

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**ANÁLISE DAS PRESSÕES DO USO E OCUPAÇÃO DA
TERRA SOBRE TRECHO DA FAIXA DE DUTOS
RIO – BELO HORIZONTE**

MATEUS VIDOTTI FERREIRA

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Co-orientadora: Profa. Dra. Mara Lúcia Marques

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente - Área de concentração Planejamento e Gestão do Meio Físico – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente

**Rio Claro (SP)
2009**

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Profa. Dra. Diana Sarita Hamburger

Aluno

Mateus Vidotti Ferreira

Rio Claro, 30 de outubro de 2009

Resultado: APROVADO

RESUMO

Em um país de grande extensão territorial como o Brasil, são comuns faixas de dutos com muitas centenas e até milhares de quilômetros. Eles atravessam lugares com diversidade morfológica, rios, ambientes da costa marinha e áreas metropolitanas. A partir do momento em que o duto é instalado, este passa a sofrer influência do ambiente e também causar impacto ao mesmo, como vazamentos, e pesquisas têm interesse nestas questões porque estas envolvem a integridade dos dutos e comprometem o abastecimento dos derivados de petróleo. Neste contexto, este trabalho visa analisar a pressão da cobertura e uso da terra em faixas dos dutos Rio - Belo Horizonte, localizadas em três municípios do Estado do Rio de Janeiro, no período de 1986 a 2005, com a utilização de técnicas de geoprocessamento. Para a identificação e avaliação das pressões dos impactos humanos nas faixas de dutos, foram utilizados dados multitemporais e técnicas de detecção de mudanças. As análises de uso e ocupação da terra consideraram as relações dos sistemas de relevo em áreas de influência dos dutos. A partir destas primeiras análises, um índice de pressão antrópica (IPA_d) foi proposto para analisar de forma conjunta as classes de uso e ocupação da terra. O mapa de IPA_d e o mapa de variação de IPA_d , possibilitaram a identificação de áreas de maior e menor pressão antrópica à faixa de dutos, bem como a variação desta pressão ao longo do período analisado.

ABSTRACT

In a country with a great territorial extension as Brazil, pipelines with a lot of hundreds and even thousands of kilometers are common. They cross morphologic diversity places, rivers, coastal marines environments and metropolitan areas. After their installation, the pipelines suffer environmental influence that can cause impacts on them, as emptying, and some researchers have interest in these questions because it involves the pipeline integrity and compromise the supplying of oil derivates. In this context, this work aim to analyze the pressures of land use and land cover on Rio – Belo Horizonte pipelines strip, located in three municipal districts of Rio de Janeiro State, during 1986 to 2005, with geoprocessing techniques. To identify and evaluate the pressures of human impacts on the pipelines strip, multi-temporal datasets and change detection techniques were used. The analyses of land use and land cover considered the relationships of relief systems in some areas of pipeline influence. From these first analyses a pressure human index (IPA_d) was proposed for pipelines strip, objecting an integrated study form between land cover and land use classes. The IPA_d map and IPA_d variations map, enabled the identification of areas with high and low pressure human for pipelines strip, as well as a variation of the pressures over the analyzed period.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área de Estudo. A – localização da faixa de dutos. B – área selecionada	15
Figura 2 – Províncias estruturais do Brasil.....	17
Figura 3 – Unidades litológicas	18
Figura 4 – Unidades geomorfológicas.....	21
Figura 5 – Sistemas de relevo.....	26
Figura 6 – Mapa altimétrico e isoietas	30
Figura 7 – Mapa de Unidades Geoambientais.....	31
Figura 8 – Mapa da vegetação natural.....	34
Figura 9 – Mapa indicativo de uso e ocupação	35
Figura 10 – Municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro	37
Figura 11 – Esboço das faixas de divisão da metropole do Rio de Janeiro	38
Figura 12 – Principais fases de instalação de uma faixa de dutos.....	43
Figura 13 – Esquema para correção radiométrica	53
Figura 14 – Exemplo da estrutura de organização de uma rede neural.....	60
Figura 15 - Resposta espectral da vegetação.....	68
Figura 16 – Representação gráfica dos conceitos PCA.....	70
Figura 17 – Esquema teórico da cobertura terrestre.....	75
Figura 18 - Fluxograma da pesquisa	80
Figura 19 - Fluxograma de trabalho do experimento 1.....	86
Figura 20 - Esquema teórico das classes de uso e ocupação da terra.....	90
Figura 21 - Fluxograma de trabalho do experimento 2.....	102
Figura 22 - Fluxograma de trabalho do experimento 3	103
Figura 23 - Fluxograma de trabalho do experimento 4.....	104
Figura 24 - Fluxograma de trabalho dos mapas uso e ocupação da terra e de mudanças	106
Figura 25 - Fluxograma de trabalho da análise do uso e ocupação.....	108

Figura 26 – Recorte da área de estudo para as figuras 27, 28 e 29	109
Figura 27 – Síntese da técnica de comparação de imagem	111
Figura 28 – Síntese da técnica NDVI	112
Figura 29 – Comparação entre as técnicas de diferença de NDVI e comparação de imagem classificada.....	114
Figura 30 – Sistemas de relevo “original” e “revisado”	116
Figura 31 – Zonas de influência do duto	118
Figura 32 – Mapa de regiões de interesse	120
Figura 33 – Recorte da área de estudo para as figuras 35, 36, 37 e 38	122
Figura 34 – Resultado geral das classificações do experimento 2	124
Figura 35 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 1.....	126
Figura 36 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 2.....	127
Figura 37 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 3.....	128
Figura 38 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 4.....	129
Figura 39 – Resultado geral das classificações do experimento 3	132
Figura 40 – Comparação das classificações de 1986, com e sem MDE	134
Figura 41 – Resultado geral das classificações do experimento 4	136
Figura 42 – Mapas de uso e ocupação da terra – 1986, 1995 e 2005.....	139
Figura 43 – A) Mapa de mudanças 1986-1995. B) Mapa de uso e ocupação da terra 1986.	143
Figura 44 – A) Mapa de mudanças 1995 - 2005. B) Mapa de uso e ocupação da terra 1995.....	144
Figura 45 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Planícies colúvio-alúvio-marinhas	146
Figura 46 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Planícies flúvio-marinhas	147
Figura 47 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Planícies aluviais	149
Figura 48 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Colinas isoladas	150

Figura 49 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos	152
Figura 50 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Escarpas serranas	153
Figura 51 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Morros isolados	154
Figura 52 – IPA _d 1986 para as unidades dos sistemas de relevo.....	155
Figura 53 – IPA _d 1995 para as unidades dos sistemas de relevo.....	156
Figura 54 – IPA _d 2005 para as unidades dos sistemas de relevo.....	156
Figura 55 – Variação IPA _d 1986-2005 para as unidades dos sistemas de relevo.....	158
Figura 56 – Gráficos correspondentes a zona de influência direta.....	160
Figura 57 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta à direita da faixa	161
Figura 58 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta à esquerda da faixa ...	162
Figura 59 – Gráficos correspondentes a zona de influência variável à direita da faixa	163
Figura 60 – Gráficos correspondentes a zona de influência variável à esquerda da faixa ...	164
Figura 61 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta entre a faixa.....	165
Figura 62 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta entre a faixa.....	166
Figura 63 – IPA _d 1986 para as zonas de influência da faixa de dutos.....	167
Figura 64 – IPA _d 1995 para as zonas de influência da faixa de dutos.....	168
Figura 65 – IPA _d 2005 para as zonas de influência da faixa de dutos.....	168
Figura 66 – IPA _d 1986 para as regiões de interesse da faixa de dutos	172
Figura 67 – IPA _d 1995 para as regiões de interesse da faixa de dutos	173
Figura 68 – IPA _d 2005 para as regiões de interesse da faixa de dutos	174
Figura 69 – Variação IPA _d 1986-2005 para as regiões de interesse.....	175

LISTA TABELAS

Tabela 1 - Hierarquização das unidades morfoestruturais, morfoesculturais e geomorfológicas presentes na área de estudo.....	21
Tabela 2 – Dados populacionais dos municípios.....	36
Tabela 3 – Dados econômicos dos municípios.....	36
Tabela 4 – População residente na região metropolitana e municípios de 1940 a 2000	36
Tabela 5 – Matriz de transporte de cargas no Brasil	41
Tabela 6 - Distribuição das causas dos acidentes com dutos, no período de 1980 a 2006, no estado de São Paulo	44
Tabela 7 – Parâmetros de calibração do sensor TM -5.....	54
Tabela 8 – Irradiância solar média para o sensor TM-5	55
Tabela 9 – Distância terra-sol em unidades astronômicas.....	55
Tabela 10 – Matriz de auto-vetores	71
Tabela 11 – Exemplo de matriz de correlação	71
Tabela 12 – Componentes principais e porcentagem da informação	72
Tabela 13 – Coeficientes TC para transformação de imagem TM-5	73
Tabela 14 – Sistema de classificação de uso e ocupação da terra.	76
Tabela 15 – Relação de imagens adquiridas.....	83
Tabela 16 – Relação de mapas e outros dados espaciais adquiridos	83
Tabela 17 – Relação de cartas topográficas adquiridas	83
Tabela 18 – Visão geral das classes através das amostras, chave de interpretação, estatísticas descritivas e resultados das classificações.....	92
Tabela 19 – Número de amostras verdade adquiridas para validação das classificações	94
Tabela 20 – Escala Kappa de concordância nominal	94
Tabela 21 – Pressão antrópica das classes de uso e ocupação da terra	96
Tabela 22 – Classificação do IPA _d	98
Tabela 23 – Número de amostras adquiridas no experimento 4.....	105

Tabela 24 – Área total relativa das classes para as imagens classificadas	113
Tabela 25 – Área total relativa das classes para as imagens diferença.....	113
Tabela 26 – Área total relativa das classes de sistemas de relevo	117
Tabela 27 – Caracterização das zonas de influência da faixa de dutos	118
Tabela 28 – Acerto geral e coeficiente Kappa das classificações	121
Tabela 29 - Área total relativa das classes para área total dos municípios.....	123
Tabela 30 – Crescimento relativos das classes	123
Tabela 31 - Área total relativa das classes para os municípios	131
Tabela 32 – Crescimento relativos das classes	131
Tabela 33 - Área total relativa das classes para os municípios	135
Tabela 34 – Crescimento relativos das classes	135
Tabela 35 - Área total relativa das classes para os municípios	138
Tabela 36 – Crescimento relativos da área das classes	140
Tabela 37 – Relação entre as classes de mudança (1986 e 1995) e as classes de uso e ocupação da terra (1986)	140
Tabela 38 – Relação entre as classes de mudança (1995 e 2005) e as classes de uso e ocupação da terra (1995)	141
Tabela 39 – Proporção de mudança e não mudança para os sistemas de relevo.....	145
Tabela 40 – IPA_d das unidades dos sistemas de relevo	157
Tabela 41 – Proporção de mudança e não mudança para as zonas de influência.....	159
Tabela 42 – IPA_d das zonas de influência da faixa de dutos	169
Tabela 43 – IPA_d das regiões de interesse da faixa de dutos.....	176

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	13
2- OBJETIVO	16
3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
3.1 – Contexto Geológico.....	17
3.1.1 - Depósitos flúvio-lagunares	18
3.1.2 - Suíte do Tinguá	19
3.1.3 - Serra do Mendanha	19
3.1.4 - Maciço Canaã.....	19
3.1.5 - Unidade Serra dos Órgãos.....	19
3.1.6 - Unidade Santo Aleixo	19
3.1.7 - Unidade Rio Negro	19
3.1.8 - Unidade São Fidélis	20
3.2 – Geomorfologia.....	21
3.2.1 - Cinturão Orogênico do Atlântico	22
3.2.1.1 - Unidade Morfoescultural Maciços Alcalinos	22
3.2.1.2 - Unidade Morfoescultural Escarpas Serranas.....	23
3.2.1.3 - Unidade Morfoescultural Planaltos residuais	24
3.2.2 - Unidade Morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozóicas	25
3.2.2.1 - Unidade Morfoescultural Planícies Flúvio-marinhas (baixadas)	25
3.2.3 – Sistemas de relevo	26
3.2.3.1 - Continentais.....	26
3.2.3.2 - Planícies colúvio-alúvio-marinhas	27
3.2.3.3 - Planícies flúvio-marinhas	27
3.2.3.4 - Colinas isoladas.....	27
3.2.3.5 - Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos	27
3.2.3.6 - Maciços intrusivos alcalinos	28
3.2.3.7 - Escarpas serranas	28
3.3 – Clima e pluviosidade	29

3.4 –Unidades Geoambientais.....	31
3.4.1 - Planícies flúvio-marinhas ou mangues (1).....	31
3.4.2 - Planícies flúvio-lagunares ou brejos (2).....	32
3.4.3 - Baixadas (3)	32
3.4.4 - Planícies fluviais ou várzea (4)	32
3.4.5 - Colinas isoladas (5a/5b)	32
3.4.6 - Morrotes e morros baixos (6).....	33
3.4.7 - Maciços alcalinos (7a/7b)	33
3.4.8 - Escarpas serranas (8a/8b/8c/8d).....	33
3.4.9 –Vegetação natural e de uso e ocupação	34
3.5 - Aspectos socioeconômicos.....	36
4 – FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	41
4.1 - Dutos.....	41
4.1.1 - Contexto das faixas de dutos.....	41
4.1.2 - Faixa de dutos Rio – Belo Horizonte	45
4.2 – Estudo do meio físico e antrópico.....	47
4.3 - Técnicas de detecção de mudanças	49
4.4 – Sistemas de Informação Geográficos - SIG.....	52
4.5 – Processamento digital de imagem	53
4.5.1 - Correção Radiométrica	53
4.5.1.1 - Radiância.....	54
4.5.1.2 - Reflectância aparente.....	54
4.5.1.3 - Reflectância de superfície.....	55
4.5.1.4 - Reflectância em superfície.....	56
4.5.2 - Classificação de imagem.....	58
4.5.2.1 - Classificação supervisionada	59
4.5.2.2 - Classificação não supervisionada	62
4.5.2.3 – Classificação orientada ao objeto	65

4.5.3 - Índices de Vegetação	68
4.5.4 - Principais Componentes - PCA.....	70
4.5.5 - Tasseled-Cap componentes.....	73
4.6 - Metodologias para mapas de uso e ocupação da terra	74
4.7 – Pressão antrópica.....	79
5 – MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA	80
5.1 - Aquisição dos dados	83
5.2 - Pré-processamento das imagens	85
5.3 - Experimento 1.....	86
5.4 – Classificação de imagens para uso e ocupação da terra.	88
5.4.1 – Ferramentas para classificação	88
5.4.2 – Escala de trabalho.....	89
5.4.3 – Classes de uso e ocupação da terra.....	90
5.4.4 – Ferramentas para validação e análise da classificação	94
5.5 – Índice de pressão antrópica às faixas de dutos – IPA_d.....	96
5.6 – Atualização do mapa de sistemas de relevo.....	99
5.7 – Mapa de zonas de influência da faixa de dutos.....	100
5.8 – Mapa de regiões de interesse	101
5.9 - Experimento 2.....	102
5.10 - Experimento 3.....	103
5.11 - Experimento 4.....	104
5.12 – Análise do uso e ocupação da terra e de mudanças.....	106
5.12.1 – Mapa uso e ocupação da terra e mapa de mudanças	106
5.12.2 – Uso e ocupação segundo os sistemas de relevo, zonas de influência e regiões de interesse da faixa de dutos.....	108
6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	109

6.1. - Experimento 1.....	109
6.2 – Mapa de sistemas de relevo atualizado.....	116
6.3 – Mapa de zonas de influência da faixa de dutos.....	118
6.4 – Mapa de regiões de interesse	119
6.5 – Classificações de imagens para uso e ocupação da terra	121
6.6 - Experimento 2.....	122
6.7 - Experimento 3.....	131
6.8 - Experimento 4.....	134
6.9 – Análises do uso e ocupação da terra e das mudanças	138
6.9.1 – Mapa de uso e ocupação da terra.....	138
6.9.2 Mapa de mudanças	140
6.9.3 – Relação entre sistemas de relevo, classes uso e ocupação da terra e classes de mudança.....	145
6.9.5 – Relação entre zonas de influência da faixa de dutos, classes de uso e ocupação da terra e classes de mudança.....	159
6.9.6 – Relação entre regiões de interesse da faixa de dutos, classes de uso e ocupação da terra e classes de mudança.....	170
7 - CONCLUSÃO	178
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179

1- INTRODUÇÃO

Faixa de dutos são obras lineares muito superficiais, que envolvem quase sempre apenas o horizonte de solo e a rocha decomposta. Em um país de grande extensão territorial como o Brasil, este aspecto adquire maior relevância, sendo comum os traçados com muitas centenas e até milhares de quilômetros, que atravessam regiões de grande diversidade morfológica, rios, ambientes marinhos costeiros e regiões metropolitanas. Ainda é muito importante considerar a diversidade geológica encontrada, pois, em geral, são interceptadas diferentes formações, com os tipos de solos e condições hidrogeológicas e fenomenológicas a elas associados (NOGUEIRA.JUNIOR e MARQUES, 1998).

A partir do momento em que a faixa de duto é instalada, passa a sofrer influência do ambiente e também a causar impactos sobre o mesmo. De acordo com CETESB (2009), grande parte dos acidentes envolvendo vazamento de dutos no estado de São Paulo, Europa e Estados Unidos estão relacionados a falhas operacionais, no entanto, uma parcela significativa é causada pela ação de terceiros, ou seja, pessoas sem qualquer relação com os dutos, sendo em grande parte atos de vandalismo. Já os acidentes causados por ação do meio físico, como eventos associados à erosão, deslizamentos de terra ou movimentação do solo, ocorrem com menor frequência.

Segundo Carvalho e Riedel (2004), os acidentes ocorridos nos últimos anos com vazamentos em dutos, geraram interesse por pesquisas que envolvem sua integridade e confiabilidade e, conseqüentemente, por estudos dos meios físico e antrópico que venham a auxiliar no aumento da segurança. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar as pressões do uso e ocupação da terra sobre trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte, localizados nos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu no período de 1986 a 2005, através de técnicas de geoprocessamento.

Para identificar e avaliar as pressões do meio antrópico sobre a faixa de dutos foram utilizados dados multitemporais e um conjunto de técnicas, denominadas como técnicas de detecção de mudanças. Detecção de mudanças é o processo de identificar diferenças no estado de um objeto ou fenômeno qualquer através da observação em diferentes espaços de tempo (Singh 1989). As técnicas diferenciam-se principalmente no que tange à sua capacidade de quantificar as mudanças: muitas apenas proporcionam a localização das áreas que mudaram e das que permaneceram iguais, outras, no entanto, podem determinar a direção de tais mudanças.

Através do estudo e dos experimentos realizados com as técnicas de detecção de mudanças, concluiu-se que, para o estudo da pressão antrópica sobre a faixa de dutos, era necessário elaborar mapas de uso e ocupação da terra e de suas mudanças. A técnica de detecção de mudança que melhor atendeu esta necessidade foi a de diferença de imagens classificadas.

Para relacionar os mapas de uso e ocupação da terra e de mudanças com o problema da pressão antrópica sobre a faixa de dutos, foi proposto a utilização de áreas e zonas de análises (sistemas de relevo, zonas de influência da faixa de dutos e regiões de interesse da faixa de dutos) e de um índice de pressão antrópica às faixas de dutos – IPA_d , sendo este uma medida de proporção de área entre as classes de uso e ocupação da terra acrescido da ponderação da pressão antrópica às faixas de dutos considerada para cada uma das classes.

A área de estudo foi selecionada no entorno de uma faixa de duto que se estende de Duque de Caxias (RJ) à Betim (MG) (figura 1A). Esta faixa é compartilhada por diversas linhas de duto, destacando-se o ORBEL I, ORBEL II e GASBEL. Os produtos transportados por essas linhas são gás natural, petróleo bruto e seus derivados como gasolina, diesel, nafta, etc (PETROBRAS, 2006).

Os municípios apresentam as áreas urbanas localizadas na periferia intermediária e distante da região metropolitana do Rio de Janeiro (ABREU, 1987), próxima à REDUC – Refinaria Duque de Caxias. Nesta área, a faixa se inicia nos reservatórios próximos à refinaria e cruza áreas urbanas ainda pouco consolidadas, seguindo em direção a Serra do Mar. A existência de uma região metropolitana gera uma dinâmica acelerada de mudanças de uso da terra, sendo assim, de extrema relevância o estudo das pressões antrópicas sobre a faixa.

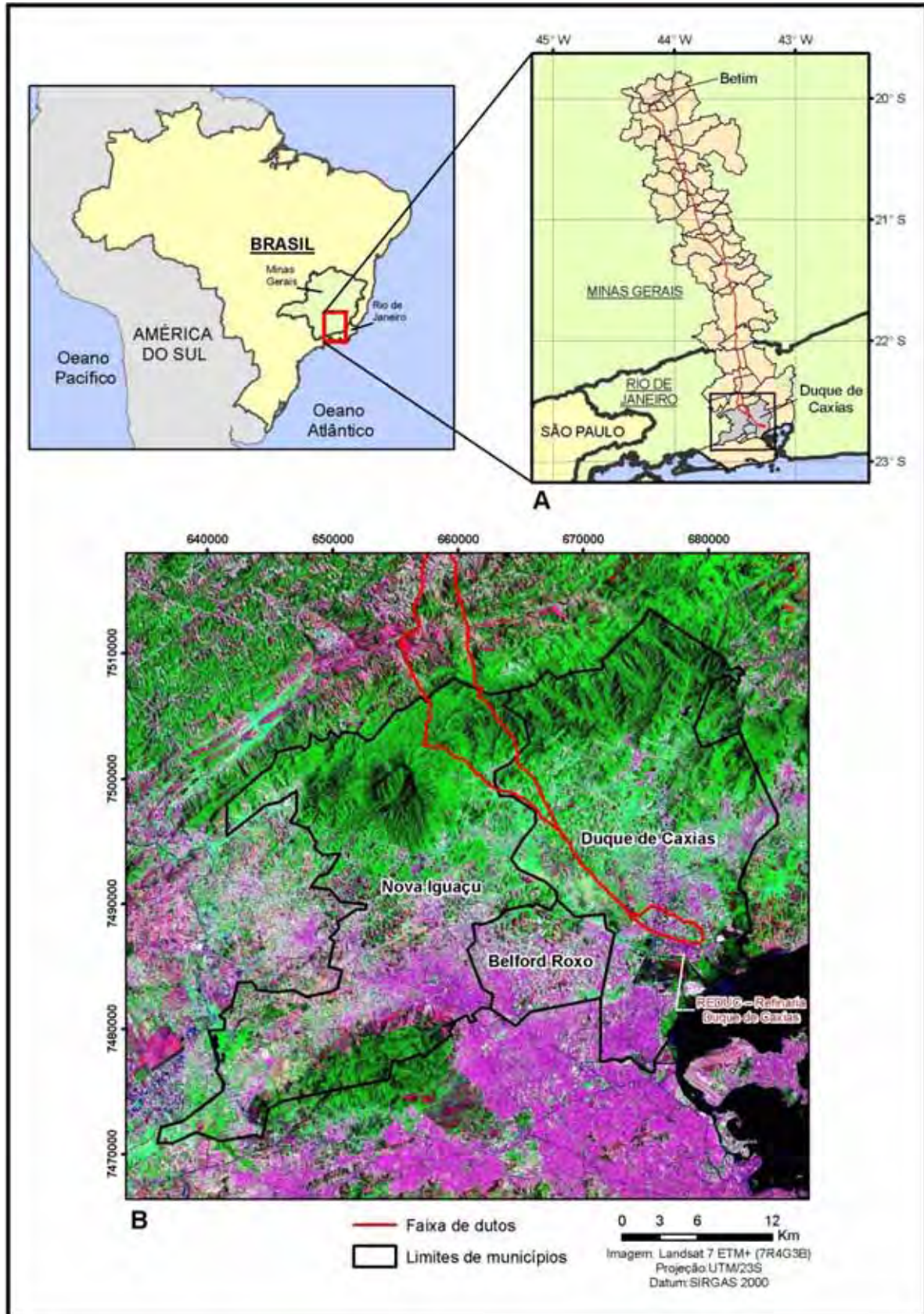


Figura 1 - Área de Estudo. A – localização da faixa de dutos. B – área selecionada

2- OBJETIVO

Analisar as pressões do uso e ocupação da terra sobre trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte, localizados nos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu no período de 1986 a 2005, através de técnicas de geoprocessamento.

