibilidade de analisar o grau de coerência adotado pelo usuário, a partir da razão de consistência obtida.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. Primeira Aproximação. Rio de Janeiro: **Geomorfologia**, v.52, p. 1-21, fev./mar. 1977.

ALMEIDA-FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v 9, p42-50, 2002.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL, 1989. 294 p.

BAPTISTA, G. M. M. **Sensoriamento hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais**. Brasília: Universa, 2006. 212 p.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. São José dos Campos, 1997. 164 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

BARBOSA, R. I. **Distribuição das chuvas em Roraima**. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Ed.) Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima. Manaus: INPA, 1997. p.325-335.

BERGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. Trad. Leandro da Silva Duarte. **Fundamentos em Ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 576 p.

BERTONI, L.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.

BESERRA NETA, L. C. **Análise evolutiva da paisagem da serra Tepequém - Roraima e o impacto da atividade antrópica**. Belém, 2007. 190 f. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Pará.

BRASIL. Lei n. 4.771 de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal Brasileiro e dá outras providências. Organização Odete Medauar. 8.ed. ver. ampl. e atual. São Paulo: RT, 2009. 1167 p. (Coletânea de Legislação Ambiental/Constituição Federal)

BRASIL. Lei n. 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Organização Odete Medauar. 8.ed. ver. ampl. e atual. São Paulo: RT, 2009. 1167 p. (Coletânea de Legislação Ambiental/Constituição Federal)

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA.20 Boa Vista e parte das Folhas NA.21 Tumucum, NB.20 Roraimae NB, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. 428 p.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Organização Odete Medauar. 8.ed. ver. ampl. e atual. São Paulo: RT, 2009. 1167 p. (Coletânea de Legislação Ambiental/Constituição Federal)

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Resolução n. 303, de 20 de março de 2002. Organização Odete Medauar. 8.ed. ver. ampl. e atual. São Paulo: RT, 2009. 1167 p. (Coletânea de Legislação Ambiental/Constituição Federal)

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente - APP. Resolução n. 369, de 28 de março de 2006. Organização Odete Medauar. 8.ed. ver. ampl. e atual. São Paulo: RT, 2009. 1167 p. (Coletânea de Legislação Ambiental/Constituição Federal)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal – MMA. Secretaria de Coordenação de Assuntos do Meio Ambiente, Programa Nacional do Meio Ambiente. **Os Ecossistemas e os Principais Macrovetores de Desenvolvimento: subsídios ao planejamento e gestão ambiental**. Brasília: PNMA, 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal – MMA. Secretaria de Coordenação da Amazônia, Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília: SCA, 1997.

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

CARVALHO, A. S. **A integração de imagens de RADAR/JERS-1, TM/Landsat-5 e geofísicas para o mapeamento geológico da porção nordeste de Roraima, Brasil**. Brasília, 1997. 212 f. Tese (Tese de Doutorado), Universidade de Brasília.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: UFPR, 2003. 210 p.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Of Environment**, v.44, n.37, p.35-46, 1991.

COSTA, J. A. V. **Tectônica da região nordeste do Estado de Roraima**. Belém, 1999. 315 f. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Pará.

CPRM (Brasil). **Zoneamento ecológico-econômico da região central do estado de Roraima**. Belém: DIEDIG, 2002. 368 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDES FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 18 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: SAE/INPE, 2001. 124 p.

DE BIASI, M. Carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Rio de Janeiro: **Geografia**, v. 6, p.45-60, out./nov. 1992.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FIGUEIREDO, G.C.; VIEIRA, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, n. 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC: INPE, 1997. CD, p. 5755-5762.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 158 p.

FLOREZANO, T. G. **Avaliação de dados MSS-LANDSAT-4 para o mapeamento geomorfológico no semi-árido como suporte ao planejamento regional: uma abordagem integrada (área teste – região de Juazeiro – BA)**. São José dos Campos, 1986: 197 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

FLOREZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 101 p.

FLOREZANO, T. G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318 p.

FREITAS, A. **Geografia e História de Roraima**. 7.ed. Boa Vista: IAF, 2009. 225 p.

71

GUERRA, A. T. Aspectos Geográficos do Território do Rio Branco. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.1, n.13, p.118, jan./mar. 1956.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; DE MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. **A erosão e seu impacto, uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. 174 p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação de Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 179 p.

LOMBARDI NETO, F. Práticas de manejo e conservação do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1994. 522 p. p. 111-119.

MENESES, P. R. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2005. 114 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008. 363 p.

OLIVEIRA, J. G. B.; FERNANDES, A. G.; BEZERRA, C. L. F.; NUNES, E. P.; LIMA, F. A. M.; MOTA, F. O. B.; QUESADO, H. L. C.; SOUZA, M. J. N.; SALES, M. C. L.; LIMA, M. F.; OLIVEIRA, S.T.; OLIVEIRA, V. P. V. Zoneamento geo-ambiental da região de Canindé – CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. **Anais...** Natal: SBSR, 1998. 462 p. p.41-48.

PALMEIRA, A. F. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas à gestão do território do município de Paragominas (Estado do Pará)**. São José dos Campos, 2004. 265 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PIRES NETO, A. Planejamento territorial e a abordagem geológica-geotectônica e o conceito de terreno ou abordagem de paisagem. Rio de Janeiro: **Geografia**, v.8, p. 51-62, ago./set. 1994.

PRUSKI, F. F. **Conservação de água e solos**. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1996. 94 p.

RIBAUDO, M. O; YOUNG, C. E. Estimating the water quality from soil erosion control. **Water Resources Bulletin**. v.25, n.1, p.71-78, mar./abr. 1989.

RORAIMA. Lei Complementar n. 007 de 26 de agosto de 1994. Institui o Código de Proteção ao Meio Ambiente para a Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e uso adequado dos Recursos Naturais do Estado de Roraima. Organização Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima. 3.ed. ver. atual. Boa Vista: Boa Vista, 1999. 296 p. (Coletânea de Legislação Ambiental aplicada no Estado de Roraima)

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6. ed. Uberlândia: EDUFLU, 2007, 248 p.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAS In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S.B.**Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. v. 1. p.291-336.

SCHAEFER, C. E. R.; VALE JÚNIOR, J. F. **Mudanças climáticas e evolução das paisagens em Roraima: uma resenha do cretáceo ao recente**. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Ed.) Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima. Manaus: INPA. 1997. p. 231-296.

SIPAM (Brasil). **Imageamento com sensor SAR para monitoramento do estado de Roraima**. Brasília: EDSPAM, 2007. 185 p.

TAVARES JÚNIOR, S. S. **Utilização de imagens de Sensoriamento Remoto, Dados Aerogeofísicos e de Técnicas de integração digital para o estudo geológico do Norte do Estado de Roraima-Brasil**. São José dos Campos, 2004. 226 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. 91 p.

ULABY, F. T.; MOORE, R. K.; FUNG, A. K. **Microwave remote sensing: active and passive: radar remote sensing and surface scattering and emission theory**. 2. ed. v.2. Norwood: Artech House, 1986. 122 p.

VALE JÚNIOR, J. F. **Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em áreas de rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste de Roraima**. Viçosa, 2000. 185 f. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Viçosa.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982. 54 p. 73

VENTURIERI, A (Ed.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da área de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém): gestão territorial**. Belém: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007. 403 p.