Objetivos específicos

- (a) - Avaliar técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento do uso e ocupação da terra para os anos 1986, 1995 e 2005;
- (b) - Avaliar os diferentes métodos e algoritmos de classificação digital de imagem de média resolução espacial, com a finalidade de selecionar o mais adequado para discriminação de diferentes tipos de uso e ocupação da terra;
- (c) - Propor um índice de pressão antrópica às faixas de dutos;
- (d) - Analisar a relação entre as classes de uso e ocupação da terra com os sistemas de relevo e a distância dos dutos;
- (e) - Classificar as áreas dos municípios de acordo com o índice de pressão antrópica às faixas de dutos.

3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 – Contexto Geológico

Á área de estudo está completamente inserida na província estrutural da Mantiqueira, conforme a figura 2, sendo uma das províncias estruturais definidas por Almeida et al. (1981).

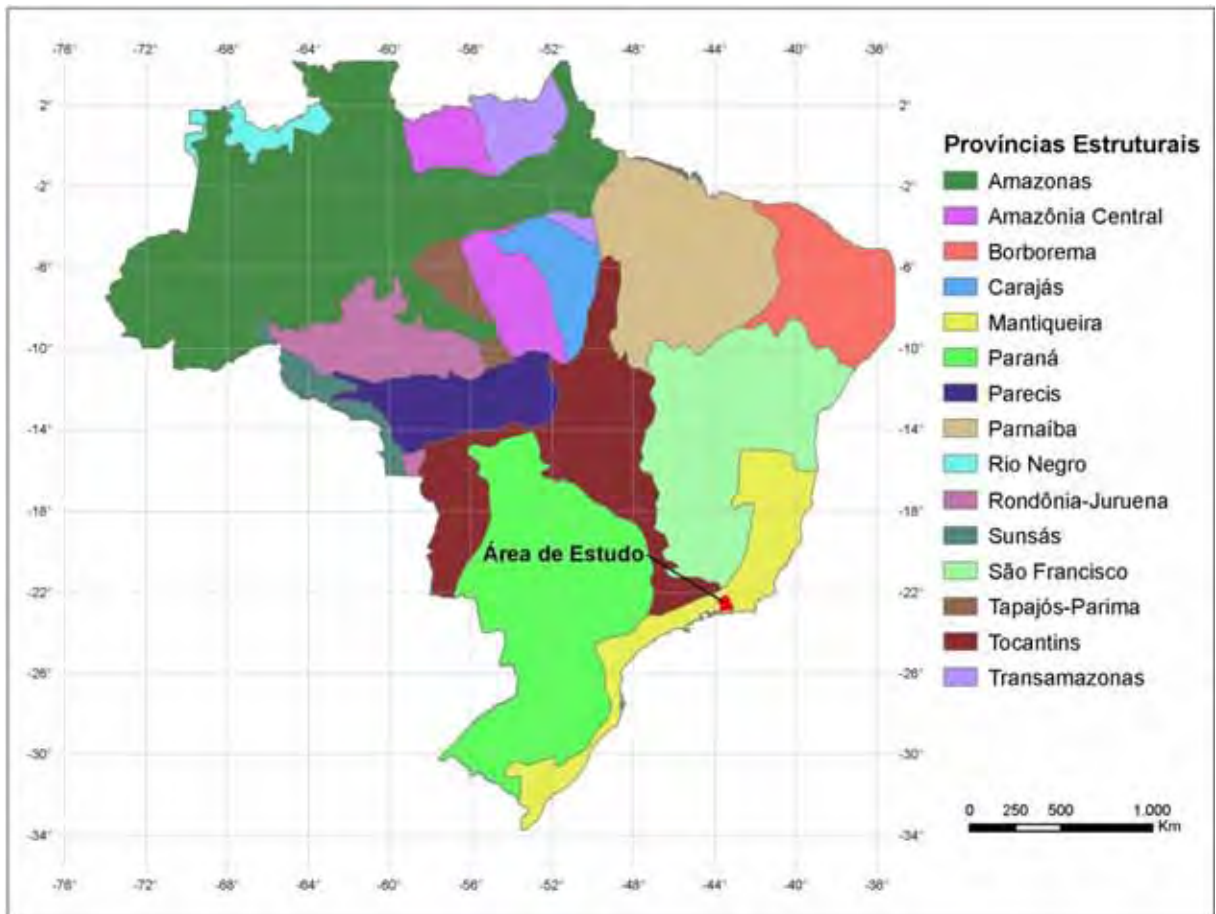


Figura 2 – Províncias estruturais do Brasil. Fonte: Adaptado de Almeida et al. (1981)

Essa província cobre uma extensa área (cerca de 700.000 km²), sendo a mais complexa província estrutural afetada pelo ciclo orogênico Neoproterozóico/Cambriano (Brasiliano) na América do Sul. A província estende-se da latitude 34° S, no Uruguai, até o sul da Bahia, latitude 15° S, por cerca de 3.000 km de extensão e com largura média de 200 km. Está disposta paralelamente à costa brasileira, junto às margens orientais dos crátons Rio de La Plata e São Francisco (CPRM, 2000).

A província Mantiqueira apresenta embasamento arqueano e/ou paleoproterozóico mais velho que 1,7 Ga e está compartimentada pelos segmentos orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel. O estado do Rio de Janeiro está localizado

na porção interna da faixa do Ribeira que constitui uma entidade geotectônica do Neoproterozóico (ALMEIDA et al., 1973). A evolução orogênica desta faixa é considerada por Heilbron et al. (1999) como a mais nova no cenário das colagens brasileiras/pan-africanas do segmento crustal considerado, que foi responsável pela deformação, metamorfismo, magmatismo e articulação dos diversos terrenos.

Todas as considerações realizadas a seguir com relação às unidades litológicas presentes e o mapa litológico da área (figura 3) foram extraídas do Departamento de Recursos Minerais - DRM, (1980); e da Companhia de Recursos Minerais - CPRM, (2000) e (2004).

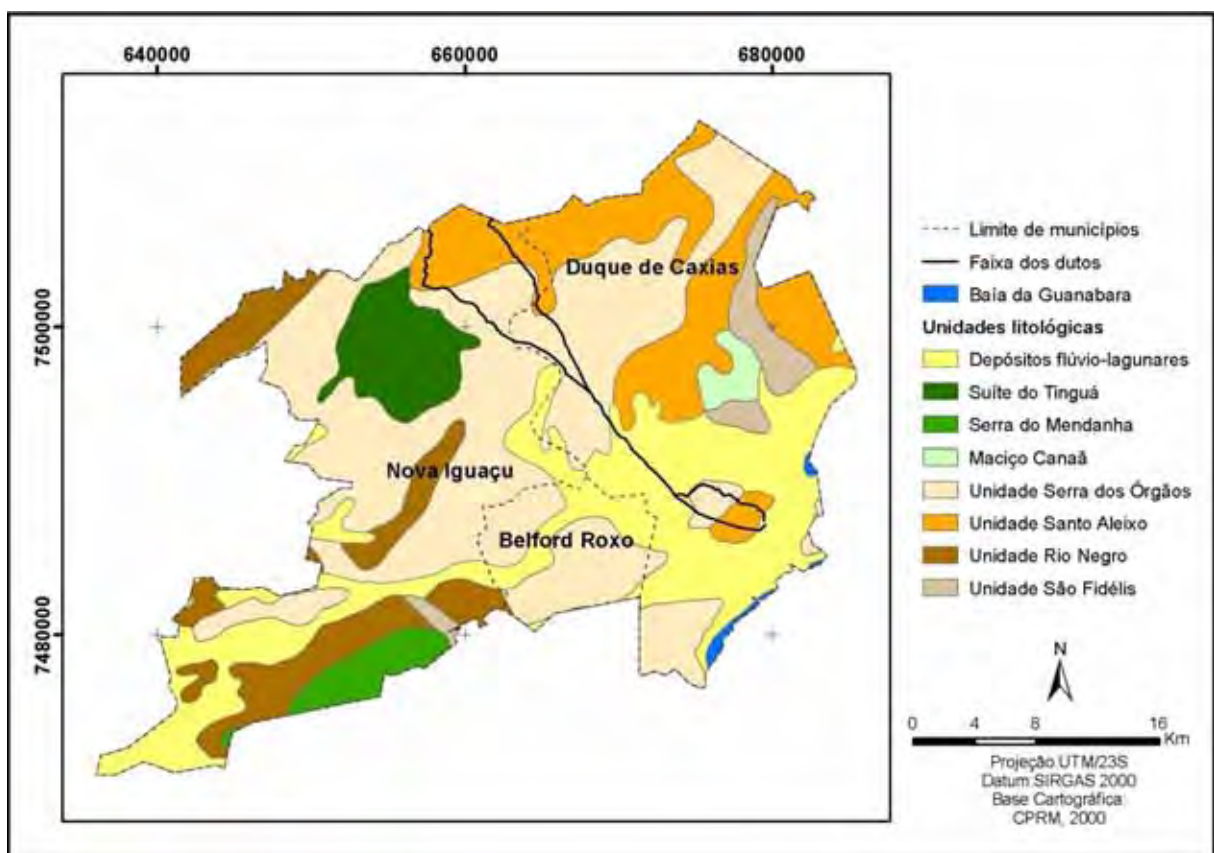


Figura 3 – Unidades litológicas. Fonte: Adaptado de CPRM (2000)

3.1.1 - Depósitos flúvio-lagunares

Trata-se de depósitos recentes, do período quaternário, compostos de argila, rica em matéria orgânica, e concentrações localizadas de diatomita, turfas, localmente portadoras de depósitos conchíferos.

3.1.2 - Suíte do Tinguá

Esta unidade é constituída de rochas alcalinas do período Cretáceo/Terciário composta por nefelina sienitos, fonolitos e brechas, sendo sua idade média de 66 m.a.

3.1.3 - Serra do Mendanha

Constituída de rochas alcalinas do período Cretáceo/Terciário compostas de sienitos, nefelina sienitos e brechas magmáticas tendo idade média de 72 m.a.

3.1.4 - Maciço Canaã

Corresponde a uma suíte alcalina do período Cambriano (Brasiliano III), composta de sienito associado a migmatitos.

3.1.5 - Unidade Serra dos Órgãos

Esta unidade integra a Suíte Serra dos Órgãos, sendo composta por granitóides do período Neoproterozóico (Brasiliano II), constituída de hornblenda-biotita granitóide de granulação grossa e composição de tonalítica a granítica.

3.1.6 - Unidade Santo Aleixo

Composta por granitóides do período Neoproterozóico (Brasiliano II), integra marginalmente a Suíte Serra dos Órgãos, sendo constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragnaisse.

3.1.7 - Unidade Rio Negro

Esta unidade faz parte do Complexo Rio Negro, composta por granitóides do período Neoproterozóico (Brasiliano II), sendo constituídos por ortognaisse bandado, de granulação grossa. Apresenta intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfíbolito) ocorrem localmente.

3.1.8 - Unidade São Fidélis

Esta unidade faz parte do Complexo Paraíba do Sul do período Meso/Neoproterozóico, constituída de granada-biotita-sillimanita gnaiss, com bolsões e veios de composição granítica. É observado intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito são freqüentes. Também ocorrem rochas calcissilicáticas, metacarbonáticas (ca) e quartzitos (qz).

3.2 – Geomorfologia

A área de estudo está inserida dentro de duas grandes unidades morfoestruturais, o Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares Cenozóicas. Observa-se na tabela 1 a proposta da CPRM (2000) de subdivisão das unidades morfoestruturais. A figura 4 ilustra as unidades geomorfológicas presentes na área de estudo.

Tabela 1 - Hierarquização das unidades morfoestruturais, morfoesculturais e geomorfológicas presentes na área de estudo (Adaptado de CPRM, 2000)

Unidades Morfoestruturais	Unidades Morfoesculturais	Unidades Geomorfológicas
Cinturão Orogênico do Atlântico	Maciços Alcalinos Intrusivos	Maciço do Tinguá
		Maciço do Mendanha
	Escarpas Serranas	Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos
	Planaltos Residuais	Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos
Bacias Sedimentares Cenozóicas (2)	Planícies Fluvioamarinhas (Baixadas)	Baixadas da Baías de Guanabara

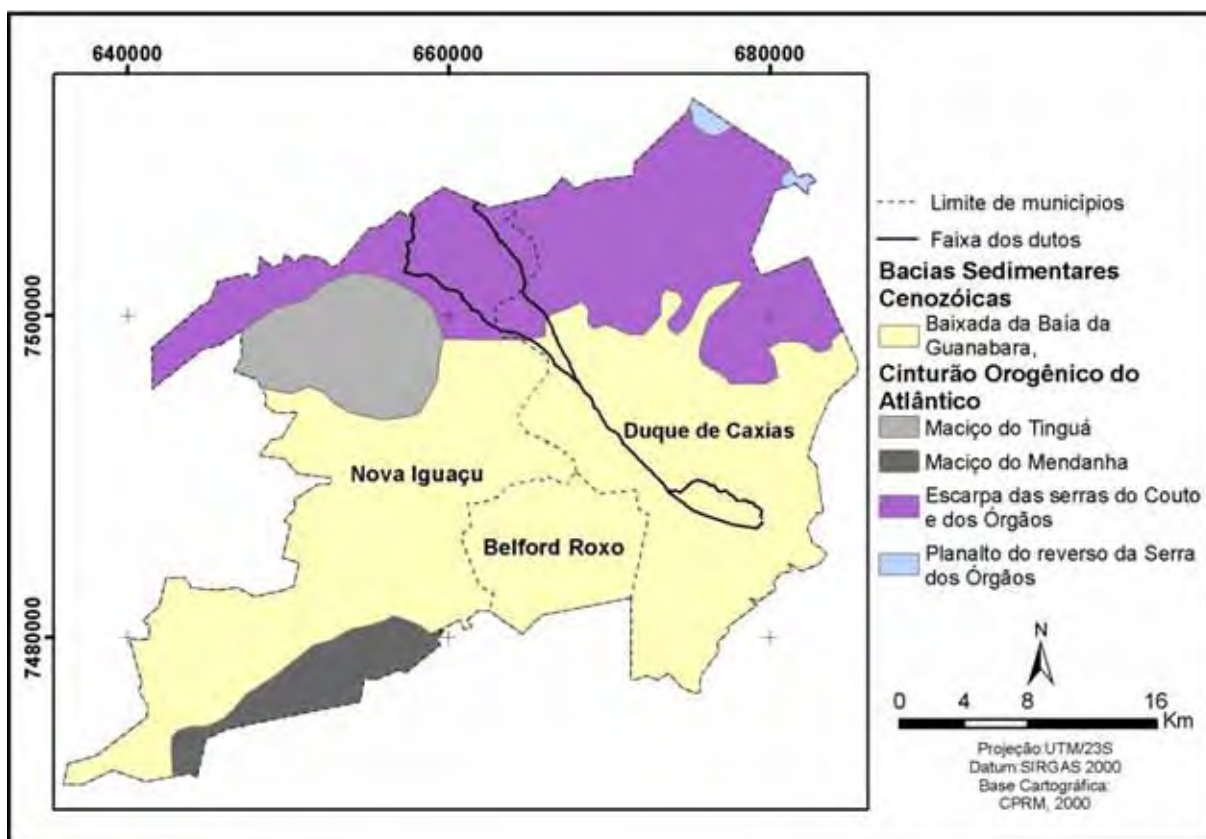


Figura 4 – Unidades geomorfológicas. Fonte: Adaptado de CPRM (2000)

3.2.1 - Cinturão Orogênico do Atlântico

O Cinturão Orogênico do Atlântico, também denominado Escudo Atlântico, representa uma das importantes feições geotectônicas da fachada atlântica brasileira, estendendo-se de Santa Catarina até o norte da Bahia. É composto por diversas faixas de dobramento, dentre as quais se destaca a Faixa de Dobramentos Ribeira, que abrange todo o estado do Rio de Janeiro. Esse cinturão constitui-se em um conjunto diversificado de rochas graníticas e gnáissicas, submetidas a diversos eventos orogenéticos ao longo do Pré-Cambriano (ALMEIDA ; HASUI e NEVES, 1976; HEILBRON et al., 1995). Na área de estudo essa unidade apresenta três divisões: Maciços Alcalinos Intrusivos, Escarpas Serranas e Planaltos Residuais.

3.2.1.1 - Unidade Morfoescultural Maciços Alcalinos

A Unidade Morfoescultural Maciços Alcalinos compreende um conjunto de maciços montanhosos de rochas alcalinas geradas em um período de atividade vulcânica entre o final do Cretáceo e o início do Terciário, decorrente da abertura do oceano Atlântico (ALMEIDA, 1976). Esse magmatismo gerou uma série de corpos alcalinos que intrudiram o embasamento cristalino de idade pré-cambriana, compondo o alinhamento magmático de Cabo Frio (ALMEIDA, 1992). No estado do Rio de Janeiro, esse alinhamento estende-se do Maciço do Itatiaia à Ilha de Cabo Frio. Esses maciços intrusivos têm, em geral, uma forma dômica, muitas vezes assemelhando-se a vulcões extintos, parcialmente ou bastante erodidos, demonstrando uma drenagem radial e centrífuga. Frequentemente, a base desses maciços intrusivos é constituída de rochas cristalinas encaixantes. São constituídos por blocos montanhosos escarpados, apresentando vertentes íngremes, freqüentemente recobertas por colúvios e depósitos de tálus. Os gradientes são de elevados a muito elevados e os topos são aguçados, arredondados ou em cristas anelares. Apresentam altas densidades de drenagem e o padrão de drenagem é radial e centrífugo à dendrítico.

Na área de estudo, o Maciço do Tinguá e o Maciço do Medanha compõe essa unidade morfoestrutural.

O Maciço do Tinguá consiste em um corpo montanhoso imponente, com formato dômico bem definido, bastante elevado (1.600m de altitude), destacando-se topograficamente na escarpa da Serra do Mar, junto à Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Atua como zona dispersora de águas entre as bacias das Baías de Guanabara e de Sepetiba, alojando as

nascentes de importantes drenagens dessas bacias, tais como os rios Iguaçu e Tinguá, que drenam para a Baía de Guanabara, e rios Douro e Santo Antônio, que drenam para a Baía de Sepetiba. Em seu topo, ressaltam cristas de estruturas anelares, sugerindo o rebordo de uma antiga cratera vulcânica. Esse rebordo está erodido apenas em sua porção sudoeste pelas cabeceiras de drenagem do rio Douro. A face sul do Maciço do Tinguá forma um escarpamento íngreme e imponente em direção às baixadas litorâneas (CPRM, 2000).

O Maciço do Medanha consiste em um corpo montanhoso intrusivo isolado, com formato dômico, alongado, atingindo altitudes superiores a 800m e delimita-se abruptamente com as baixadas flúvio-marinhas e elevações isoladas. Apresenta cristas paralelas e padrão de drenagem dendrítico a retangular, condicionado pela rede de fraturamento. Atua como zona dispersora de águas entre a zona oeste do município do Rio de Janeiro e a Baixada Fluminense, alojando as nascentes de importantes tributários das bacias dos rios Guandu e Cabuçu, que drenam para a baía de Sepetiba, e dos rios Sarapuí e Iguaçu, que drenam para a Baía de Guanabara (CPRM, 2000).

3.2.1.2 - Unidade Morfoescultural Escarpas Serranas

A Unidade Morfoescultural Escarpas Serranas compreende um conjunto de escarpas montanhosas festonadas, compostas pelas serras do Mar e da Mantiqueira. As escarpas serranas apresentam, em geral, desnivelamentos extremamente elevados, por vezes, superiores a 2.000m com vertentes muito íngremes e rochosas. As configurações morfológicas das escarpas são bastante diversificadas, causadas principalmente por condicionantes lito-estruturais. Assim sendo, pode-se observar tanto uma muralha montanhosa imponente, quanto um degrau escarpado mais degradado devido à ação diferencial dos processos tectônicos e erosivos durante todo o Cenozóico. As vertentes se apresentam íngremes, por vezes rochosas, freqüentemente recobertas por depósitos de tálus e colúvios. Os gradientes são muito elevados e os topos aguçados ou em cristas alinhadas. A densidade drenagem é muito alta e o padrão de drenagem é, geralmente, dendrítico a paralelo ou retangular (CPRM, 2000).

Na área de estudo a Escarpa das Serras do Couto e dos Órgãos compõe essa unidade morfoestrutural.

A Escarpa das Serras do Couto e dos Órgãos consiste em uma muralha montanhosa, que delimita o recôncavo da bacia da Baía de Guanabara. Nos topos mais

elevados da Serra dos Órgãos, entre Petrópolis e Teresópolis, salienta-se uma estreita superfície rochosa ou com solos muito rasos, dominada por campos de altitude e relevo praticamente plano, bruscamente delimitado por paredões subverticais, tanto voltados para a Baía de Guanabara, quanto para o continente. Esse planalto elevado, alçado a mais de 2.000m de altitude, contrasta com o relevo extremamente acidentado das escarpas serranas, caracterizado por vertentes muito íngremes e topos aguçados associou esse planalto elevado a um remanescente de uma antiga superfície de erosão, denominada Superfície dos Campos, cuja idade seria anterior à abertura do oceano Atlântico (CPRM, 2000).

3.2.1.3 - Unidade Morfoescultural Planaltos residuais

A Unidade Morfoescultural Planaltos Residuais representa os terrenos montanhosos e amorreados, de amplitude de relevo elevada, localizados, em geral, no reverso das escarpas serranas. Ocorrem, subordinadamente, compartimentos colinosos no interior da zona planáltica. Trata-se de superfícies residuais, soerguidas por tectônica, e que resistiram aos processos erosivos e de aplainamento atuantes durante o Cenozóico Superior, configurando-se, portanto, nos terrenos mais elevados no estado do Rio de Janeiro. Esses planaltos residuais associam-se a superfícies de erosão mais antigas que as que modelaram as depressões interplanálticas ou as superfícies aplainadas junto às baixadas litorâneas. Caracterizam-se por relevos colinosos de baixa amplitude de relevo, alternados com tipos de relevos mais movimentados com morros mais elevados, degraus estruturais ou zonas montanhosas que se sobressaem em relação à superfície colinosa regional. Apresentam vertentes de gradientes suaves a médios, ou elevados, nas áreas de relevo acidentado, freqüentemente recobertas por colúvios. Possuem densidade de drenagem alta e padrão dendrítico a treliça (CPRM, 2000).

Na área de estudo o Planalto Reverso da Serra dos Órgãos compõe essa unidade morfoestrutural.

O Planalto Reverso da Serra dos Órgãos trata-se de uma das mais importantes unidades geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro. Esse extenso planalto situa-se no reverso da Serra do Mar.

3.2.2 - Unidade Morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozóicas

A Unidade Morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozóicas representa uma das mais importantes feições geotectônicas resultantes da tectônica extensional pós-cretácica no sudeste brasileiro. Compreende um conjunto de bacias tafrogênicas continentais: Bacia de Curitiba (PR); bacias de São Paulo e Taubaté (SP); bacias de Resende, Volta Redonda, Macacu e Itaboraí (RJ). Essas bacias, de idade terciária (Paleoceno ao Oligoceno), foram denominadas “Sistema de *Rifts* da Serra do Mar” por Almeida (1976) ou “Sistema de *Rifts* Continentais do Sudeste do Brasil” por Riccomini (1989).

A área de estudo apresenta apenas o domínio Planícies Flúvio-Marinhas (Baixadas) é inserido neste domínio.

3.2.2.1 - Unidade Morfoescultural Planícies Flúvio-marinhas (baixadas)

Essa unidade morfoescultural compreende um conjunto de baixadas aluviais, planícies flúvio-marinhas e flúvio-lagunares, que preenchem extensas áreas deprimidas localizadas próximo ao litoral, tais como as baixadas de Sepetiba, da Guanabara e Campista. Também compreendem os baixos cursos dos principais canais que deságuam diretamente no oceano, como os rios São João, Macaé e Itabapoana. Essas baixadas são caracterizadas por uma sedimentação de interface entre ambientes continentais e marinhos ou transicionais (CPRM, 2000).

Na área de estudo a Unidade Baixadas da Baía da Guanabara compõe essa unidade morfoescultural, e consistem em importantes áreas de acumulação flúvio-marinha que preenchem o recôncavo dessa baía. Resultam de uma sucessão de eventos de regressão e transgressão do nível relativo do mar que modelaram sua morfologia original e que, posteriormente, foi modificada pela intervenção humana (AMADOR e AMADOR, 1995).

3.2.3 – Sistemas de relevo

Segundo Ponçano et al. (1979), o mapeamento de sistemas de relevo baseia-se em distinguir, em uma região, áreas cujos atributos físicos sejam distintos das áreas adjacentes. Para compor o estudo geomorfológico do estado do Rio de Janeiro, a CPRM (2000) analisou as unidades morfoesculturais segundo sistemas de relevo predominantes e subordinados. A figura 5 ilustra os sistemas de relevo presentes na área de estudo. Este mapa foi posteriormente detalhado e adaptado para o desenvolvimento do trabalho

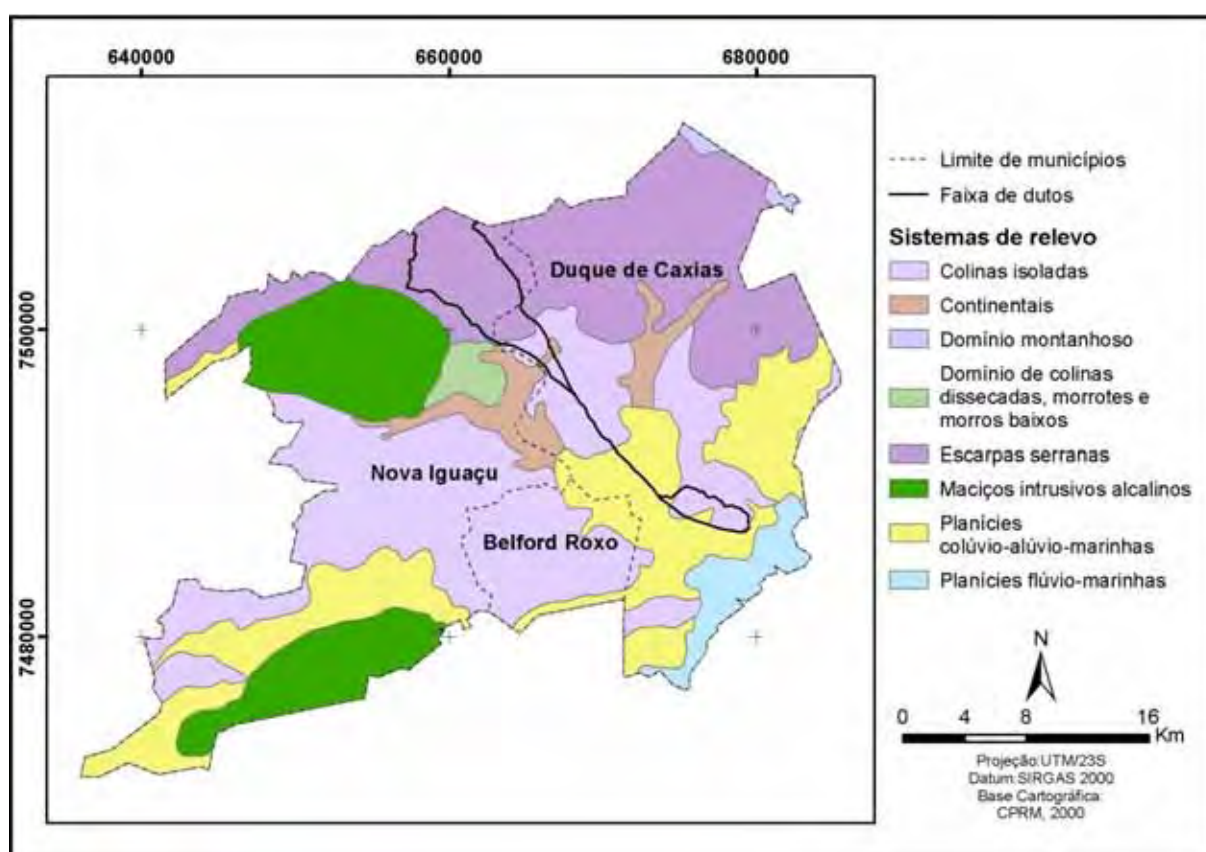


Figura 5 – Sistemas de relevo. Fonte Adaptado de CPRM (2000)

Todas as considerações realizadas a seguir, em relação aos sistemas de relevo, foram extraídas da CPRM, (2000).

3.2.3.1 - Continentais

O sistema de relevo Continentais é constituído de planícies aluviais de inundação, terraços fluviais e leques alúvio-coluviais. Apresenta superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos canais-tronco.

3.2.3.2 - Planícies colúvio-alúvio-marinhas

O sistema de relevo Planícies colúvio-alúvio-marinha é constituído de terrenos argilo-arenosos das baixadas. Apresenta superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os sistemas deposicionais continentais (processos fluviais e de encosta) e marinhos. Os terrenos são mal drenados com padrão de canais meandrante. Existe a presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das Baixadas.

3.2.3.3 - Planícies flúvio-marinhas

As Planícies flúvio-marinhas são constituídas de terrenos argilosos orgânicos de fundo de baías ou enseadas, ou deltas dominados por maré. Apresentam superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos. Os terrenos são muito mal drenados com padrão de canais bastante meandrantés, sob influência de refluxo de marés.

3.2.3.4 - Colinas isoladas

O sistema de relevo Colinas isoladas é constituído de formas de relevo residuais, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Apresenta densidade de drenagem muito baixa com padrão dendrítico, drenagem imperfeita nos fundos de vales afogados e predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100m e gradientes suaves.

3.2.3.5 - Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos

Este sistema de relevo é constituído por colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Apresenta densidade de drenagem média a alta com padrão variável, de dendrítico a treliça ou retangular e o predomínio de amplitudes topográficas entre 100 e 200m e gradientes suaves a médios.

3.2.3.6 - Maciços intrusivos alcalinos

Este sistema é constituído de relevos dômicos sustentados por maciços alcalinos, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas, com topos arredondados, por vezes, preservando uma borda circular (cratera vulcânica erodida). Apresenta densidade de drenagem alta com padrão radial ou anelar, com predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes elevados a muito elevados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus e solos rasos.

3.2.3.7 - Escarpas serranas

As Escarpas serranas são constituídas de relevos montanhosos, extremamente acidentados, transicional entre dois sistemas de relevo. As vertentes são predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Apresentam densidade de drenagem muito alta com padrão variável, de paralelo a dendrítico, ou treliça a retangular, com predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus.

3.3 – Clima e pluviosidade

Segundo Strahler (1975) e Koeppen (1948) o clima do litoral entre as latitudes de 10° e 25° é regulado por massas de ar equatoriais e tropicais. Os ventos alísios trazem massas de ar tropicais marítimas (mT) dos lados ocidentais úmidos das células subtropicais oceânicas de alta pressão, dando origem a estreitas zonas nas costas orientais com fortes chuvas e temperaturas uniformemente altas. As chuvas mostram uma forte variação estacional.

Segundo a classificação de Strahler (1975) o que predomina na área é o tipo climático um (1), ou seja, "clima equatorial úmido da área de convergência dos alísios e/ou convergência de massas tropicais marítimas e equatoriais". Para classificação de Koeppen (1948) o clima da área é Af significando A, temperatura média anual sempre superior a 22° e f, sem estação seca.

Na área de estudo há um período de chuvas bem definido (verão), alternado com um período de baixo índice de pluviosidade (inverno). Durante o verão, as frentes frias que se originam na região antártica cruzam o Oceano Atlântico sul, e se deparam com as massas tropicais de ar quente. Esse encontro gera uma instabilidade atmosférica que, associada ao relevo escarpado, forma uma barreira natural para as correntes de ar e tem como consequência, chuvas torrenciais (GUIDICINI e IWASA, 1976).

O posicionamento das escarpas das serras do Mar e da Mantiqueira, opondo-se frontalmente à direção dos ventos das correntes de circulação atmosférica, gera um aumento das precipitações na proporção direta do aumento da altitude. Muitas vezes, enquanto na Baixada Litorânea e no vale do Paraíba do Sul as chuvas são insignificantes, e até mesmo inexistentes, em largos trechos dessas serras se verifica pluviosidade elevada (CPRM, 2000).

Os índices pluviométricos mais elevados do estado são registrados na Serra do Mar, de 2000mm a 4500mm, pois a maior parte das precipitações estão relacionadas à instabilidades frontais e pós-frontais, sendo assim, a Serra do Mar é sempre a primeira a ser atingidas pelas correntes de origem subpolar. Em função desta dinâmica, a Serra da Mantiqueira registra pluviosidade um pouco menor, em média de 2.000 a 2.500mm de chuva durante o ano (CPRM, 2000).

Em contraste ao cenário de grande pluviosidade, aparece o Vale do Paraíba. A subtração de umidade do ar realizada pelas serras da Mantiqueira e do Mar, tornam essa

depressão topográfica bem menos úmida e chuvosa. A pluviometria anual registrada nessa região varia de 750mm a 1.000mm (CPRM, 2000).

Especificamente nos municípios selecionados, a pluviosidade média anual varia de 1200mm a 2200mm. Através das isoietas de médias anuais e do mapa altimétrico, ilustrados na figura 6, é possível notar a relação direta da pluviosidade com a variação da altitude.

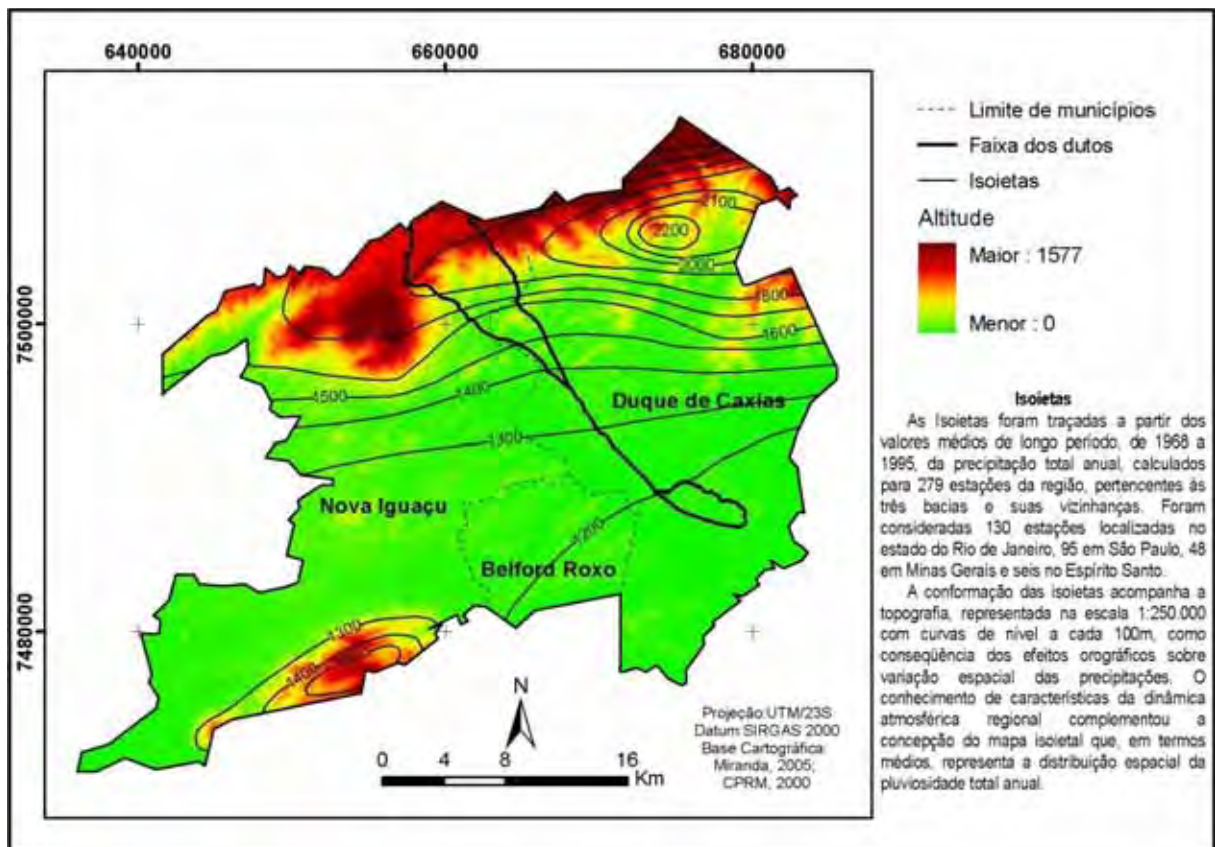


Figura 6 – Mapa altimétrico e isoietas. Fonte: Adaptado de CPRM (2000) e Miranda (2005)

3.4 – Unidades Geoambientais

A área de estudo está localizada segundo o IBGE (2004) no bioma da Mata Atlântica. De acordo com o projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1983), a área está inserida no domínio vegetacional denominado de Floresta Ombrófila Densa, caracterizada pelos índices pluviométricos mais elevados da região litorânea, com precipitação bem distribuída durante todo o ano, determinando um clima sem período seco.

Para caracterizar a vegetação natural e o uso e ocupação atual será utilizado o mapa Geoambiental obtido do Projeto Rio (CPRM, 2000), que se utilizou da geologia e geomorfologia para delimitar grandes domínios geoambientais e da morfologia do terreno, solo, vegetação original, uso da terra e precipitação para subdividir os domínios em unidades geoambientais. A figura 7 apresenta o mapa das unidades geoambientais.

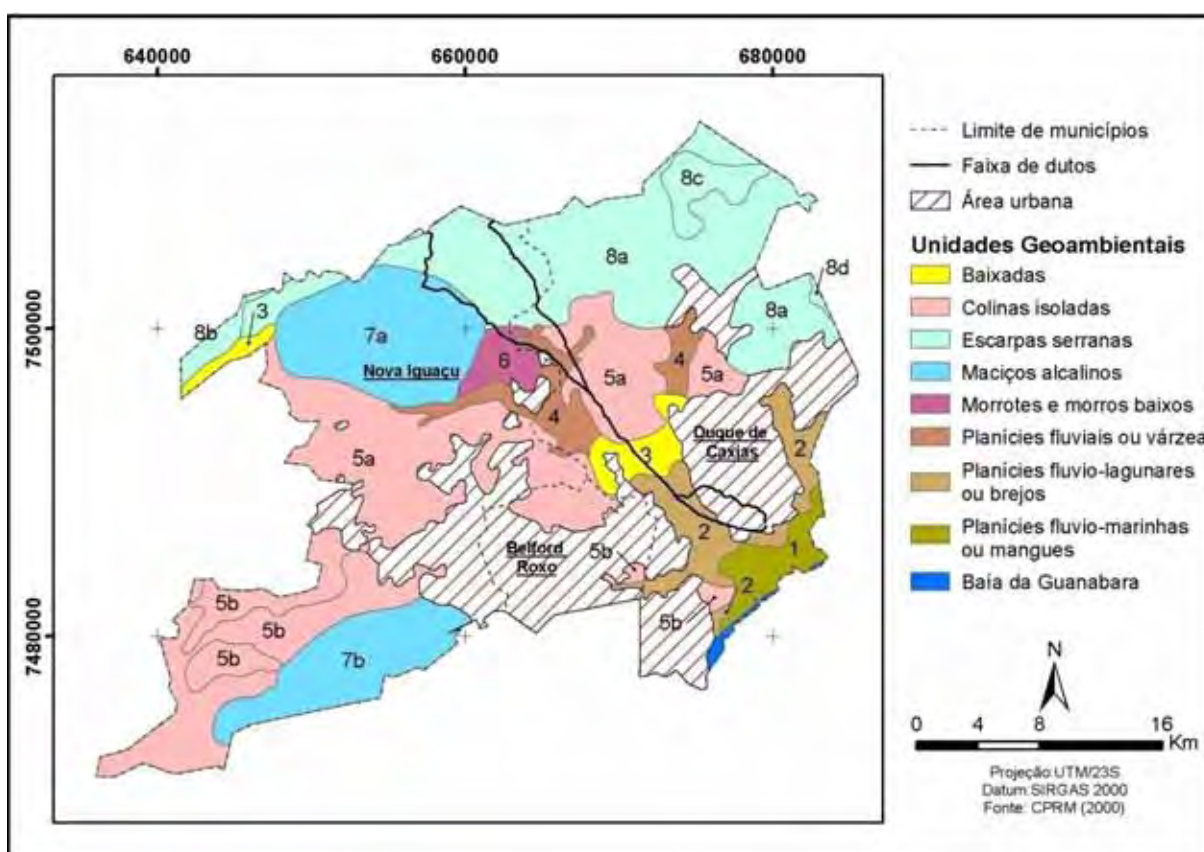


Figura 7 – Mapa de Unidades Geoambientais. Fonte: Adaptado de CPRM (2000)

Todas as considerações realizadas a seguir foram extraídas da CPRM, (2000).

3.4.1 - Planícies flúvio-marinhas ou mangues (1)

As Planícies flúvio-marinhas ou mangues são constituídos por sedimentos quaternários, argilosos, ricos em matéria orgânica. Os mangues são áreas de proteção

ambiental permanente, localizados no entorno da Baía da Guanabara, e estão parcialmente ocupados pela área urbana de Duque de Caxias.

3.4.2 - Planícies flúvio-lagunares ou brejos (2)

As Planícies flúvio-lagunares são constituídas por sedimentos quaternários, argilo-arenosos ou argilosos ricos em matéria orgânica. Concentram-se próximos aos mangues da Baía da Guanabara, a vegetação original é constituída de campos halófilos de várzea, que atualmente encontram-se, em sua maior parte, ocupada por pastagens.

3.4.3 - Baixadas (3)

As Baixadas são planícies constituídas por sedimentos quaternários, argilo-arenosos e/ou areno-argilosos. A vegetação original é composta por florestas subperenifólia e subcaducifólia de várzea ou campos higrófilos de várzea. A área está atualmente ocupada por pastagens e sofre uma constante expansão da malha urbano-industrial, restando apenas pequenos fragmentos de mata nativa.

3.4.4 - Planícies fluviais ou várzea (4)

As Planícies fluviais são constituídas por sedimentos quaternários, arenosos e/ou areno-argilosos, localizadas no sopé da escarpa da Serra do Mar, a vegetação original é composta por floresta subcaducifólia e campos higrófilos de várzea. Atualmente, estão ocupadas por pastagens e agricultura e, subordinadamente, por pequenos núcleos urbanos e fragmentos de mata.

3.4.5 - Colinas isoladas (5a/5b)

As Colinas isoladas correspondem a colinas residuais sustentadas por ortognaisses, paragnaisses, granitóides e granodioritos, situados no *graben* da Baía da Guanabara, estão isoladas pela sedimentação fluvial nos baixos cursos dos principais rios. A vegetação original é composta por floresta subperenifólia (5a), junto aos contrafortes da Serra do Mar, desde o recôncavo da Baía de Guanabara até o Rio do Imbé; e floresta subcaducifólia

(5b), nas bacias dos rios Guandu, Caceribu e Bacaxá. Esta área está ocupada por pastagens e pequenos fragmentos de mata, sendo densamente urbanizadas pela Região Metropolitana.

3.4.6 - Morrotes e morros baixos (6)

Morrotes e morros baixos são sustentados por ortognaisses, paragnaisses, granitos e granitóides. O relevo é bastante dissecado, apresentando morros com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou alongados ou morrotes com vertentes côncavas e topos alinhados. Amplitudes topográficas entre a 100m e 200m A vegetação original era composta por floresta subperenifólia (6), Atualmente esta unidade esta ocupada principalmente por pastagens, seguido de pequenos fragmentos de mata.

3.4.7 - Maciços alcalinos (7a/7b)

Os Maciços alcalinos apresentam a relevos montanhosos sustentados por rochas alcalinas, com presença de vertentes predominantemente retilíneas a côncavas com amplitudes topográficas superiores a 400m. A vegetação original é composta de floresta perenifólia (7a), restrita ao maciço do Tinguá e floresta subperenifólia e, subordinadamente, subcaducifólia (7b) restrita ao maciço do Medanha. Ambos os maciços preservam a Mata Atlântica original.

3.4.8 - Escarpas serranas (8a/8b/8c/8d)

As Escarpas serranas são sustentadas por granitóides, paragnaisses, ortognaisses migmatíticos, granulitos e charnockitos e apresentam vertentes retilíneas à côncava com amplitudes topográficas superiores a 300m. A vegetação original era composta por floresta perenifólia (8a/8c/8d), que abrangiam vastas áreas das escarpas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, e floresta subperenifólia (8b). Atualmente são ocupados por vegetação da Mata Atlântica preservada (8a/8c/8d) e por extensos fragmentos de mata e pastagens (8b).

3.4.9 –Vegetação natural e de uso e ocupação

A partir das informações obtidas no mapa Geoambiental foi possível reclassificar as unidades Geoambientais segundo a vegetação natural (figura 8) e o indicativo de uso e ocupação atual da terra (figura 9). A figura 9 foi considerada um mapa indicativo, pois algumas das classes representam mais de um uso, não sendo possível determinar qual é o uso exato da área.

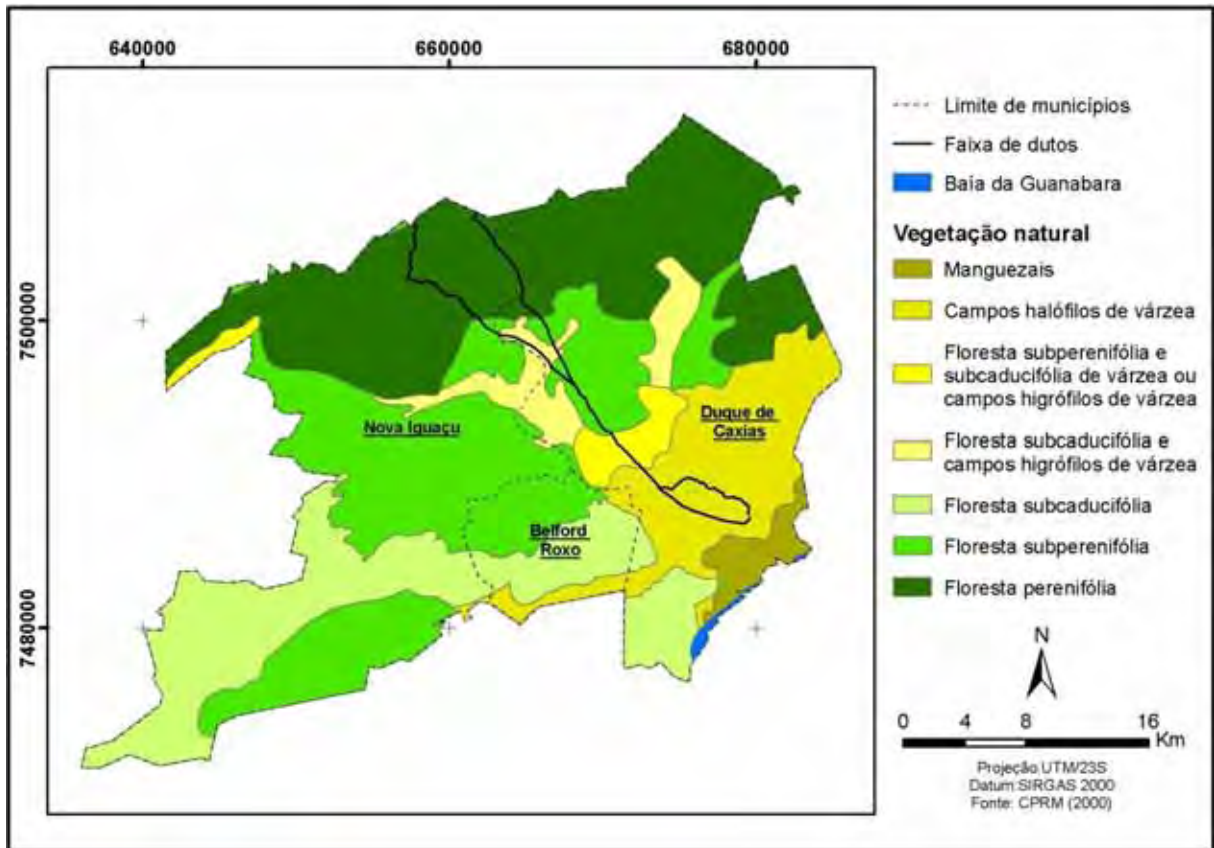


Figura 8 – Mapa da vegetação natural. Fonte: Adaptado de CPRM (2000)

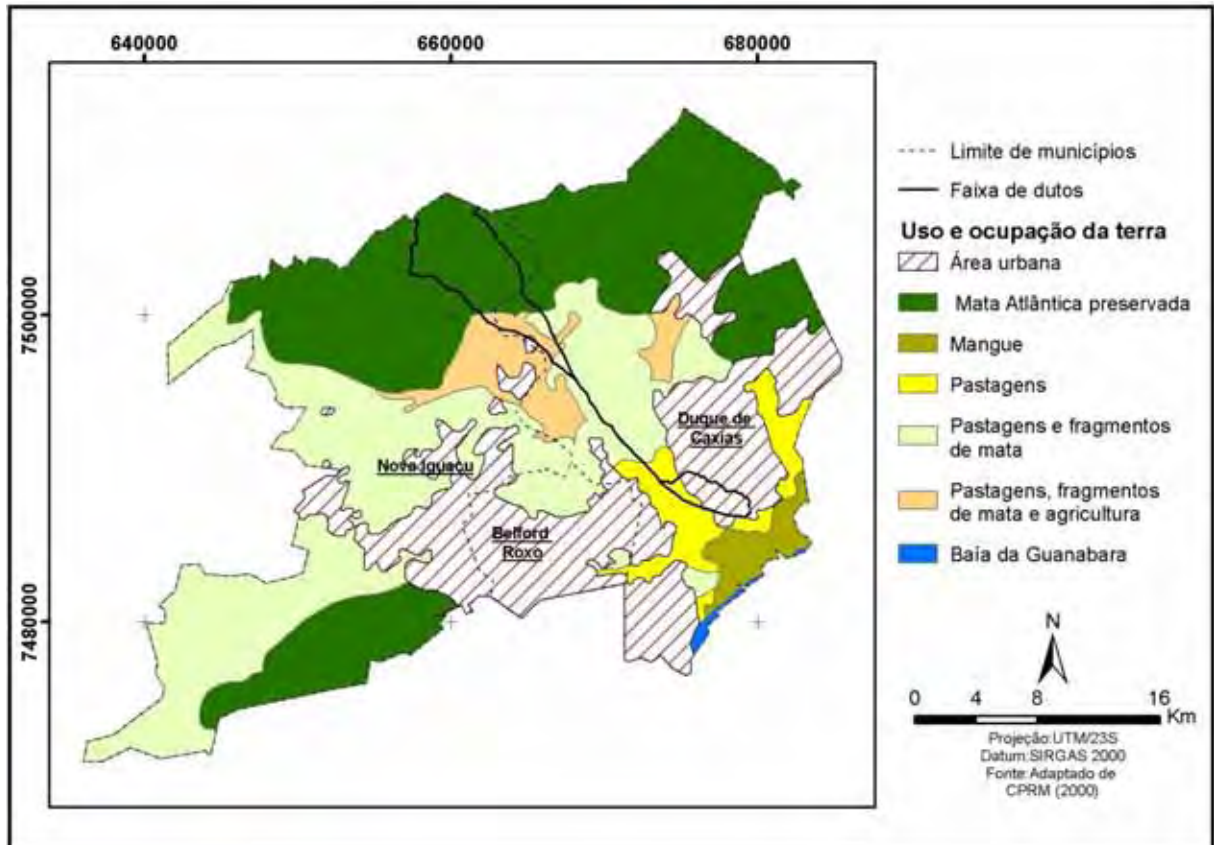


Figura 9 – Mapa indicativo de uso e ocupação. Fonte: Adaptado de CPRM (2000)

De acordo com as figuras 8 e 9 é possível observar que os maiores núcleos urbanos ocuparam as áreas de planícies fluviais, marinhas e lagunares, seguido pelas áreas de colinas e morros baixos, enquanto que a vegetação natural encontra-se melhor preservada em regiões das escarpas serranas e de maciços alcalinos.

3.5 - Aspectos socioeconômicos

Os municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu estão entre os mais populosos do Brasil e apresentam uma dinâmica socioeconômica acelerada pela presença de grandes parques industriais e pela proximidade da capital.

As tabelas 2 e 3 apresentam os dados populacionais e econômicos dos municípios estudados.

Tabela 2 – Dados populacionais dos municípios

Município	População total (2008)	População urbana (2008)	População rural (2008)	Densidade demográfica hab/km ² (2007)	Crescimento de 1996 a 2007	IDHM 1 2000
Belford Roxo	480.555	100%	0%	6.022,7	20,46%	0,742
Duque de Caxias	842.686	99,52%	0,48%	1.813,9	18,33%	0,753
Nova Iguaçu	830.672	100%	0%	1.585,6	0,73%	0,777

¹ IDHM Índice de desenvolvimento humano de municípios;
Fonte: PNUD (2000); IBGE (2008)

Tabela 3 – Dados econômicos dos municípios

Município	PIB total 2006 (em milhões de reais)	Serviços e comércio	Indústria	Agropecuária	PIB per capita (em reais)
Belford Roxo	2800	76,92%	23,02%	0,06%	5.978
Duque de Caxias	19900	58,8%	41,17%	0,03%	26.392
Nova Iguaçu	5700	85,49%	14,37%	0,14%	7.418

Fonte: IBGE 2008

Na tabela 4 se observa a evolução da população nos municípios, de 1940 a 2000, de acordo com CIDE (2009).

Tabela 4 – População residente na região metropolitana e municípios de 1940 a 2000

Município	1940	1950	1960	1970	1980	1991	1996	2000
Belford Roxo	6.149	23.750	73.178	173.272	282.428	360.714	399.319	433.120
Duque de Caxias	29.613	92.459	243.619	431.397	575.814	667.821	715.089	770.865
Nova Iguaçu	38.960	103.125	240.275	455.017	661.789	772.442	826.188	915.366

Fonte: (CIDE, 2009)

A dinâmica socioeconômica dos municípios analisados está diretamente relacionada com a região metropolitana do Rio de Janeiro do qual os três fazem parte. A região metropolitana do Rio de Janeiro, também conhecida como Grande Rio foi instituída pela Lei Complementar nº20, de 1º de julho de 1974, após a fusão dos antigos estados do Rio de Janeiro e da Guanabara. Com 11.812.482 habitantes (IBGE, 2008), é a segunda maior área metropolitana do Brasil.

Seus limites sofreram alterações, em anos posteriores, com a exclusão dos municípios de Petrópolis (1993), Itaguaí (julho de 2002), Mangaratiba (julho de 2002) e Maricá (outubro de 2001), que também faziam parte da região metropolitana, conforme a primeira legislação. Sendo assim, em 2009 os municípios que fazem parte da região metropolitana são: Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica, Mesquita e Tanguá. Na figura 10, pode-se observar os municípios da região metropolitana e os municípios do seu entorno.



Figura 10 – Municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro

Abreu (1987) divide a região metropolitana do Rio de Janeiro em quatro faixas (núcleo, periferia imediata, periferia intermediária e periferia distante) com a finalidade puramente metodológica. As faixas apresentam limites imprecisos, mas que, pelas características físicas do espaço metropolitano e face ao desenho da estrutura viária condicionante da expansão, são mais ou menos circulares e concêntricos. A figura 11 apresenta um esboço dessa divisão. Nota-se que a divisão foi elaborada para a antiga região metropolitana, em que sua área de abrangência é maior e ainda não havia os municípios que foram emancipados após 1987.

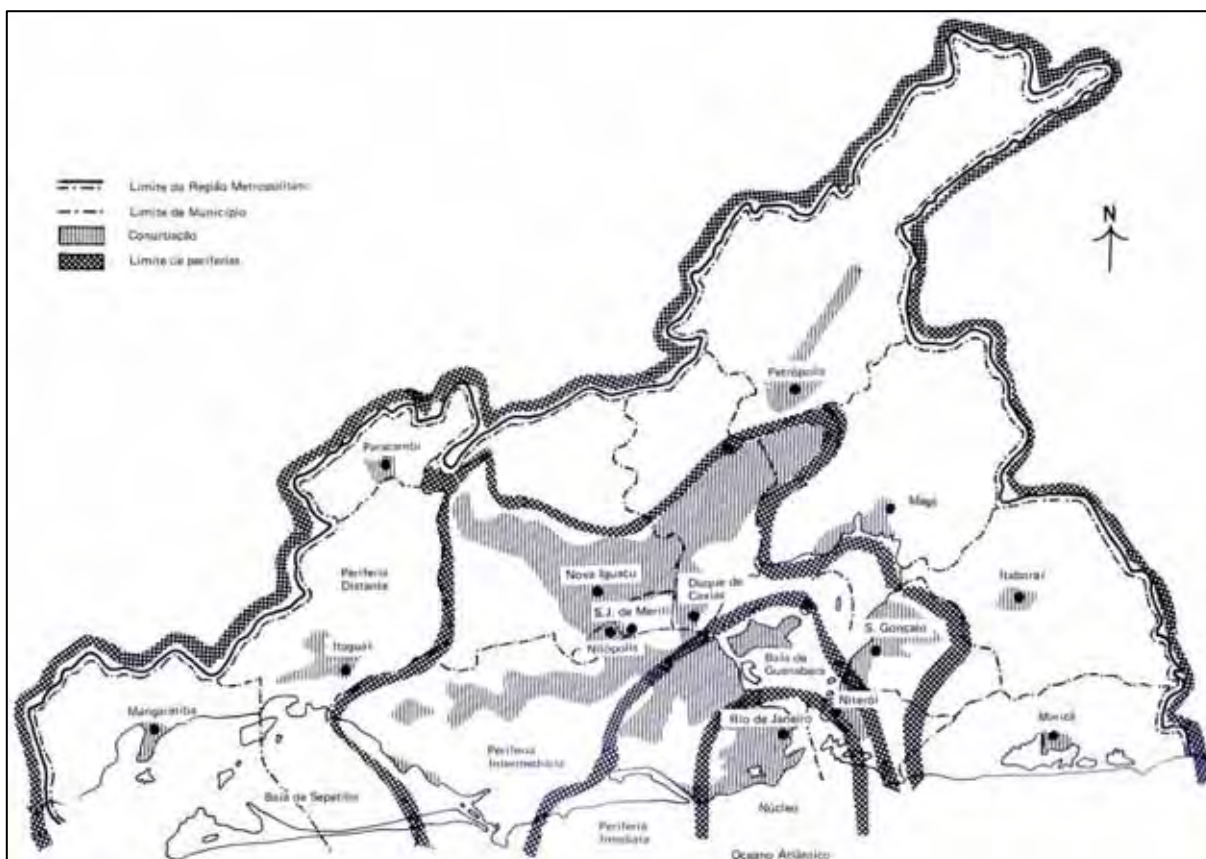


Figura 11 – Esboço das faixas de divisão da metrópole do Rio de Janeiro. Fonte: Abreu (1987)

As considerações realizadas a seguir, em relação às faixas metropolitanas, foram retiradas de Abreu (1987).

A primeira faixa é chamada de núcleo, é constituída pela área comercial e financeira central (o antigo centro histórico da cidade) e por suas expansões em direção à orla oceânica (a zona sul) e ao interior (cujos limites seriam os bairros da Tijuca, de Vila Isabel, de São Cristóvão, e do Caju), mais o centro e a zona sul de Niterói.

A segunda faixa é denominada de periferia imediata e abrange os subúrbios mais antigos do Rio de Janeiro, que se formaram ao longo das linhas das estradas de ferro (os limites vão de Benfica Riachuelo e Méier até Penha, Irajá e Madureira) e a zona norte de Niterói. Também inclui nesta faixa a Barra da Tijuca e a parte de Jacarepaguá.

A terceira faixa é chamada de periferia intermediária e abrange o restante do tecido urbano carioca situado além dos limites da periferia imediata, mais a conurbação do Grande Rio, que se constitui por Nilópolis, São João de Meriti, grande parte de Duque de Caxias, São Gonçalo e Nova Iguaçu, e parte de Magé. Finalmente, a quarta faixa é denominada de periferia distante e engloba o restante da região metropolitana, ainda não conurbada com a área metropolitana.

O núcleo concentra as funções centrais (econômicas, administrativas, financeiras e culturais) da área metropolitana. Apresenta os melhores padrões de infra-estrutura urbanística e de equipamento social urbano, além de ter como residentes, na sua maioria, representantes das classes média e alta da metrópole. A primitiva função residencial da área central do núcleo foi gradativamente sendo substituída por zonas comerciais e financeiras, entretanto, essas áreas são cercadas por regiões consideradas decadentes.

A periferia imediata é, principalmente, o local de residência da baixa classe média. Nela estão os prolongamentos das zonas industriais mais antigas, que se irradiaram a partir do núcleo. Apresenta centros de prestação de serviços de importância regional, com hierarquia imediatamente inferior aos do núcleo. A infra-estrutura urbanística, extensão daquela do núcleo, é bastante adequada frente aos padrões predominantes na área metropolitana. Sua ocupação se fez através dos primitivos pólos residenciais ao redor das paradas de trem suburbano, que hoje se apresentam interligados, configurando uma densa malha urbana. É notável, no entanto, a grande diferença nas condições de moradia entre o núcleo e a periferia imediata. O núcleo é privilegiado por melhores condições ambientais, infra-estrutura superior, sistema de transporte mais eficiente e equipamentos sociais de melhor qualidade.

A periferia intermediária é a área através da qual a metrópole se expande. As taxas de crescimento populacional são muito elevadas. De acordo com o censo demográfico de 1970, o crescimento da periferia intermediária na década de 60 foi de 69%, mais ou menos 1,2 milhões de habitantes, representando mais da metade do crescimento da população de toda a área metropolitana do Rio de Janeiro. Vale a pena lembrar que a periferia intermediária está crescendo através de fluxos migratórios duplamente induzidos: através da expulsão das populações mais pobres residentes no núcleo ou na periferia imediata e por meio de pessoas vivendo fora da área metropolitana, principalmente do próprio estado do Rio de Janeiro. Ressalta-se que se trata de uma população pobre que, em quase sua totalidade recebia, em 1970, não mais de três salários mínimos. Os centros de serviços existentes, apesar de dinâmicos e possuírem alguma expressividade, são de baixo padrão, adaptados às possibilidades de consumo de seus usuários. O autor coloca que o crescimento industrial é restrito a algumas áreas, especialmente no município de Duque de Caxias, que participa com 12,5% da produção industrial metropolitana (censo industrial de 1970 – IBGE). A densidade de ocupação da terra é muito irregular. A infra-estrutura urbanística inexistente ou é muito

precária. O mesmo acontece com o equipamento social, ocorrendo uma tendência para a busca daqueles do núcleo ou da periferia imediata.

A conurbação da periferia intermediária com a imediata sacralizou-se definitivamente a partir do início da década de sessenta, quando houve a mudança da capital, e o município do Rio de Janeiro tornou-se cidade-estado. A partir do início do período militar, o núcleo passa a ser alvo preferencial de investimento do estado em infra-estrutura, o que apenas faz aumentar o contraste existente entre o núcleo e a periferia.

4 – FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 - Dutos

4.1.1 - Contexto das faixas de dutos

Duto é uma designação genérica de uma instalação de conduto fechado destinado ao transporte ou transferência de petróleo e seus derivados ou gás natural (ANP, 2009). Faixas de dutos são obras lineares muito superficiais, que envolvem, na maioria das vezes, apenas o horizonte de solo e a rocha decomposta. Em um país de grande extensão territorial como o Brasil, este aspecto adquire maior relevância, sendo comum os traçados com muitas centenas e até milhares de quilômetros, que atravessam regiões de grande diversidade morfológica, rios, ambientes marinhos costeiros e regiões metropolitanas. Sendo ainda de grande relevância, a diversidade geológica encontrada, pois, em geral, são interceptadas diferentes formações, com os tipos de solos e condições hidrogeológicas e fenomenológicas a elas associados (NOGUEIRA JUNIOR e MARQUES, 1998).

A estrutura de abastecimento de petróleo e derivados interliga, através de várias modalidades de transporte, três pontos distintos: fontes de produção, refinarias e centros de consumo. Dentre estes pontos, apenas as refinarias podem ter a sua posição definida por estudos logísticos. Os oleodutos tornaram-se um meio de transporte preferencial tanto para atender ao abastecimento das refinarias como suprir a necessidade dos grandes centros consumidores de derivados (TERZIAN, 2005).

A participação dutoviária na matriz nacional do transporte de cargas iniciou-se no Brasil nos anos 50, evoluiu gradativamente nos anos 60, tendo apresentado importante incremento na década de 70 e início da década de 80. No entanto, na década de 90 a participação dutoviária não sofreu variações representativas, atingindo no ano de 2000 uma participação de 4,46%, conforme apresentado na tabela 5 (GEIPOT, 2000).

Tabela 5 – Matriz de transporte de cargas no Brasil. Fonte: GEIPOT (2000)

Modal	1993	1999	2000
Rodoviário	61,74%	61,82%	60,49%
Ferrovário	22,61%	19,46%	20,86%
Aquaviário	11,15%	13,83%	13,86%
Dutoviário	4,21%	4,58%	4,46%
Aeroviário	0,30%	0,31%	0,33%

A malha duto viária no Brasil, no ano de 2007, era composta de 526 dutos destinados à movimentação de petróleo, derivados, gás natural e outros produtos. Esses dutos somaram 16 mil km de extensão, divididos em 10,7 mil km para transporte e 5,2 mil km para

transferência. Com extensão de 8,1 mil km, 87 dutos destinavam-se à movimentação de gás natural; 372 dutos, com extensão de 5,8 mil km, à movimentação de derivados de petróleo; 30 dutos, com extensão de 2 mil km, à movimentação de petróleo; e os 76 km restantes, compostos por 37 dutos, destinaram-se à movimentação dos demais produtos, tais como álcool, solventes e outros de menor importância. Esta malha pertence, em sua quase totalidade, à Petrobras, sendo a maior parte dos seus dutos de transporte e alguns dutos de transferência geridos pela subsidiária Transpetro (ANP, 2008).

A malha dutoviária da Transpetro integra a malha da Petrobras, no entanto, não representa sua totalidade, pois outras áreas da Petrobras e empresas da Holding possuem dutos, destacando-se dutos da área internacional. É o caso do GASBOL, que transporta o gás vindo da Bolívia, gerenciado pela Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil – TBG.

No Brasil, as instalações de refino, e conseqüentemente os dutos, encontram-se majoritariamente próximos à linha da costa, onde se localizam os portos e maior concentração populacional, nos grandes centros consumidores e as regiões onde haja exploração.

Os dutos são construídos de acordo com as normas internacionais e nacionais. No início da construção de um duto são elaborados procedimentos executivos segundo especificações definidas nas normas vigentes. As principais fases da construção são: abertura de pista, desfile dos dutos, solda, abertura de valas, abaixamento da tubulação e recomposição, ilustradas na figura 12 (TRANSPETRO, 2006b).



abertura de pista



desfile dos dutos



solda



abertura de valas



abaixamento da tubulação



recomposição

Figura 12 – Principais fases de instalação de uma faixa de dutos. Fonte: Oliveira (2008)

A partir do momento em que a faixa de duto é instalada, passa a sofrer influência do ambiente e também a causar impactos sobre o mesmo. É bastante limitada a disponibilidade de informações sobre acidentes ocorridos em dutos no Brasil. O estado que disponibiliza tais informações, de maneira mais organizada, para acesso público é o estado de São Paulo, através da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB.

De acordo com a CETESB (2009), grande parte dos acidentes envolvendo vazamento de dutos no Estado de São Paulo, Europa e Estados Unidos está relacionada a

falhas operacionais, no entanto, uma parcela significativa é causada pela ação de terceiros, ou seja, pessoas sem qualquer relação com os dutos, sendo em grande parte atos de vandalismo. Já os acidentes causados por ação do meio físico, como eventos associados à erosão, deslizamentos de terra ou movimentação do solo, ocorrem com menor frequência.

A tabela 6 apresenta a distribuição das ocorrências de acidentes de maneira mais detalhada por períodos para o estado de São Paulo (CETESB, 2009).

Tabela 6 - Distribuição das causas dos acidentes com dutos, no período de 1980 a 2006, no estado de São Paulo. Fonte: CETESB (2009)

Modo de falha	1980-1989	1990-1999	2000-2006	Total
Terceiros	5	9	12	26
Natural	4	0	0	4
Operacional/manutenção	3	5	4	12
Operacional/outras	5	4	2	11
Mecânica/corrosão	13	10	4	27
Mecânica/outras	3	6	4	13
Não apurada	2	56	21	79
TOTAL	35	90	47	172

A CETESB (2009) analisa a tabela e afirma:

1) - os registros gerados por ação de terceiros aumentaram entre 1980 e 2006, sendo que nos últimos sete anos praticamente todos os casos envolveram linhas transportando gás natural, perfuradas acidentalmente por obras de empreiteiras contratadas por empresas de telefonia, água e esgoto ou mesmo por obras viárias municipais;

2) - as causas naturais não têm sido registradas desde 1989, sendo que estas ocorrências envolveram basicamente o transporte de petróleo e derivados;

3) - as falhas mecânicas vêm diminuindo progressivamente desde 1980 e estas ocorrências envolveram principalmente dutos que transportam petróleo e derivados. O declínio desses registros sinaliza que as exigências requisitadas pelo Programa de Gerenciamento de Riscos em Dutos e Terminais Químicos da CETESB, implantado a partir de 1988, abrangendo os Terminais Aquaviários de São Sebastião e de Santos da PETROBRAS/TRANSPETRO entre outros, conjuntamente com investimentos de manutenção implantados por esta empresa desde 2000 já vem trazendo resultados positivos;

4) - é grande o número de registros classificados como causas não apuradas. A grande maioria desses casos está relacionada com rompimento dos dutos que transportam gás natural, com vazamentos muito pequenos, sobre os quais não havia maior disponibilidade de informações a respeito quando do cadastro dessas ocorrências no CADEQ CETESB. (CETESB, 2009. Não paginado).

No estado do Rio de Janeiro, o último grande acidente ocorrido envolvendo dutos aconteceu no oleoduto entre a Refinaria Duque de Caxias e o Terminal da Ilha d'Água, controlado pela PETROBRAS, no ano de 2000. O duto se rompeu devido à corrosão, liberando 1.300 m³ de óleo no interior de um manguezal. Este fato gerou uma grande pressão sobre a PETROBRAS, por parte de ministério público e da mídia, o que levou a empresa a investir mais em procedimentos de prevenção e remediação de acidentes (CETESB, 2009).

4.1.2 - Faixa de dutos Rio – Belo Horizonte

A área de estudo intercepta a faixa de dutos Rio – Belo Horizonte no município de Duque de Caxias/RJ, onde se inicia próxima aos reservatórios da REDUC e estende-se até Belo Horizonte/MG. Em Duque de Caxias esta faixa é compartilhada com os seguintes dutos: Poliduto Rio - Belo Horizonte I (ORBEL I), Oleoduto Rio - Belo Horizonte II (ORBEL II), Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte (GASBEL), Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro (OSRIO) e o Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo (GASPAL). No entanto foi possível apenas obter informações detalhadas dos dutos ORBEL I e ORBEL II através do relatório ambiental ORBEL I (TRANSPETRO, 2006a) e ORBEL II (TRANSPETRO, 2006b).

O poliduto Rio-Belo Horizonte I (ORBEL I) entrou em operação em 1968, possui cerca de 362 km e transporta nafta petroquímica, nafta craqueada e óleo leve de diluição (Light Cracking Oil) produzidos na Refinaria Gabriel Passos (REGAP) no estado de Minas Gerais para o armazenamento no Terminal de Campos Elíseos ou diretamente para a REDUC, ambos localizados no estado do Rio de Janeiro. O oleoduto Rio-Belo Horizonte II (ORBEL II) começou a operar em 1980, possui cerca de 358 km e transporta petróleo e óleo diesel do Terminal de Campos Elíseos (TECAM), no Rio de Janeiro, para a REGAP, em Minas Gerais.

Existem apenas dois registros de acidentes envolvendo estes dutos. O primeiro, ocorrido em 1984, foi um vazamento de nafta do poliduto ORBEL I no município de Miguel Pereira. O segundo ocorreu em 2005, quando houve um vazamento de petróleo do oleoduto ORBEL II na Estação da Mantiqueira, localizado no município de Santos Dumont.

Com a finalidade de instalar, proteger, delimitar e identificar os locais onde estão instalados os dutos, há uma faixa de segurança sinalizada, com largura de 20 metros, que acompanha, na superfície, o percurso subterrâneo dos dutos, chamada faixa de servidão.

Os relatórios ambientais dos dutos definem, de acordo com a resolução Conama 001/86 em seu artigo 5º, as áreas de influência direta (AID) e indireta (AII) do empreendimento como base para o desenvolvimento dos estudos ambientais. A AID é uma faixa de 400 m para ambos os lados do duto, sujeita aos impactos diretos da operação do duto, compreendendo a faixa de servidão e a área não edificante, sendo utilizada para o estudo do risco geotécnico. A AII compreende uma faixa de 5 km para ambos os lados do duto e é aquela potencialmente sujeita aos impactos indiretos da operação do duto, sendo utilizada para o estudo dos meios físicos e bióticos.

Com o objetivo de estudo do meio antrópico, os relatórios consideram ainda uma faixa de largura variável (AIV), devido suas características peculiares de distribuição espacial, que engloba todos os municípios interceptados pela AII.

Neste trabalho serão consideradas as AID e AII, além da área total dos três municípios estudados para a análise da influência do meio antrópico na faixa de dutos.

4.2 – Estudo do meio físico e antrópico

As caracterizações do meio ambiente, desenvolvidas sob formato de mapas, cartas, entre outros, constituem informação básica para a avaliação das condições ambientais das propostas de uso e ocupação da terra e para definição de critérios de decisão.

Lollo (2008) afirma que, nesse contexto, os componentes considerados fundamentais são as condições naturais do subsolo (em termos de solos, rochas, águas subterrâneas e seus processos dinâmicos de subsuperfície), as condições naturais superficiais (relevo, clima, vegetação, fauna, mananciais superficiais, e processos geodinâmicos de superfície), e os componentes relativos às atividades humanas (representados pelo uso e ocupação do solo). Em função da variedade dos atributos possíveis e da relevância de cada um deles, o processo de obtenção de dados e informações poderá ser mais ou menos complexo e demorado.

O primeiro aspecto fundamental a se destacar em relação aos componentes ambientais a serem levantados num processo de cartografia do meio, é que, dados sua finalidade, escala e métodos de investigação, cada projeto exige o conhecimento de um conjunto específico de atributos influentes no processo.

Neste trabalho as ações humanas ganham destaque, visto que nas situações em que a ocupação da superfície do terreno foi toda ou quase toda substituída por atividades humanas que descaracterizaram suas condições originais, as pressões antrópicas se impõem como agente transformador do ambiente.

De acordo com Vedovello e Mattos (1993), as atividades humanas (como agricultura, obras de engenharia civil, mineração, etc) sobre a superfície terrestre diversas vezes apresentam-se problemáticas, principalmente quando associadas à ocorrência de fenômenos geodinâmicos, tais como escorregamentos, os quais podem ser naturais ou induzidos pelo uso e ocupação.

Partindo do princípio de que cada tipo de atividade humana está associada a um grupo de ações e processos conhecidos, e que a influência de tais ações e processos nos componentes ambientais podem ser determinadas, pode-se utilizar a caracterização do uso e ocupação da terra para avaliar como as atividades humanas estão interagindo com o meio.

A caracterização do uso e ocupação envolve os usos atuais e futuros previstos, geralmente classificados em categorias. No caso deste trabalho, as categorias de maior importância são: 1 - uso urbano (que pode ser muito diversificado em tipos de atividade,

intensidade, e adensamento), 2 - faixas de domínio de obras lineares (dutos, rodovias, ferrovias).

É relevante destacar que independentemente de serem naturais ou induzidos, os problemas decorrentes da interação entre a ação antrópica e o meio físico são causados principalmente pela não consideração das limitações e aptidões desse meio. Neste sentido, Vedovello e Mattos (1993) identificam o mapeamento geotécnico como um importante mecanismo de análise ambiental o qual objetiva harmonizar o uso e ocupação da terra pelo homem.

4.3 - Técnicas de detecção de mudanças

Detecção de mudanças é o processo de identificar diferenças no estado de um objeto ou fenômeno qualquer através da sua observação em diferentes espaços de tempo (SINGH, 1989). Utiliza-se de dados multitemporais e um conjunto de técnicas denominadas por Singh (1989), Coppin e Bauer (1994), Seto et al.(2002), Lu et al. (2004), entre outros, de técnicas de detecção de mudanças, para identificar e quantificar as alterações ao longo de um período de tempo.

As fontes dos dados podem ser diversas, no entanto, os produtos advindos de sensores remotos têm se mostrado cada vez mais indispensáveis como fontes de informação para essa aplicação, devido à capacidade de aquisição repetitiva de informação e da visão integradora do espaço. Informações originadas de mapas temáticos e cartas topográficas também são usualmente utilizadas no processo de detecção de mudanças.

Muitos produtos advindos de sensores remotos estão disponíveis e segundo LU et al. (2004), os sistemas sensores mais conhecidos e utilizados com as técnicas de detecção de mudanças são: Landsat Multi-Spectral Scanner (MSS), TM, SPOT, AVHRR, radar e fotografia aérea. Mas é relevante destacar que a diversidade de produtos aumenta rapidamente e sistemas sensores como ASTER, o CBERS, o Kombsat de resolução média e IKONOS, QUICKBIRD e Worldview de alta resolução, vem se tornando cada vez mais importantes para estudos em diversas áreas.

Um modo de classificação possível das técnicas é de acordo com as possibilidades dos resultados, dessa forma, existem as técnicas que apenas permitem identificar as áreas que mudaram e não mudaram e aquelas que possibilitam identificar também a direção em que estão ocorrendo às mudanças. Lu et al. (2004) agrupam as técnicas de detecção de mudanças de acordo com a semelhança de trabalho dos métodos de processamento, resultando em seis categorias principais: Álgebra, Transformação, Classificação, Modelos avançados, Sistema de informação geográfico (SIG) e Análises visuais.

A Álgebra engloba técnicas de imagem diferença, regressão de imagem, razão de imagem, diferença de índices de vegetação, entre outras. Todos os algoritmos desse grupo são apoiados no estabelecimento de um limiar para determinar as áreas que mudaram e não mudaram.

As técnicas agrupadas em Transformação são: análise das principais componentes, *tasselled Cap*, *gramm shimidt* e *chi-square*. Também são técnicas que

necessitam que se selecione um limiar para determinar as áreas de mudanças e não provêm um detalhamento do resultado. As vantagens desses métodos são a redução da redundância de informação entre as bandas da imagem e o destaque das informações diferentes nas componentes derivadas.

A categoria Classificação é composta pelas técnicas: comparação de resultados de classificação supervisionada e não supervisionada, análises espectro temporais, redes neurais e outros métodos híbridos de detecção de mudanças. A qualidade dos resultados está diretamente relacionada com a representatividade e acurácia das amostras de treinamentos adquiridas. O ponto positivo dessa categoria é que possibilita ao usuário obter uma completa matriz de mudança e reduz o impacto causado pelas diferenças atmosférica e do meio existente entre imagens de diferentes datas. Contudo, selecionar boas amostras de treinamento para uma análise multi-temporal torna-se uma tarefa muito trabalhosa, requerendo bastante tempo do usuário. É relevante destacar que os erros cometidos nessa etapa irão ser ampliados ao longo de todo processo.

A categoria denominada de Modelos avançados por LU et al. (2004) é composta pelos seguintes métodos: modelo de refletância de Li Strahler, modelo espectral de mistura e modelos elaborados através de parâmetros biofísicos. Esses métodos convertem os valores da imagem refletância em parâmetros físicos básicos através de modelos lineares e não lineares. A grande dificuldade dessa técnica é determinar corretamente os modelos de conversão, significando um grande consumo de tempo.

A categoria Sistema de informação geográfico (SIG) é composta por métodos de detecção de mudança que integram ferramentas de análise espacial, presentes nos SIG's, e os métodos e produtos do sensoriamento remoto. A principal característica desse grupo é permitir a utilização de dados de fontes diversas, e que não necessitam ser obrigatoriamente de sensores remotos. No entanto, a precisão dos resultados será diretamente proporcional à precisão das diferentes fontes de informação.

O grupo Análise visual inclui todos os trabalhos em que se utiliza a interpretação visual e a extração manual das áreas de mudanças. Os métodos dessa categoria são totalmente baseados na experiência do usuário, possibilitando a extração de características das imagens como textura, forma, tamanho e padrões que não são comumente utilizados nas outras categorias por serem muito complexos para implementação computacional. A desvantagem desse método é que este consome muito tempo, tornando-se inviável para extensas áreas.

O que se observa nos trabalhos dessa área é que inúmeros autores não utilizam métodos de apenas uma categoria, e que esses grupos devem ser utilizados apenas para facilitar a compreensão da natureza dos diversos métodos.

4.4 – Sistemas de Informação Geográficos - SIG

Os Sistemas de Informação Geográficos - SIG é uma tecnologia que surgiu por volta de 1964 no Canadá. Sua evolução ocorreu em paralelo à evolução dos computadores, que ao se tornarem mais “potentes”, possibilitaram que os SIGs se sofisticassem e adquirissem novas funcionalidades. Para Bonham-Carter (1994), o principal propósito de um SIG é ser uma ferramenta de suporte à decisão baseado em informação espacial que possa atender às mais diversas áreas do conhecimento.

A principal diferença de um SIG para qualquer outro sistema de informação é sua capacidade de armazenar tanto atributos descritivos como a geometria dos diversos dados geográficos. Um SIG deve ser capaz de capturar, armazenar, analisar, transformar, integrar e apresentar da melhor forma possível os dados geográficos, sendo uma ferramenta que automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes. Sua finalidade principal é prover suporte aos processos de decisão (CÂMARA, 2005).

Desta forma, o SIG apresenta-se como uma ferramenta fundamental para monitorar os meios físico e antrópico em regiões de entorno de dutos. O monitoramento se faz necessário, pois a partir do momento em que a faixa é instalada, passa a sofrer influência do ambiente e também a causar impactos sobre o mesmo. As faixas de dutos, muitas vezes, apresentam grandes extensões e estão submetidas a diferentes formas de ocupação, de maior ou menor dinamismo, e a diferentes contextos geológicos e geomorfológicos.

Os sistemas para monitoramento tradicional de dutos são compostos, simplificadaamente, por uma estação de monitoramento que controla as variáveis de pressão, vazão, temperatura, densidade e volume durante o processo de transferência de produtos, equipamentos que inspecionam a integridade física interna dos dutos, sobrevôos periódicos da faixa com aeronaves tripuladas e através de equipes terrestres que percorrem a faixa. O SIG, aliado ao uso de produtos de sensoriamento remoto, tem grande contribuição a oferecer no monitoramento destes processos, auxiliando na identificação de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de eventos naturais e consequente setorização das áreas de risco, além de possibilitar o acompanhamento das mudanças do uso da terra no entorno da faixa.

4.5 – Processamento digital de imagem

4.5.1 - Correção Radiométrica

A correção radiométrica de imagem baseia-se em um conjunto de técnicas de processamento que tem como objetivo minimizar as distorções provocadas pela atmosfera e por problemas derivados do mau funcionamento dos sensores, sendo necessária quando se está interessado em analisar o comportamento espectral dos alvos, comparar dados obtidos por diferentes sensores e em datas distintas.

Segundo Schowengerdt (1997), existem três níveis de correção radiométrica. O primeiro converte o número digital (ND) do sensor em radiância e requer parâmetros de calibração do sensor. O segundo trata das correções que envolvem a atmosfera e a irradiância solar. Neste nível, a radiância do sensor é transformada em reflectância da superfície, sendo importante adotar um modelo para correção atmosférica. O terceiro trata das distorções causadas pela topografia, sendo fundamental primeiramente a obtenção de um modelo de elevação do terreno. A escolha do nível de correção e a forma de correção devem ser adotadas tendo em vista a necessidade particular de cada trabalho e a disponibilidade da informação. Neste trabalho o segundo nível de correção será dividido em dois, conforme a figura 13.

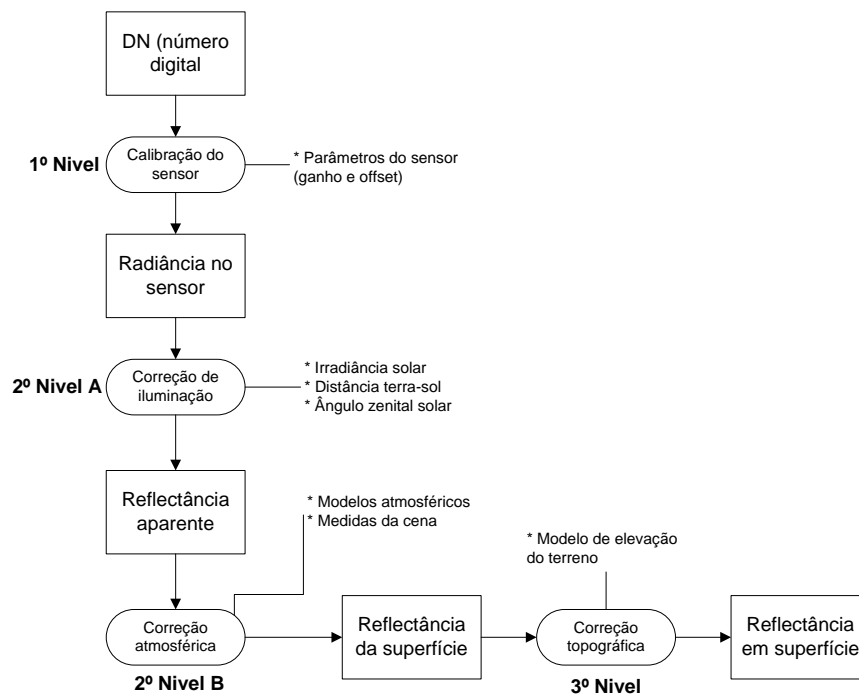


Figura 13 – Esquema para correção radiométrica. Fonte: adaptado de Schowengerdt (1997).

4.5.1.1 - Radiância

No momento em que os sensores captam o sinal, advindo do alvo, a informação é armazenada em valores de radiância espectral e convertida em números digitais (ND) através da aplicação de valores de ganho e offset, relacionados à calibração do sensor. O propósito da conversão de ND em radiância é apenas realizar o caminho inverso e para isso aplica-se esta equação simplificada (CHANDER e MARKHAM, 2003).

$$L\gamma = cal_{gain} \cdot DN + cal_{offset} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$L\gamma$ é a radiância espectral no sensor em $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$;

Cal_{gain} é o parâmetro de ganho da banda do sensor;

Cal_{offset} é o parâmetro de offset da banda do sensor.

Os valores de ganho e offset devem ser obtidos nas especificações técnicas de cada sensor. São valores de calibração que variam para cada banda e ao longo do tempo de operação do sensor. A tabela 7 apresenta um exemplo de parâmetros para calibração do sensor TM-5, adaptado de Chander e Markham (2003).

Tabela 7 – Parâmetros de calibração do sensor TM -5

Data de aquisição da imagem	De 01/03/1984 até 04/05/2003		A partir de 05/05/2003	
	Ganho	Offset	Ganho	Offset
Bandas				
1	0,602431	-1,52	0,762824	-1,52
2	1,175100	-2,84	1,442510	-2,84
3	0,805765	-1,17	1,039880	-1,17
4	0,814549	-1,51	0,872588	-1,51
5	0,108078	-0,37	0,119882	-0,37
6	0,055158	1,2378	0,055158	1,2378
7	0,056980	-0,15	0,065294	-0,15

4.5.1.2 - Reflectância aparente

A finalidade da conversão de radiância espectral para reflectância aparente (ou reflectância de topo da atmosfera) é normalizar o efeito da geometria de iluminação, ajudando assim a reduzir a variabilidade entre cenas e organizar toda a informação espectral em uma

mesma escala radiométrica. Segundo Chander e Markham (2003), a equação para transformar a radiância em reflectância aparente é a seguinte:

$$\rho_p = (\pi \cdot L\gamma \cdot d^2) / (ESUN\gamma \cdot \cos \theta_s) \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

ρ_p - Reflectância aparente;

$L\gamma$ - radiância espectral no sensor em $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$;

d - distância terra-sol em unidades astronômicas;

$ESUN\gamma$ - irradiância solar média acima da atmosfera em $W/(m^2 \cdot \mu m)$;

θ_s - ângulo zenital solar em graus (90° menos o ângulo de elevação solar).

Os valores de irradiância solar médio ($ESUN\gamma$) variam para cada sensor e banda e devem ser obtidos junto à distribuidora da imagem. A tabela 8 exemplifica essa informação para o sensor TM-5.

Tabela 8 – Irradiância solar média para o sensor TM-5

Banda	ESUN γ TM-5
1	1957
2	1826
3	1554
4	1036
5	215
7	80,67

A distância da terra ao sol (d) irá variar de acordo com o dia de aquisição da imagem. A tabela 9 apresenta a distância terra-sol em unidades astronômicas para diversos dias julianos ao longo do ano.

Tabela 9 – Distância terra-sol em unidades astronômicas

Dia Juliano	Distância	Dia Juliano	Distância	Dia Juliano	Distância	Dia Juliano	Distância
1	0.9832	106	1.0033	213	1.0149	319	0.9892
15	0.9836	121	1.0076	227	1.0128	335	0.986
32	0.9853	135	1.0109	242	1.0092	349	0.9843
46	0.9878	152	1.014	258	1.0057	365	0.9833
60	0.9909	166	1.0158	274	1.0011		
74	0.9945	182	1.0167	288	0.9972		
91	0.9993	196	1.0165	305	0.9925		

4.5.1.3 - Reflectância de superfície

A reflectância acima da superfície, ou reflectância de superfície, é produzida a partir da reflectância aparente com o objetivo de atenuar os efeitos da atmosfera, sendo imprescindível nessa etapa adotar um modelo para correção dos efeitos da atmosfera.

Segundo Vermote (1997), são dois os processos atmosféricos que modificam a radiância refletida por um alvo qualquer: a absorção causada por gases e o espalhamento, consequência de aerossóis e moléculas.

Existem muitos modelos para correção dos efeitos da atmosfera, variando em complexidade e finalidade. O mais simples e utilizado é o de subtração do pixel escuro (DOS) proposto por Chavez (1988). Esta técnica assume a existência de uma atmosfera homogênea e admite a presença de alvos escuros que deveriam apresentar reflectância zero ou próximo de zero, mas que devido aos efeitos aditivos da atmosfera apresentam valores superiores. A técnica consiste em identificar o objeto escuro e seu valor de reflectância para cada banda e subtrair esse valor do restante da cena.

Existem possibilidades de sofisticação da técnica DOS utilizando os objetos escuros para derivar as propriedades ópticas da atmosfera e corrigir as imagens com a informação derivada conforme realizado por Kaufman (1989), Chavez (1996), Liang et al. (1997), entre outros. Também é possível estimar a reflexão atmosférica utilizando um código de transferência de radiação, um exemplo muito conhecido é o método de estimativa 6S - Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum proposto por Vermote et al. (1997).

Outra abordagem possível é o método de correção relativa de imagem em que se admite uma relação linear entre as bandas das imagens ao longo do tempo. A relação linear pode ser determinada através de medidas radiométricas sobre alvos pseudo-invariantes (SCHOTT ; SALVAGGIO e VOLCHOK, 1988; HALL et al., 1991; COPPIN e BAUER, 1994). A dificuldade desta técnica é determinar quais os alvos pseudo-invariantes ao longo do período de tempo analisado, o que pode tornar esse método muito subjetivo e demandar muito tempo. Hajj et al. (2008) propõem um método automático de seleção desses alvos, contudo é necessário diversos mapas temáticos da área, como por exemplo, da área urbana e área de agricultura.

4.5.1.4 - Reflectância em superfície

A reflectância em superfície corresponde àquela observada em uma superfície horizontal. Este nível de correção trata da influência exercida pela topografia sobre a imagem. Meyer et al. (1993) destacam que a influência do terreno não pode ser descartada quando se trata de um estudo em uma região montanhosa, entretanto para certos estudos comparativos,

pode-se assumir que o efeito do relevo é constante ao longo do tempo e descartar esta correção.

Teillet et al. (1982) descreveu quatro métodos para correção da influência do terreno sobre a imagem:

- (a) - método de correção empírica-estatística;
- (b) - método de correção dos cossenos;
- (c) - dois métodos de correção empírica: Minnaert e o de correção C.

Todos os quatro métodos assumem uma superfície lambertiana e são relativamente de fácil aplicação. A equação 3 trata de uma adaptação do método de correção dos cossenos, para ser aplicada sobre a reflectância em superfície:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{\cos sz}{\cos i} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

R_2 – reflectância em superfície;

R_1 – reflectância da superfície;

sz – ângulo zenital solar;

i – ângulo de incidência do sol em relação à normal do pixel.

4.5.2 - Classificação de imagem

A classificação de imagem é um processo utilizado para criação de mapas temáticos a partir de dados advindos de sensores remotos, produzindo uma interpretação da informação trazida na imagem. Os temas devem variar de acordo com a necessidade e a área de estudo selecionada. Jensen (1996) propõe um esquema geral para classificação, como observa-se no quadro 1.

Quadro 1 – Esquema geral para classificação de imagem (Fonte: Jensen (1996))

<p style="text-align: center;">Contexto da classificação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir a região de interesse • Identificar as classes de interesse para o sistema de classificação <p style="text-align: center;">Aquisição de dados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selecionar dados de sensoriamento de acordo com os critérios abaixo: <ul style="list-style-type: none"> • Considerações em relação ao sistema de sensoriamento remoto <ul style="list-style-type: none"> - Resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica • Considerações com relação ao meio <ul style="list-style-type: none"> - Atmosfera, confusão dos alvos, entre outros. • Obter as referências iniciais de campo de acordo com: <ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento anterior da área de estudo <p style="text-align: center;">Processamento de Imagem para extração de informação temática</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correção radiométrica (ou normalização) • Correção geométrica • Seleção apropriada do algoritmo e da lógica de classificação de imagem <ul style="list-style-type: none"> • Supervisionada <ul style="list-style-type: none"> - Paralelepípedo e/ou mínima distância - MAXVER (máxima verosimilhança) - entre outros • Não supervisionada <ul style="list-style-type: none"> - Método linear - ISODATA - Entre outros • Híbrido • Extrair amostras de treinamento utilizando muitas bandas (se necessário) • Extrair as estatísticas das amostras adquiridas • Extrair a informação temática <ul style="list-style-type: none"> • Através de um método de classificação <p style="text-align: center;">Avaliação dos erros de classificação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar testes adicionais de referências de acordo com os critérios abaixo <ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento a posteriori da área de estudo adquirido • Comparar o resultado com as amostras • Avaliar a precisão utilizando métodos estatísticos <ul style="list-style-type: none"> • Porcentagem geral de precisão • Coeficiente Kappa • Hipóteses aceitáveis e rejeitáveis
--

4.5.2.1 - Classificação supervisionada

A classificação supervisionada é o procedimento frequentemente utilizado para extração de informação a partir de imagens, sendo baseado em algoritmos que identificam os pixels de acordo com classes previamente definidas. As classes devem refletir uma necessidade de análise do usuário, que necessita definir amostras de treinamento a partir de um conhecimento prévio da área que pode ser obtido através da interpretação da imagem, visitas de campo, mapas, entre outros. Os principais algoritmos para classificação supervisionada são: paralelepípedo, mínima distância, máxima verossimilhança e redes neurais (MATHER, 1987; RICHARDS, 1993; JENSEN, 1996).

A precisão desse conjunto de técnicas estará diretamente relacionada com a representatividade e coerência das amostras de treinamento adquiridas que pode variar de acordo com o método adotado. Existem várias formas de se analisar as amostras, sendo a mais comum através de uma matriz de confusão produzida a partir da classificação aplicada apenas sobre as amostras (MATHER, 1987).

4.5.2.1.1 - Paralelepípedo

Conforme Jensen (1996), o classificador paralelepípedo é considerado bastante simples, pois utiliza o histograma produzido a partir das amostras de treinamentos de cada componente espectral para obter o limiar máximo e mínimo para cada classe que, passa então a descrever um paralelepípedo no espaço multidimensional. A classe X é atribuída para um pixel Y se o vetor característico de Y estiver entre os mínimos e máximos de X.

A limitação desse classificador é que os “pixels” que estiverem fora das regiões dos paralelepípedos não serão classificados e pode ocorrer confusão para um ou vários atributos.

4.5.2.1.2 - Mínima distância

Segundo Jensen (1996), a mínima distância é um método bastante simples, que quando bem utilizado pode gerar resultados compatíveis com os de métodos computacionalmente mais complexos. Utilizam-se as amostras para determinar os pontos médios de cada classe e a classe X é atribuída ao pixel Y quando a distância Euclidiana de X e Y for menor dentre todas as classes.

4.5.2.1.3 - Máxima verossimilhança

Esse método é apoiado em um elipsóide construído no espaço multidimensional a partir do vetor de médias e a matriz inversa de covariância das amostras adquiridas. A classe X é atribuída ao pixel Y quando a verossimilhança entre Y e X for maior para todas as classes. Quando ocorrer de um "pixel" ter igual probabilidade de pertencer às duas classes, estabelece-se um critério de decisão a partir da definição de limiares (RICHARDS, 1993).

O limiar de aceitação deve ser definido pelo usuário e indica a porcentagem de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente à esta classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos "pixels", sendo que 1% serão ignorados (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns "pixels" terem sido adquiridos no treinamento por engano, nesta classe, ou estarem em regiões de confusão entre duas ou mais classes. Um limiar de 100% resulta em uma imagem classificada sem rejeição, ou seja, todos os "pixels" serão classificados.

4.5.2.1.4 - Redes neurais

Redes neurais artificiais são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Uma grande rede neural artificial pode ter centenas ou milhares de unidades de processamento. Sua organização é apoiada em múltiplas camadas, como pode-se observar na figura 14 (RICHARDS, 1993).

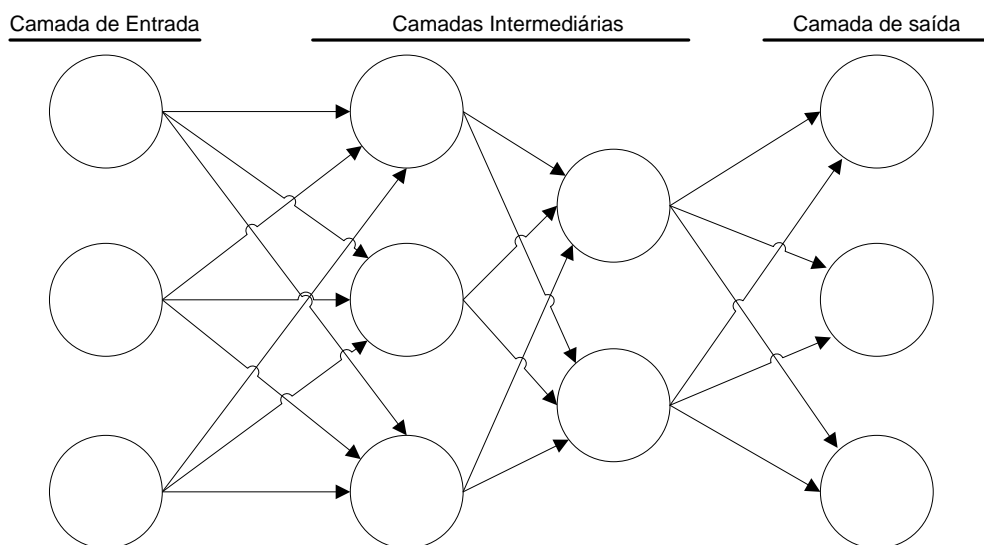


Figura 14 – Exemplo da estrutura de organização de uma rede neural.

A camada de entrada é o momento onde os padrões são apresentados à rede, ou seja, no exemplo de organização de rede apresentado na figura 14, os três neurônios correspondem a três atributos para um “pixel”. As camadas intermediárias, nesse caso compostas por três e dois neurônios respectivamente, é o local em que são feitos a maior parte dos processamentos, através de conexões ponderadas, podendo ser denominadas também como camadas extratoras de características. Por ultimo, a camada de saída, nesse caso composta por três neurônios, resulta em uma classificação de um “pixel” em três classes.

As camadas intermediárias trabalham realizando somatórias de valores ponderados que são linearizados para produzir a ativação para algum neurônio de saída. Nessas camadas ocorre o processo de aprendizado através de um processo iterativo de ajustes de pesos comandado por um algoritmo de aprendizado específico. Para a finalidade de classificação de imagem, o algoritmo mais utilizado é o *Backpropagation* (SIMPSON, 1990).

As amostras de treinamentos adquiridas da imagem são utilizadas para determinar os pesos da função linear e o limiar para cada uma das classes e a rede é então inicializada utilizando pesos arbitrários. Os “pixels” são apresentados a rede um de cada vez. Para cada “pixel” a saída da rede é computada utilizando o algoritmo escolhido. Caso a saída da rede não for a mesma da entrada observada através da amostra, os pesos são recalculados obtendo-se novas ponderações (SIMPSON, 1990).

Assim sendo, o erro é propagado de volta através de todas as camadas da rede, no sentido de corrigir os pesos. Esse processo é repetido até que a rede classifique todos os pontos amostrais corretamente, ou quando os erros de classificação atingem um valor definido.

Segundo Richards (1993), essa técnica é bastante robusta, contudo muito lenta no treinamento e sua precisão é muito dependente das amostras de treinamento, da estrutura da rede e de parâmetros de aceitação.

4.5.2.2 - Classificação não supervisionada

A classificação não supervisionada é muito utilizada para realizar uma primeira análise da imagem ou como auxiliar ao método supervisionado, pois as classes criadas dificilmente irão representar as classes de interesse. É baseada em limiares de similaridade para realizar os agrupamentos de pixels. Para algumas técnicas, o usuário necessita informar o número de classes a serem criadas, entretanto o usuário precisa nomear as classes após a classificação. Os principais algoritmos para classificação não supervisionada são: K-médias, ISODATA, Fuzzy c-médias, Fuzzy ISODATA e classificação hierárquica.

4.5.2.2.1 - K-médias

De acordo com Richards (1993), K-médias é um procedimento que requer a especificação do número K de classes, sendo baseado em um processo iterativo que desloca cada vetor de média pelo espaço até que sua posição defina bem a classe que representa. Os quatro passos básicos dessa técnica são.

(a) - K vetores (V) devem ser iniciados formando os centros dos K agrupamentos. A inicialização pode ser feita de diversos modos;

(b) - Calcula-se a distância euclidiana de cada vetor aos “pixels” e verificam-se os agrupamentos mais próximos;

(c) - São computados então os novos os centros médios para cada agrupamento produzido no passo (b);

(d) - Se todos os centros médios não se modificarem do passo (b) para o passo (c), então o processo está terminado. Caso contrário, cada vetor recebe os valores dos centros médios obtidos no passo (c) e o retorna ao passo (b) (processo iterativo). O processo pode também termina se a soma dos quadrados dos erros for inferior a um valor previamente definido.

4.5.2.2.2 - ISODATA

Segundo Richards (1993) e Jensen (1996), ISODATA é um processo iterativo que se utiliza de um procedimento semelhante ao K-médias, no entanto pode alterar o número de classes pré-estabelecidas. O usuário define cinco parâmetros antes da inicialização do

processo: o número K de classes, parâmetros para inicialização dos vetores, limiar de divisão dos agrupamentos, limiar de união dos agrupamentos e o número mínimo de pixel que um agrupamento deve possuir. Os nove passos básicos dessa técnica são:

(a) - Calcula-se a distância euclidiana de cada vetor aos “pixels” e verificam-se os agrupamentos mais próximos;

(b) - São computados então os novos centros médios para cada agrupamento produzido no passo (a);

(c) - Se algum agrupamento ultrapassar o limiar de divisão, ocorre sua divisão;

(d) - Se houver alguma divisão no passo (c), os centros médios serão recalculados;

(e) - Se algum agrupamento não possuir o número mínimo de “pixels” definidos, elimina-se então o agrupamento;

(f) - Se algum agrupamento foi eliminado no passo (e), reagrupa-se os “pixels” e recalcula-se os centros médios;

(g) - Se a distância entre dois agrupamentos for inferior ao limiar de união, junta-se os dois agrupamentos;

(h) - Se ocorrer alguma união no passo (g), recalculam-se os centros médios;

(i) - Repetir os passos (b) ao (h), até que os agrupamentos se estabilizem de acordo com a soma quadrada dos erros, ou até que o número de iterações definida seja excedido.

4.5.2.2.3 - Fuzzy C-médias

Segundo Mather (1987) e Jensen (1996), o algoritmo de iteração utilizado pelo método Fuzzy C-médias é idêntico ao utilizado pelo K-média, no entanto considera-se que um vetor pode possuir pertinência parcial para mais de um grupo e ao final do processo uma tabela de pertinência do vetor para cada grupo é criada.

4.5.2.2.4 - Fuzzy ISODATA

O algoritmo de iterações utilizado pelo método Fuzzy ISODATA é semelhante ao utilizado no método ISODATA, no entanto, considera-se que um vetor pode possuir

pertinência parcial para mais de grupo e ao final do processo uma tabela de pertinência do vetor para cada grupo é criada (MATHER, 1987; JENSEN, 1996).

4.5.2.2.5 - Classificação hierárquica

Esse processo não requer a definição do número inicial de classes. O processo se inicia com cada “pixel” representado uma classe. As matrizes de distância das classes são calculadas e conforme as iterações ocorrem, os “pixels” passam a ser agrupados. O processo termina quando todos os “pixels” formam uma única classe. Cada agrupamento ocorrido é assinalado em um dendograma, que pode auxiliar o usuário a compreender os agrupamentos naturais presentes em seus dados (RICHARDS, 1993).

4.5.2.3 – Classificação orientada ao objeto

A classificação baseada em objetos consiste em subdividir a imagem em objetos de interesse, através da segmentação, para em seguida classificá-los. A segmentação de imagem realiza recortes automáticos ao redor de objetos de interesse. O nível até o qual essa subdivisão deve ser realizada, assim como a técnica utilizada, depende do problema que está sendo resolvido. (GONZALES e WOODS, 2000).

A etapa mais importante do método de classificação baseada em objetos é a segmentação da imagem em objetos significativos, sendo o procedimento de maior relevância para a qualidade da classificação. Os principais fatores que determinam a qualidade da segmentação são o algoritmo de segmentação utilizado e os valores de seus parâmetros. Contudo a relação entre os valores dos parâmetros e o correspondente resultado da segmentação não é muitas vezes evidente, levando o operador a realizar uma série de tentativas e erros para obter um resultado que seja visualmente satisfatório (FEITOSA et al., 2007).

Os algoritmos de segmentação permitem achar diferenças entre dois ou mais objetos, e distinguir as partículas umas das outras. Esta distinção permitirá ao programa interpretar pixels contíguos e agrupá-los em regiões. Os algoritmos de segmentação para imagens são geralmente baseados em uma das seguintes propriedades básicas de valores de níveis de cinza: descontinuidade e similaridade. Na descontinuidade, a abordagem é particionar a imagem baseada em mudanças bruscas nos níveis de cinza. As principais áreas de interesse são a detecção de pontos isolados, detecção de linhas e bordas na imagem. Na similaridade as principais abordagens baseiam-se em limiarização e crescimento de regiões. Desta forma, uma região é uma coleção de pixels conectados de acordo com suas propriedades (BASTOS, 2003).

O método de classificação orientada ao objeto é de grande relevância para se classificar uma imagem de satélite com a finalidade de mapear os diferentes usos da terra, pois tem um melhor funcionamento para classes com respostas espectrais heterogêneas, podendo significar um avanço quando comparado a métodos de classificação pixel a pixel em que a análise é pontual e baseada unicamente em atributos espectrais (BASTOS, 2003).

A caráter de exemplificação, será utilizada a segmentação por crescimento de regiões implementada no software SPRING 5.0 (INPE, 2008), descrito por Batista et al. (1994) e por Bins et al. (1996), que opera da seguinte forma:

(a) - Inicialmente rotula cada "pixel" como uma região distinta;

(b) - Calcula-se um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões;

(c) - Divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então se realiza a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido.

Para a união de duas regiões A e B vizinhas, deve-se adotar o seguinte critério:

(a) - A e B são similares (teste das médias);

(b) - a similaridade satisfaz o limiar estabelecido;

(c) - A e B são mutuamente próximas (dentro os vizinhos de A, B é a mais próxima, e dentro os vizinhos de B, A é a mais próxima).

Caso as regiões A e B satisfaçam estes critérios, estas são agregadas, caso contrário, o sistema reinicia o processo de teste de agregação.

Após segmentação da imagem, deve-se passar a adquirir amostras, semelhante ao processo de aquisição da classificação supervisionada, para enfim executar a classificação utilizando um classificador específico para regiões. Os classificadores de regiões disponíveis no software SPRING 5.0 são: Iseseg, Battacharya e ClaTex.

A classificação orientada ao objeto disponível no software ENVI 4.6, no módulo *Feature Extration*, utiliza-se de um método de segmentação baseado em detecção de bordas. Requer para a segmentação dois parâmetros: escala e agrupamento. O primeiro determina o nível de segmentação da imagem e o segundo a relação de similaridade entre as regiões criadas pelo primeiro. Os classificadores de regiões disponíveis são: *K Nearest Neighbor* e *Support Vector Machine* (ITT, 2008).

São grandes as vantagens observadas no modulo *Feature Extration* quando comparada com a classificação orientada ao objeto do SPRING 5.0. O modulo *Feature Extration* permite a qualquer momento pré-visualizar o resultado da alteração de um parâmetro ou da aquisição de uma amostra, ferramenta que facilita muito no momento de determinar os melhores parâmetros para a segmentação. Permite trabalhar com atributos espaciais (forma, tamanho, área, etc) e textura dos objetos extraídos, enquanto que o SPRING 5.0 trabalha apenas com atributos espectrais. Importante destacar que para o *Feature*

Extraction ainda falta uma documentação mais detalhada da ferramenta (INPE, 2006; ITT, 2008).

4.5.3 - Índices de Vegetação

Segundo Moreira e Shimabukuro (2004), os índices de vegetação começaram a ser pesquisados no final da década de 60 por Jordan (1969) e estão todos apoiados na diferença de resposta da vegetação existente entre a faixa espectral de 0,4 a 0,7 μm , (B, G e R) e a faixa de 0,7 a 0,9 μm (IR), como pode ser observado na figura 15.

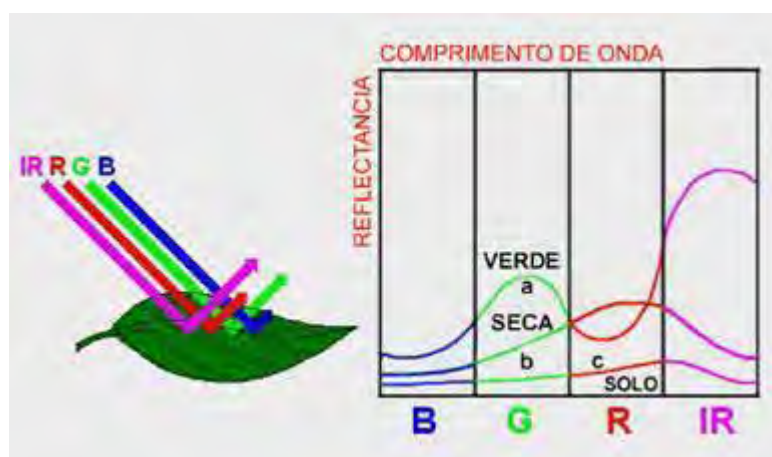


Figura 15 - Resposta espectral da vegetação.

Fonte: Moreira e Shimabukuro (2004)

O primeiro índice de vegetação foi o RVI (Rotation Vegetation Index), que era uma simples razão entre bandas, definido por:

$$RVI = \rho_{IVP} / \rho_V \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo;

ρ_V é a reflectância no vermelho.

A reflectância que deve ser utilizada nessa técnica é a reflectância na superfície da terra, ou seja, é fundamental se corrigir os efeitos causados pela atmosfera em cada uma das bandas. Uma das grandes vantagens de se utilizar a razão entre bandas é que não é preciso corrigir os efeitos causados pela topografia, pois, sendo esse constante para todas as bandas, é anulado.

A finalidade desse procedimento é destacar a diferença de resposta espectral existente entre alvos como solo, rocha e vegetação. Rocha e solo exibem razão entre as bandas similares próximo de um, enquanto que a vegetação apresenta uma razão igual ou superior a dois.

A partir desse índice muitos outros foram criados, com objetivos diversos. O mais utilizado é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que tem como objetivo

amenizar a interferência do solo, a influência atmosférica e as variações zenitais do sol, sendo definido por:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{V}}) \quad \text{(Eq. 5)}$$

Em que:

ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo;

ρ_{V} é a reflectância no vermelho.

Para Schowengerdt (1997), o NDVI é indicado para monitoramento de vegetação em escala continental e global, sendo pouco eficiente para monitoramento em escalas maiores, pois não considera a influência do solo sobre o índice.

Huete (1988) propõe então o SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) para monitoramentos em escalas maiores.

$$\text{SAVI} = \{(\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{V}} + L)\} (1 + L) \quad \text{(Eq. 6)}$$

Em que:

ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo;

ρ_{V} é a reflectância no vermelho.

L é a constante determinada empiricamente para minimizar o efeito do solo sobre o índice.

4.5.4 - Principais Componentes - PCA

A análise da principal componente aplicada ao processamento de imagens multiespectrais parte da premissa de que existe uma grande correlação espectral entre as informações existentes entre bandas de um sensor (JENSEN, 1996).

Segundo Schowengerdt (1997), a correlação ocorre devido a uma combinação de diversos fatores:

(a) - Correlação espectral dos materiais - um exemplo claro desse componente é a baixa refletância da vegetação ao longo do espectro visível, produzindo uma assinatura espectral similar nessa faixa;

(b) - Topografia - para todas as proposições práticas a refletância da topografia é a mesma para todas as bandas de refletância solar e pode ser um componente dominante nas imagens de regiões montanhosas e em imagens com baixo ângulo de elevação solar. Esse componente independe do tipo do material imageado;

(c) - Sobreposição espectral das bandas dos sensores - esse efeito pode ser quase descartado no atual estágio de evolução dos sensores.

Para exemplificação, pode-se utilizar uma imagem do sensor TM do satélite Landsat 5, com as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

A representação gráfica dos conceitos envolvidos nessa técnica, para apenas duas bandas de um sensor, ou seja, bidimensional, é apresentado pela figura 16.

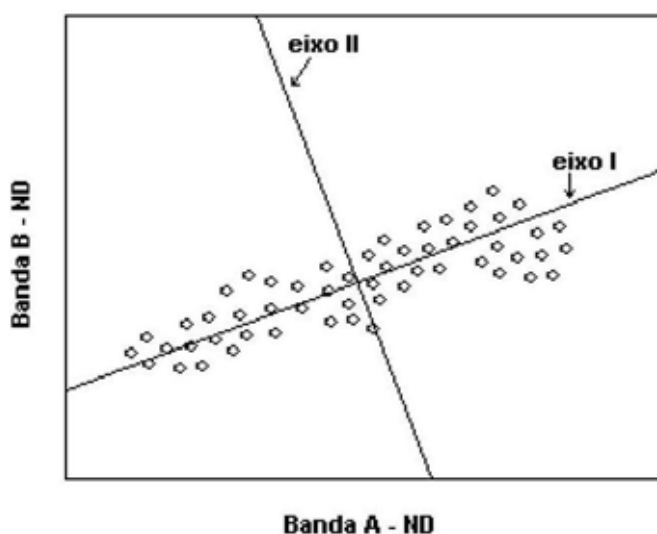


Figura 16 – Representação gráfica dos conceitos PCA

De acordo com a figura 16, o eixo A representa os valores dos números digitais (ND) de uma das bandas e o eixo B os valores dos ND de outra banda do sensor. São então

sobrepostos aos eixos A e B, dois novos eixos, I e II, que foram rotacionados em relação aos eixos originais, de forma que sua origem se situe na média da distribuição dos dados originais. O eixo I define a direção da primeira componente principal enquanto que o eixo II define a direção da segunda componente principal. Estes são ajustados para coincidir com as direções de máxima e mínima variância de número digital.

Neste processo utiliza-se o coeficiente de correlação, ou da covariância, para se determinar um conjunto de quantidades chamadas de autovalores, que representam o comprimento dos eixos das componentes principais de uma imagem e são medidos em unidade de variância. Associados a cada autovalor, existe um vetor de módulo unitário chamado autovetor, representando as direções dos eixos das componentes principais (JENSEN, 1996). São fatores de ponderação que definem a contribuição de cada banda original para uma componente principal, numa combinação aditiva e linear, que é observado através da tabela 10.

Tabela 10 – Matriz de auto-vetores

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
B1	0.22	0.17	0.24	0.47	0.74	0.31
B2	-0.50	-0.23	-0.37	0.71	-0.03	-0.24
B3	0.57	0.25	0.21	0.50	-0.53	-0.19
B4	-0.58	0.19	0.68	0.09	-0.27	0.28
B5	0.10	-0.13	-0.37	0.11	-0.30	0.86
B7	-0.19	0.89	-0.40	-0.05	0.01	-0.01

A redundância da informação pode ser observada quando se obtêm a matriz de correlação. A tabela 11 apresenta a matriz de correlação para a imagem TM utilizada.

Tabela 11 – Exemplo de matriz de correlação

	B1	B2	B3	B4	B5	B7
B1	1,00	0.914	0.881	-0.009	0.463	0.689
B2	0.914	1,00	0.956	0.216	0.668	0.815
B3	0.881	0.956	1,00	0.123	0.123	0.830
B4	-0.009	0.216	0.123	1,00	0.645	0.331
B5	0.463	0.668	0.661	0.645	1,00	0.870
B7	0.689	0.815	0.830	0.331	0.870	1,00

Nessa matriz quanto mais próximo de 1 for o valor, maior é a correlação entre as bandas. Sendo assim observa-se uma grande redundância entre as bandas 1, 2 e 3, com valores acima de 0.8, devido se tratarem de bandas do visível (1,2,3), e uma correlação baixa quando comparada com as bandas do infra-vermelho(4,5,7).

O objetivo desse processamento de imagem é sempre reduzir a redundância espectral existente entre as bandas dos sensores. O resultado são imagens de baixa correlação, denominadas de principais componentes, em que se comprime a informação contida nas

bandas originais em duas ou três bandas transformadas (SCHOWENGERDT, 1997). A compressão é apresentada na tabela 12, que relaciona as principais componentes com a porcentagem da informação para a imagem TM analisada.

Tabela 12 – Componentes principais e porcentagem da informação

PC	% da informação
PC1	68.27
PC2	24.51
PC3	5.27
PC4	0.79
PC5	0.73
PC6	0.3

Para esse caso, a PC1, PC2 e PC3 juntas representam 98,01% da informação enquanto que as demais componentes somam apenas 1,99%.

As aplicações desta técnica para análises multitemporais podem ocorrer de diversas maneiras. Resultados satisfatórios podem ser obtidos através da comparação de imagens da principal componente classificada. Outra possibilidade é a aplicação da técnica da principal componente sobre duas imagens multitemporais, o resultado apresentará na primeira componente as áreas de uso da terra que não mudaram, enquanto que na segunda componente as áreas que mudaram substancialmente. Uma grande dificuldade desse método é de nomear e caracterizar as mudanças identificadas (RICHARDS, 1993).

4.5.5 - Tasseled-Cap componentes

O Tasseled-Cap (TC) foi desenvolvido por Kauth e Thomas (1976) como um índice de vegetação, para aplicação na agricultura, no entanto sua aplicação se estendeu para outras áreas.

O princípio desse método é similar ao PCA, a grande diferença é que enquanto o PCA é dependente da cena da imagem, a transformação TC é independente da imagem e dependente apenas do sensor. Sendo assim, devem-se utilizar parâmetros particulares para cada sensor.

A tabela 13 apresenta os coeficientes TC para transformação das bandas 1, 2,3,4,5 e 7 do satélite Landsat 5 sensor TM elaborado por Crist et al. (1986).

Tabela 13 – Coeficientes TC para transformação de imagem TM-5

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7	Aditivo
Soil Brightness	0.2909	0.2493	0.4806	0.5568	0.4438	0.1706	10.3695
Greenness	-0.2728	-0.2174	-0.5508	0.7221	0.0733	-0.1648	-0.7310
Wetness	0.1446	0.1761	0.3322	0.3396	-0.6210	-0.4186	-3.3828
Haze	0.8461	0.0731	0.4640	-0.0032	-0.0492	0.0119	0.7879
TC 5	0.0549	-0.0232	0.0339	-0.1937	0.4162	.07823	-2.4750
TC 6	0.1186	-0.8069	0.4094	0.0571	-0.0228	0.0220	-0.0336

O processamento resulta em um número de bandas iguais ao número de bandas de entrada. As três primeiras bandas são denominadas de *BGW* (*brightness, greenness e wetness*). A componente *B* apresenta os alvos com maior brilho na faixa espectral do visível, sendo assim, destaca principalmente áreas de solo exposto e áreas densamente edificadas. A componente *G* é praticamente um índice de vegetação, pois destaca a vegetação dos demais alvos. A componente *W* está interessada na umidade contida na cena, sendo assim, a maior resposta fica para os corpos da água.

As aplicações desta técnica para análises multitemporais resultam no destaque de alvos de interesse, para na seqüência se realizar uma classificação supervisionada ou se definir limiares para identificação dos alvos.

4.6 - Metodologias para mapas de uso e ocupação da terra

Para o IBGE (2006), classificar é agrupar objetos, elementos e eventos em conjuntos levando-se em conta suas propriedades de acordo com um método ou sistema de avaliação. As abstrações mentais necessárias para classificação do real são arquitetadas para atender a certos propósitos e às necessidades do usuário. Sendo produto do sujeito que organiza o mundo real, a classificação é subjetiva e nem sempre consegue atender a todo tipo de usuário, tampouco abarcar toda a complexidade do alvo.

Para trabalhos de classificação do uso e ocupação da terra, quatro termos devem estar bem definidos: terra, cobertura da terra, uso da terra e ocupação da terra.

Nesse contexto, a terra pode ser conceituada como um segmento da superfície do globo terrestre definido no espaço e reconhecido em função de características e propriedades compreendidas pelos atributos da biosfera, que sejam razoavelmente estáveis ou ciclicamente previsíveis, incluindo aquelas da atmosfera, solo, substrato geológico, hidrologia e resultado da atividade do homem (FAO, 1976).

A cobertura da terra é definida como os elementos da natureza, ou seja, a vegetação (natural e plantada), água, gelo, rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem, que recobrem a superfície da terra (ANDERSON et al., 1976).

O uso da terra, dentre as várias definições existentes, está sempre associada às atividades conduzidas pelo homem relacionadas a uma área específica. Entende-se por atividade do homem uma série de operações desenvolvidas, com a intenção de obter produtos e benefícios, através do uso dos recursos naturais, ou seja, essa definição limita-se às atividades que estão diretamente relacionadas à terra (BIE ; LEEUWEN e ZUIDEMA, 1996). O termo ocupação da terra qualifica o uso da mesma, sendo que o uso somente é efetivado a partir do momento em que a ocupação é processada (SIMON, 2007).

Sobre a utilização desses termos, o IBGE (2006) considera:

Os conceitos atribuídos à cobertura e ao uso da terra guardam íntima relação entre si e costumam ser aplicados alternativamente. Geralmente, as atividades humanas estão diretamente relacionadas com o tipo de revestimento do solo, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial. Dados de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas e imagens de satélite, podem ser correlacionados com a cobertura da terra e usados para mapear o tema. Entretanto, como o sensor remoto não registra a atividade diretamente, mas características da superfície da terra que retratam o revestimento do solo, as atividades de uso da terra correlacionadas à cobertura precisam ser interpretadas a partir de modelos,

tonalidades, texturas, formas, arranjos espaciais das atividades e localização no terreno.

Por outro lado, nem todas as atividades antrópicas se encontram diretamente relacionadas com a cobertura. O turismo, por exemplo, é uma atividade de lazer que ocorre em coberturas variadas (florestas, campos, águas), e só pode ser correlacionado com a cobertura a partir de dados suplementares.

Situações de usos múltiplos, geralmente difíceis de inventariar e classificar, sobretudo aqueles localizados abaixo da superfície do solo, como a extração mineral em terras florestais, também requerem atenção redobrada do intérprete e a utilização de dados auxiliares para melhor compreensão do problema. (IBGE, 2006. Não paginado).

Foram utilizadas nesse trabalho, como referência, três metodologias de classificação de uso e cobertura da terra: Anderson et al (1976), Bossard; Feranec e Otahel (2000) e IBGE (2006). Pode-se considerar que essas metodologias partem do mesmo esquema teórico da cobertura terrestre para então diferenciar-se no momento de criação das classes de uso do solo de acordo com os seus objetivos. A figura 17 apresenta o esquema teórico da cobertura terrestre utilizada pelo IBGE (2006). Importante destacar que nesse esquema não estão representadas as classes de uso, que estariam localizadas um nível abaixo.

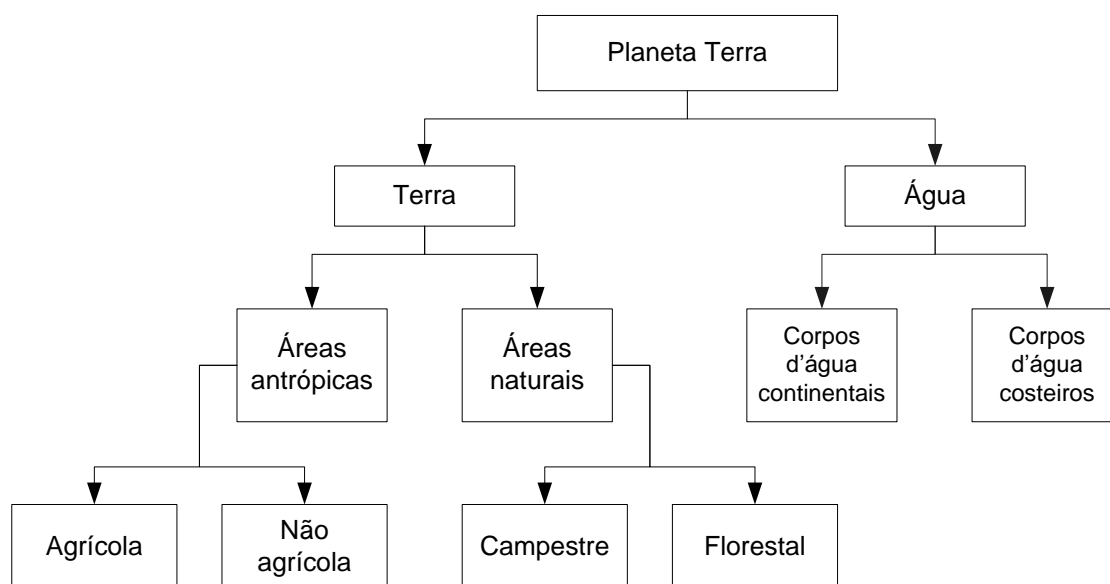


Figura 17 – Esquema teórico da cobertura terrestre. Fonte: IBGE (2006)

Para exemplificação das classes de uso criadas por cada metodologia serão apresentadas todas as classes do primeiro nível e apenas o detalhamento da classe referente ao urbano.

O estudo do uso da terra no Brasil tem como importante referência o trabalho de Anderson et al. (1976) publicado pelo Departamento do Interior dos Estados Unidos. Esse estudo teve como objetivo desenvolver um sistema nacional de classificação que fosse receptivo às entradas de dados, tanto das fontes convencionais quanto dos sensores remotos em aviões de grande altitude e em plataforma de satélites.

O IBGE (2006) considera este trabalho como um marco teórico-metodológico dos estudos contemporâneos do uso da terra, pois além de discutir a importância dos novos recursos tecnológicos para obtenção de informações, apresenta uma visão do conjunto do uso da terra e uma preocupação ambiental.

Anderson et al. (1976) propõe um sistema de classificação com 4 níveis subdivididos de acordo com a característica da informação, como observa-se na tabela 14. Prevê ainda a possibilidade de criação de outros níveis para um possível maior detalhamento.

Tabela 14 – Sistema de classificação de uso e ocupação da terra. Fonte: Anderson et al. (1976).

Nível da classificação	Característica da informação
I	Dados de satélites como o LANDSAT
II	Dados de grandes altitudes, obtidos acima de 40 mil pés (Escala < 1:80.000).
III	Dados de médias altitudes, obtidos entre 10 mil e 40 mil pés (1:20.000 < Escala > 1:80.000)
IV	Dados de pequena altitudes, obtidos abaixo de 10 mil pés (Escala > 1:20.000)

A sugestão de classes para o primeiro nível foi à seguinte: 1 - Urbano e área construída; 2 - Agricultura; 3 - Pastagem; 4 - Floresta; 5 - Água; 6 - Área alagada; 7 - Área árida; 8 - Tundra, 9 - Área permanentemente congelada. Essas classes foram então sucessivamente detalhadas para os níveis inferiores. O detalhamento da classe Urbano e área construída para o nível II é a seguinte: 1.1 - Residencial, 1.2 - Comercial, 1.3 - Industrial, 1.4 - Transporte, comunicação e utilidades, 1.5 - Urbano misto ou área construída, 1.6 - Outros urbanos e áreas construídas.

Bossard; Feranec e Otahel (2000) descrevem a metodologia adotada e desenvolvida pela European Environment Agency – EEA tendo como foco o contexto europeu. Este trabalho confere grande importância aos Sistemas de Informação Geográficos - SIG para mapeamentos do uso e cobertura da terra.

Entre as principais diferenças para o trabalho de Anderson et al. (1976), nota-se que a metodologia europeia é bastante específica e, conseqüentemente, mais prática, tendo como proposta mapear o continente europeu na escala 1:100.000 através de imagens SPOT. O trabalho discute com detalhes as técnicas para identificação das classes na imagem, técnicas para classificação de imagens, bem como sua validação, sobre a plataforma de um SIG próprio.

A metodologia proposta por Bossard, Feranec e Otahel (2000) inclui, no primeiro nível, as seguintes classes, 1 - Áreas artificiais, 2 - Agricultura, 3 - Floresta e áreas semi-

naturais, 4 - Áreas alagadas, 5 - Corpos d'água. O detalhamento da classe Áreas artificiais é a seguinte: 1.1 - Área administrativa, 1.2 - Industrial, comercial e unidades de transporte, 1.3 - Mineração e extrativismo, 1.4 - Vegetação artificial (não-agrícola). Pelo fato da metodologia utilizar apenas a escala 1:100.000, limita-se a dois níveis para classificação do uso e cobertura da terra.

A proposta do IBGE (2006) é bastante semelhante à proposta de Anderson (1976) por tratar-se de uma metodologia de mapeamento de caráter geral e pouco específica. Divide o universo em três níveis de abstração. O primeiro nível é o único que a metodologia indica um intervalo de escala (entre 1:100.000 e 1:250.000), para os dois níveis demais não é associado escala de trabalho.

Esta metodologia inclui, no primeiro nível, as seguintes classes: 1 – Áreas antrópicas não-agrícolas, Áreas antrópicas agrícolas, Áreas de vegetação natural, Águas. O detalhamento da classe Áreas antrópicas não-agrícolas é a seguinte: 1.1 – Áreas urbanizadas, 1.2 – Áreas de extração mineral. O detalhamento da classe Áreas urbanizadas é a seguinte: 1.1.1 Unidade de conservação de proteção integral, 1.1.2 – Unidade de conservação de uso sustentável, 1.1.3 – Terra indígena, 1.1.4 – Cidades, vilas, 1.1.5 – Complexo industrial.

O IBGE (2006) destaca que esta nomenclatura foi concebida para o uso da terra voltado para os recursos naturais, com preocupação socioeconômica e ambiental.

Analisando as três metodologias é possível fazer as seguintes considerações sobre os níveis de abstração utilizados:

Nível I - Indica as principais categorias da cobertura terrestre no planeta. Tais coberturas podem ser discriminadas apenas com o uso de produtos de sensoriamento remoto, atendendo a necessidade de escalas menores que 1:100.000. As diferenças de termos utilizados nesse nível ocorreram, principalmente, por se tratarem de metodologias propostas para continentes diferentes;

Nível II - Indica uma mistura de categorias de coberturas e classes de usos da terra, pois nem todos os usos podem ser discriminados nesse nível. Necessita-se do uso de produtos de sensoriamento, além de dados auxiliares. Para áreas urbanas, a metodologia européia e americana são mais semelhantes, e a brasileira opta por não detalhar a área urbana neste nível;

Nível III - Apresenta as classes de usos da terra propriamente ditas. Neste nível é indispensável à utilização dados auxiliares aos produtos de sensores remotos. As

metodologias brasileira e americana não estabelecem um limite de classes para este nível, visto a enorme diversidade possível de usos da terra.

É importante destacar que as metodologias brasileira e européia não privilegiam o estudo de áreas intra-urbanas, estando todas voltadas para os recursos naturais e econômicos. Anderson (1976) é o que melhor aborda este tema, trabalhando com diferentes escalas, prevendo um detalhamento progressivo das áreas urbanas.

4.7 – Pressão antrópica

O antropismo é caracterizado por toda e qualquer interferência do homem na natureza. Para Monteiro e Sawyer (2001) pressão antrópica é o potencial humano para transformação do meio ambiente e mensurar esse potencial é o objetivo dos índices de pressão antrópica.

O índice de pressão antrópica, proposto por Monteiro e Sawyer (2001), representa um indicador de pressões econômicas e demográficas sobre o meio ambiente. Segundo estes autores, o índice de pressão antrópica, construído sobre uma base de dados secundários, sintetiza as pressões de transformação que um determinado meio-ambiente está sujeito devido à ação humana, quer seja no tocante à poluição ou depleção dos recursos naturais. Em outras palavras, o índice de pressão antrópica consiste em indicador útil para se avaliar o potencial de dinâmica ambiental de uma determinada região diante de um conjunto de condições socioeconômicas de contorno.

Braga e Freitas (2003) elaboraram um índice de pressão antrópica para municípios que avalia o potencial de impacto e degradação, por meio do grau de estresse exercido pela intervenção antrópica (urbanização e principais atividades econômicas) sobre o sistema ambiental local, com especial atenção para seu potencial poluidor, ritmo de crescimento e concentração espacial. Para esses autores a pressão antrópica de um município deve ser mensurada através da relação entre as pressões urbanas, industrial, mineração e agropecuária.

O índice de pressão antrópica para os municípios da Amazônia brasileira, elaborado por Soares-Filho e Garcia (2003) é composto por quatro dimensões: concentração demográfica, desenvolvimento econômico, infra-estrutura agrária e pressão agropecuária e extração vegetal. A proposta é que o índice seja uma síntese dos dados sociais e econômicos presentes nos censos demográficos.

Neste trabalho, entende-se como pressão antrópica o potencial humano existente para transformação do meio, sendo natural ou alterado. Assim, considerando a faixa de dutos como foco principal deste trabalho, foi elaborado o índice de pressão antrópica às faixas de dutos – IPA_d. Ele representa uma medida de proporção de área entre as classes de uso e ocupação da terra acrescido da ponderação da pressão antrópica a faixa de dutos considerada para cada uma das classes.

5 – MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em diferentes fases, conforme ilustrado no fluxograma da figura 18.

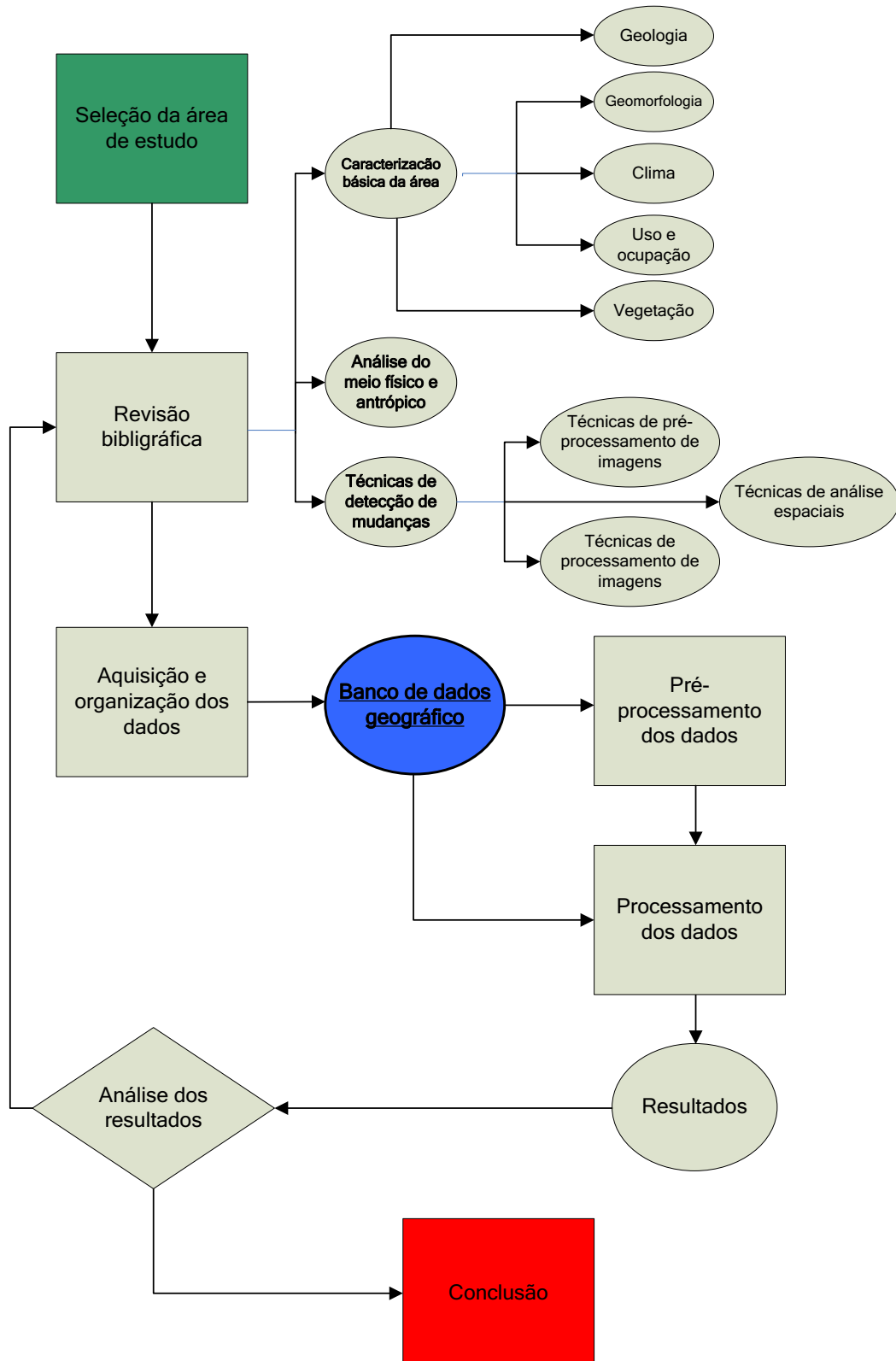


Figura 18 - Fluxograma da pesquisa

As fases de aquisição, pré-processamento e processamento dos dados e de análise dos resultados, foram desenvolvidas através das seguintes etapas:

(1) Aquisição dos dados – os dados foram adquiridos com a finalidade de compor a base cartográfica do estudo e para caracterização da área em termos físicos e socioeconômicos;

(2) Pré-processamento das imagens – Esta etapa consistiu-se em executar a correção radiométrica sobre as imagens originais, necessária para alguns experimentos, e produção de arquivos auxiliares para classificação;

(3) Experimento 1 – Esta etapa teve como objetivo testar duas técnicas de detecção de mudanças e os resultados determinou a necessidade em se trabalhar com a técnica de diferença de imagem classificada, desconsiderando assim as demais;

(4) Classificação de imagens para uso e ocupação da terra – Buscou-se determinar e caracterizar as classes de uso e ocupação da terra que foram utilizadas nos experimentos 2, 3 e 4;

(5) Índice de pressão antrópica às faixas de dutos – IPA_d – Neste ponto se fez a proposta do Índice para relacionar as classe de uso e ocupação da terra com a pressão oferecida aos dutos;

(6) Atualização do mapa de sistemas de relevo – A atualização foi necessária, pois existia a necessidade de compatibilização da escala do mapa de sistema de relevo obtido da CPRM com a escala das imagens utilizadas. O relevo foi utilizado como condicionante do uso e ocupação;

(7) Mapa de zonas de influência da faixa de dutos – Foi produzido para servir como uma referência de posição de um determinado ponto em relação à faixa de dutos;

(8) Mapa de regiões de interesse – Nesta etapa realizou-se o cruzamento do mapa de zonas de influência da faixa de dutos com o mapa de sistemas de relevo produzindo as regiões de interesse;

(9) Experimento 2 – Esta etapa foi importante para testar a técnica de classificação de imagem pixel a pixel, bastante conhecida e já implementada em diferentes programas de forma semelhante. Os resultados apontaram a impossibilidade dessa técnica em delimitar duas das classes de uso e ocupação propostas;

(10) Experimento 3 – Nesta etapa foi testado um segmentador e um classificador de imagem por região implementado em um SIG gratuito nacional, o SRPING 5.0 (INPE, 2008). Os resultados mostraram que o caminho era utilizar uma classificação por região, no entanto identificou-se a necessidade de buscar outra ferramenta, que oferecesse uma melhor segmentação e a possibilidade de se trabalhar com outros atributos para classificação, como por exemplo, a textura;

(11) Experimento 4 – Foi testado uma ferramenta de segmentação e de classificação implementada recentemente no software Envi 4.6 (ITT, 2009), que ofereciam outra possibilidade de segmentação e classificação, os resultados apresentaram os melhores acertos gerais e coeficiente Kappa, sendo assim, adotou-se estes resultados para produção dos mapas de uso e ocupação da terra;

(12) Mapa uso e ocupação da terra e mapa de mudanças – A partir dos resultados do experimento 4 e com a utilização de algumas premissas, se produziu o mapa de uso e ocupação da terra. Os mapas de mudanças foram gerados aplicando a técnica de diferença de imagem sobre os mapas de uso e ocupação da terra.

(13) Análise do uso e ocupação da terra e de mudanças – Nesta etapa foi calculado o IPA_d para os sistemas de relevo, zonas de influência da faixa de dutos e regiões de interesse, sendo em seguida analisados

Todas as etapas estão detalhadas nos subitens do item Métodos e Etapas da Pesquisa

5.1 - Aquisição dos dados

Foram adquiridos imagens, mapas e folhas topográficas relacionados nas tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15 – Relação de imagens adquiridas

Satélite/Sensor	Data	Orbita/ponto	Local	Resolução	Instituição
Landsat 5/TM	20/05/1986	217/076	-	30m	INPE ¹
Landsat 5/TM	29/05/1995	217/076	-	30m	INPE ¹
Landsat 5/TM	09/06/2005	217/076	-	30m	INPE ¹
Lansat 7/ETM+	28/10/2001	217/076	-	30m multi 15m pan	GLCF ²
Lansat 7/ETM+	2000	-	S-23/20	14,25m	NASA ³
SRTM ⁵	2000		SF-23-Z-A	90m	Embrapa ⁴
SRTM ⁵	2000		SF-23-Z-B	90m	Embrapa ⁴

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; ² Global Land Cover Facility; ³ National Aeronautics and Space Administration; ⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ⁵ Shuttle Radar Topography Mission

Tabela 16 – Relação de mapas e outros dados espaciais adquiridos

Nome	Escala	Formato	Ano	Fonte
Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro	1:400.000	Digital/Raster	2000	CPRM ¹
Mapa de Unidade do Relevo do Estado do Rio de Janeiro	1:400.000	Digital/Raster	2000	CPRM ¹
Mapa de Isoietas Totais Anuais do Estado do Rio de Janeiro	1:400.000	Digital/Raster	2000	CPRM ¹
Mapa de Unidades Geoambientais do Estado do Rio de Janeiro	1:400.000	Digital/Raster	2000	CPRM ¹
Mapa de Sistemas de Relevo do Estado do Rio de Janeiro	1:250.000	Digital/Raster	2000	CPRM ¹
Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro	1:250.000	Digital/Vetor	2003	Embrapa ²
Carta geológica do Brasil ao milionésimo, folha SF.23	1:1.000.000	Digital/Vetor	2004	CPRM ¹
Traçado Faixa de Dutos (Rio – Belo Horizonte)	1:30.000	Digital/Vetor		Transpetro ³
Área municípios	1:500.000	Digital/Vetor	2005	IBGE ⁴

¹ Companhia de Recursos Minerais; ² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ³ A Petrobras Transporte S.A.; ⁴ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Tabela 17 – Relação de cartas topográficas adquiridas

Folha	Código	Formato	Escala	Levantamento
Cava	SF-23-Z-B-IV-1	Digital/Raster	1:50.000	DSG ¹
Vila Militar	SF-23-Z-B-IV-3	Digital/Raster	1:50.000	DSG ¹
Baía da Guanabara	SF-23-Z-B-IV-4	Digital/Raster	1:50.000	DSG ¹
Santa Cruz	SF-23-Z-A-VI-4	Digital/Raster	1:50.000	DSG ¹
Paracambi	SF-23-Z-A-VI-2	Digital/Raster	1:50.000	DSG ¹
Petrópolis	SF-23-Z-B-IV-2	Digital/Vetor	1:50.000	IBGE ²

¹ Diretoria de Serviço Geográfico; ² Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

As imagens TM foram adquiridas do catálogo de imagens do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, com a finalidade de realizar uma análise

multitemporal em um período de 20 anos, e assim optou-se por imagens do sensor Landsat TM5, que está em operação desde 1984. As datas das imagens foram selecionadas de acordo com a disponibilidade, ocorrência de nuvens, período do ano e proximidade do dia de aniversário. As datas das imagens disponíveis que melhor atenderam os quesitos descritos acima foram: 20/05/1986, 29/05/1995 e 09/06/2005 da órbita/ponto 217/76.

As imagens do sensor ETM+/Landsat 7 foram adquiridas pois apresentam uma banda pancromática de resolução de 15 metros.

Os mapas, com exceção do mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro (EMBRAPA, 2003) e da Carta Geológica do Brasil ao milionésimo, folha SF-23 (CPRM, 2004), foram obtidos do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000). As cartas topográficas de responsabilidade do IBGE foram obtidas no próprio site da instituição, e as cartas sob responsabilidade do DSG foram cedidas pela 5ª Divisão de Levantamento do DSG/RJ - Diretoria de Serviço Geográfico. O objetivo da aquisição dessas informações foi caracterizar a área de estudo e compor a base cartográfica para pré-processamento das imagens e análise do meio físico e antrópico.

5.2 - Pré-processamento das imagens

A partir das imagens originais, foram geradas as imagens de reflectância aparente através da proposta de Chander e Markham (2003) e, na sequência, foram obtidas as imagens de reflectância de superfície através do método de correção da atmosfera de subtração do pixel escuro proposto por Chavez (1988). Esse procedimento foi necessário, pois algumas técnicas de detecção de mudanças necessitam de imagens normalizadas. Posteriormente, as imagens originais e de reflectância foram georreferenciadas tendo como referência a base cartográfica do IBGE e do DSG obtidas em formato digital. Toda a etapa de pré-processamento foi realizada com o auxílio do software ENVI 4.5 (ITT, 2009) e ArcGis 9.3 (ESRI, 2008).

Para auxiliar a visualização das imagens e aquisição das amostras foram criadas quatro novas imagens para cada data utilizando as seguintes técnicas:

(a) - Contraste linear;

(b) - Principais Componentes;

(c) - Tasseled-Cap Componentes;

(d) - Realce TM – Tipo de filtro passa alta presente no software SPRING 5.0, construído com a finalidade específica de realce das imagens TM. O resultado são imagens que apresentam as feições de bordas realçadas.

5.3 - Experimento 1

As duas primeiras técnicas de detecção experimentadas são denominadas por Lu et al. (2004) de diferença de NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) e comparação de imagens classificadas. O objetivo deste experimento foi identificar as transformações das áreas verdes para não verdes e vice-versa para o ano de 1986 e 1995. A figura 19 apresenta o fluxograma simplificado de trabalho deste primeiro experimento.

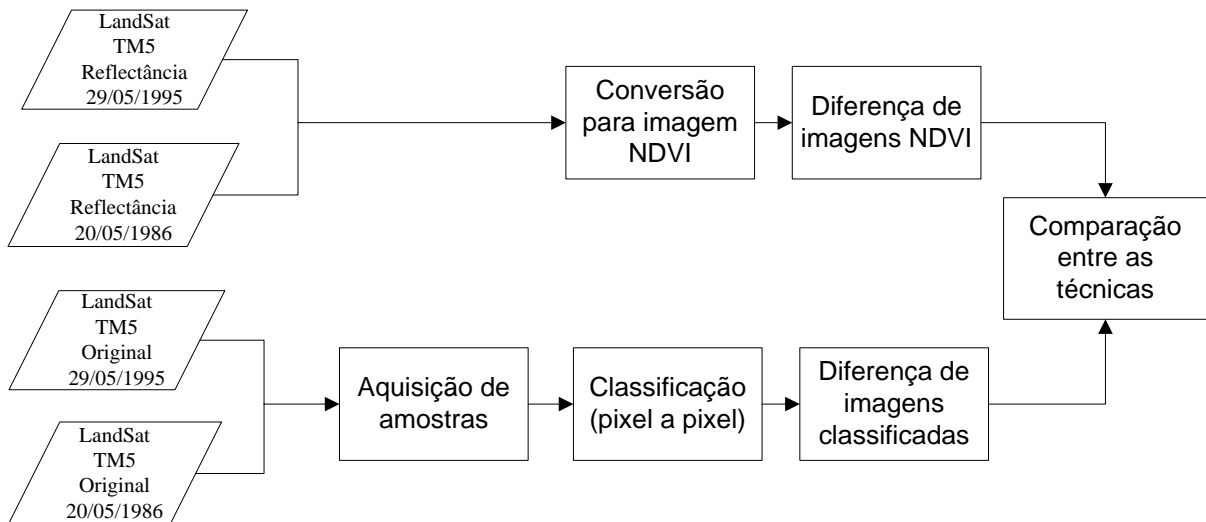


Figura 19 - Fluxograma de trabalho do experimento 1.

Para realizar o processamento da comparação de imagens classificadas utilizou-se o software Spring 5.0 (INPE, 2008), com o classificador pixel a pixel denominado MAXVER (máxima verossimilhança). Para esta técnica utilizou-se as imagens originais. A escolha de um classificador pixel a pixel nesse primeiro experimento ocorreu para permitir uma maior comparação com o método de diferença do NDVI.

Foram utilizadas apenas duas classes para aquisição das amostras, uma denominada AREA-VERDE, que representava os alvos com resposta espectral de vegetação e outra denominada OUTROS, que representava os demais elementos da imagem. Optou-se inicialmente por essas classes, pois além de serem de fácil reconhecimento nas imagens, permitiu utilizar uma técnica que não requer uma classificação, o NDVI.

Adquiriram-se amostras diferentes para cada data, entretanto buscou-se utilizar sempre os mesmo critérios de aquisição.

Após a classificação das duas datas, realizou-se a subtração da imagem de 1986 da imagem de 1995 produzindo uma imagem diferença da classificação com três classes: a primeira que representava as áreas em que não houve alteração da classe, a segunda as áreas

que deixaram de ser AREAS-VERDES e se tornaram *OUTROS* e a terceira que deixou de ser *OUTROS* e se tornaram AREAS-VERDES.

O processamento referente à técnica de diferença de NDVI foi realizado no software ENVI 4.6 (ITT, 2009). Para esta técnica utilizou-se as imagens normalizadas. O índice de vegetação foi calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad \text{(Eq. 7)}$$

Em que:

NIR é a reflectância do infravermelho próximo;

RED é a reflectância do vermelho

As imagens NDVI foram classificadas utilizando um limiar definido através de amostras, com o objetivo de separar as áreas verdes dos demais alvos. Utilizou-se a subtração de imagens para produzir uma imagem diferença de NDVI com três classes iguais às da imagem diferença da classificação.

Na tentativa de análise dos resultados, notou-se que a classe AREA-VERDE e a classe *OUTROS* utilizadas não apresentavam relevância para o estudo de risco dos dutos. Assim, optou-se por realizar novos experimentos inserindo novas classes de uso da terra.

5.4 – Classificação de imagens para uso e ocupação da terra.

5.4.1 – Ferramentas para classificação

Neste estudo foram avaliadas três diferentes abordagens de classificação de imagens para uso e ocupação da terra.

(a) - Classificação pixel a pixel através do classificador de máxima verossimilhança, implementado no software SPRING 5.0 (INPE, 2008) (Experimento 2);

(b) - Classificação pela segmentação de imagens através do classificador *Battacharya*, implementado no software SPRING 5.0 (INPE, 2008) (Experimento 3);

(c) - Classificação pela segmentação de imagens através do classificador K vizinho mais próximo, implementado no software Envi 4.6 (ITT, 2009) (Experimento 4).

5.4.2 – Escala de trabalho

A definição da escala de trabalho foi feita de acordo com a precisão gráfica e a resolução espacial das imagens TM-5. Precisão gráfica é a menor grandeza medida no terreno, capaz de ser representada em desenho na mencionada escala. De acordo com Silva et al. (1998) e Menezes e Neto (1999) a precisão gráfica admitida no Brasil é de 0,2 mm, sendo este também o erro admissível. Por exemplo, em uma escala 1:50.000, o tamanho do menor objeto no terreno que pode ser representado tem um diâmetro de 10 m.

Partindo da relação entre precisão gráfica (0,2 mm) e a resolução espacial da imagem TM-5 (30 m) resulta a escala de trabalho. Sendo 30 m o menor diâmetro de um objeto no terreno representando em uma imagem TM-5, a escala de trabalho é 1:150.000. A menor área mapeável foi também retirada da resolução da imagem, ou seja, 900 m² (30m X 30m).

A escala de trabalho influenciou diretamente na definição das classes de uso e ocupação e na atualização do mapa de sistemas de relevo.

5.4.3 – Classes de uso e ocupação da terra

As classes de uso e ocupação da terra foram elaboradas com base nas metodologias discutidas no item 4.6, mas também foi considerado o fato que o uso ou a ocupação delimitado deveria ter uma relação direta com a questão das pressões antrópicas sobre a faixa de dutos. A pressão antrópica inferida para as classes de uso e ocupação indicam a presença maior ou menor de atividade humana naquela classe.

A figura 20 apresenta o desdobramento do esquema teórico, utilizado pelo IBGE (2006), para as classes de uso e ocupação da terra adaptado para esse trabalho.

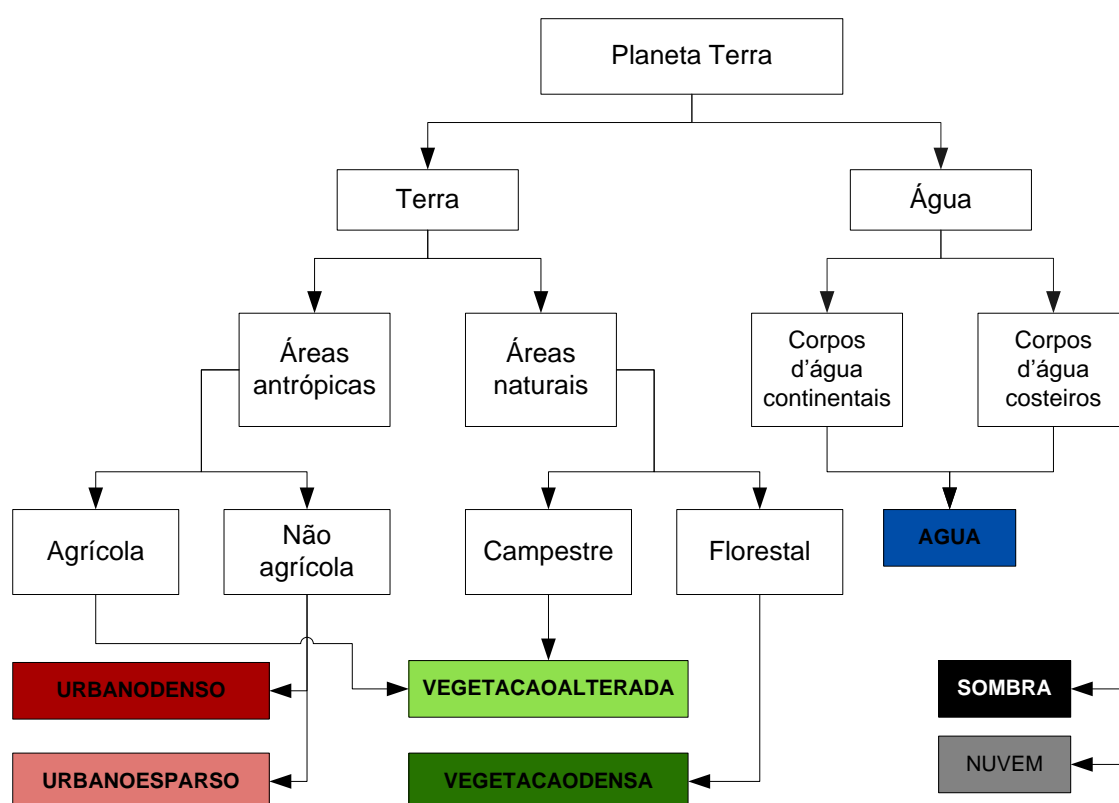


Figura 20 - Esquema teórico das classes de uso e ocupação da terra. Fonte: adaptado de IBGE (2006)

As classes de uso e ocupação da terra estão descritas a seguir.

(a) - duas classes de uso urbano: a primeira denominada URBANODENSO, caracteriza-se por um uso urbano mais consolidado e denso, em que predominam a pavimentação, edificações e pouca vegetação. A segunda denominada URBANOESPARSO, caracteriza-se por uma ocupação urbana mais espaçada em que ocorre uma mistura grande de pavimentação, edificações e vegetação. A resposta espectral dessa classe confunde-se com a resposta da classe VEGETACAOALTERADA;

(b) - duas classes de vegetação: a primeira denominada VEGETACAODENSA, caracterizada pela predominância da vegetação original e de grande porte, localizada em sua

grande parte em regiões da serra do mar e em topos de morro. A segunda, denominada VEGETACAOALTERADA, caracterizada por uma vegetação de menor porte, como gramíneas e arbustos, em que muitas vezes observa-se a influência do solo na resposta dos alvos;

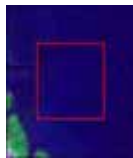
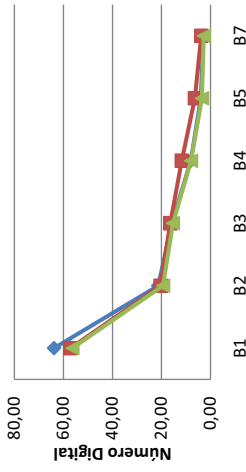
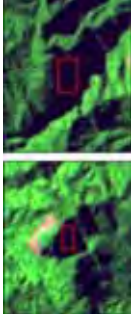
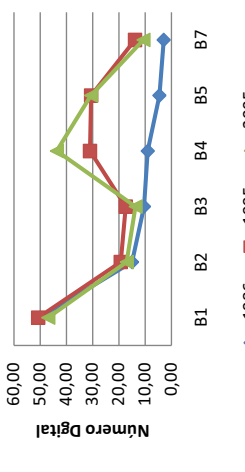
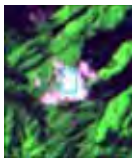
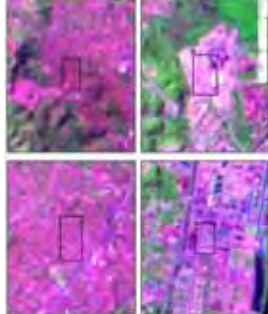
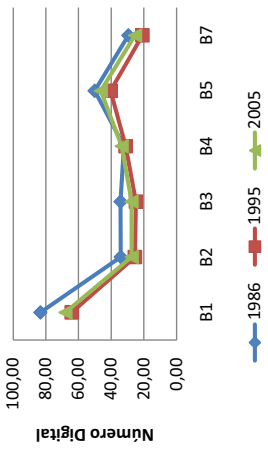
(c) - uma classe de corpos d`água, denominada AGUA;

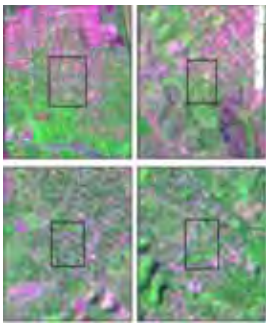
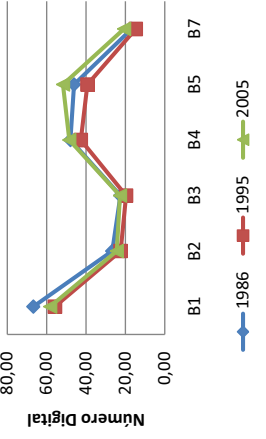
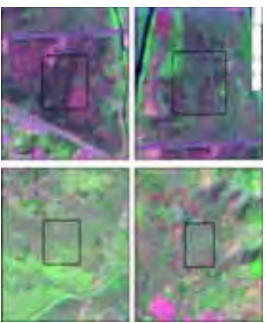
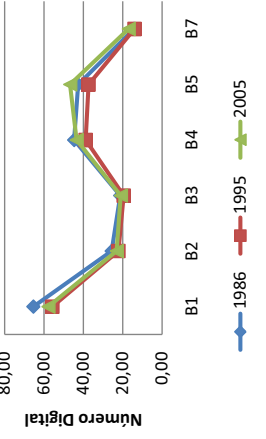
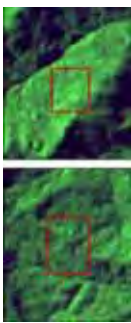
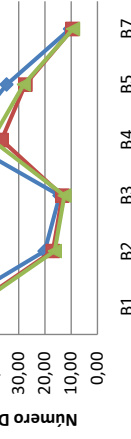
(d) - uma classe representando as áreas não imageadas pelo sensor devido a sombras do relevo e das nuvens, denominada SOMBRA;

(e) - uma classe de nuvem, denominada NUVEM.

A tabela 18 apresenta uma visão geral das amostras das classes de uso e ocupação da terra, bem como sua chave de interpretação, estatística descritiva e os resultados estatísticos em cada uma das classificações experimentadas.

Tabela 18 – Visão geral das classes através das amostras, chave de interpretação, estatísticas descritivas e resultados das classificações

Classe	Caracterização	Exemplo de amostra (TM 7R4G3B)	Chave de interpretação	Estatística descritiva das amostras	Resultado da classificação
AGUA	Corpos d'água		Cor: Azul com tonalidade escura Textura: Homogênea		Porcentagem de acertos Maxver1 1986: 100% Maxver 1 1995: 100% Maxver 2 1986: 100% Maxver 2 1995: 100% SegSpring 1986: 100% SegSpring 1995: 100% SegSpring 2005: 100% SegFX 1986: 100% SegFX 1995: 100% SegFX 2005: 100%
SOMBRA	Áreas não imageadas pelo satélite devido a sombras do relevo e das nuvens		Cor: Preto Textura: Homogênea		Porcentagem de acertos Maxver1 1986: 33,33% Maxver 1 1995: 40,00% Maxver 2 1986: 16,67% Maxver 2 1995: 40,00% SegSpring 1986: 66,67% SegSpring 1995: 60,00% SegSpring 2005: 60,00% SegFX 1986: 83,33% SegFX 1995: 60,00% SegFX 2005: 60,00%
NUVEM	Nuvens		Cor: Branca e magenta Textura: Homogênea		
URBANODENSO	Áreas predominantemente construídas com pouca ou nenhuma vegetação.		Cor: Predomina o magenta com variações de tonalidade do claro ao escuro. Textura: Homogênea Obs: Padrão regular de edificação e arruamento		Porcentagem de acertos Maxver1 1986: 75,00% Maxver 1 1995: 73,68% Maxver 2 1986: 93,75% Maxver 2 1995: 72,22% SegSpring 1986: 87,50% SegSpring 1995: 77,78% SegSpring 2005: 92,31% SegFX 1986: 87,50% SegFX 1995: 94,44% SegFX 2005: 92,31%

Classe	Caracterização	Exemplo de amostra (TM 7R4C3B)	Chave de interpretação	Estatística descritiva das amostras	Resultado da classificação
URBANOESPARGO	Mistura de pavimentação, edificações e vegetação.		Cor: Apresenta as cores magenta e verde com tonalidades variando do claro ao escuro. Textura: Heterogênea Obs: Padrão regular de edificação e arruamento		Porcentagem de acertos Maxver1 1986: 62,50% Maxver 1 1995: 75,00% Maxver 2 1986: 68,75% Maxver 2 1995: 80,00% SegSpring 1986: 75,00% SegSpring 1995: 55,00% SegSpring 2005: 66,67% SegFX 1986: 81,25% SegFX 1995: 85,00% SegFX 2005: 80,00%
VEGETAÇÃO ALTERNADA	Vegetação de menor porte, como gramíneas e arbustos, em que muitas vezes observa-se a influência do solo na resposta dos alvos		Cor: Apresenta as cores magenta e verde com tonalidades variando do claro ao escuro. Textura: Homogênea		Porcentagem de acertos Maxver1 1986: 74,14% Maxver 1 1995: 49,02% Maxver 2 1986: 48,28% Maxver 2 1995: 55,77% SegSpring 1986: 60,34% SegSpring 1995: 59,62% SegSpring 2005: 40,82% SegFX 1986: 86,21% SegFX 1995: 80,77% SegFX 2005: 87,76%
VEGETAÇÃO DENSA	Vegetação original e de grande porte, localizada, em sua grande parte, em regiões da serra do mar e em topos de morro		Cor: predomina o verde com tonalidades variando do claro ao escuro. Textura: Homogênea		Porcentagem de acertos Maxver1 1986: 96,97% Maxver 1 1995: 97,06% Maxver 2 1986: 100,00% Maxver 2 1995: 97,06% SegSpring 1986: 96,97% SegSpring 1995: 94,12% SegSpring 2005: 94,12% SegFX 1986: 87,88% SegFX 1995: 91,18% SegFX 2005: 85,29%

5.4.4 – Ferramentas para validação e análise da classificação

Para avaliação das classificações dos experimentos 2, 3 e 4 foi gerada uma matriz regular de 3 km por 3 km, sendo adquirido um ponto no centro de cada célula, totalizando 130 pontos amostrais para uma área de aproximadamente 1068 km² correspondente a área dos três municípios. Os pontos foram então classificados visualmente segundo as classes de uso da terra estabelecidas sendo utilizados como verdade. A tabela 19 apresenta o número de amostras adquiridas para cada classe.

Tabela 19 – Número de amostras verdade adquiridas para validação das classificações

Classe	Nº Amostra 1986	Nº Amostra 1995	Nº Amostra 2005
AGUA	1	1	1
NUVEM	0	0	0
SOMBRA	6	5	5
URBANODENSO	16	18	26
URBANOESPARSO	16	20	15
VEGETACAOALTERADA	58	52	49
VEGETACAODENSA	33	34	34

As matrizes de confusão foram produzidas a partir do cruzamento das amostras verdade com os resultados das classificações. Dessas matrizes foram avaliados os desempenhos das classificações, através do acerto geral (medida de proporção entre os acertos e os erros) e do coeficiente Kappa (COHEN, 1960).

Segundo Antunes e Lingnau (1997) o coeficiente Kappa é um dos mais indicados para mensurar concordância entre classificações de imagens orbitais. O índice demonstra uma concordância, em escala nominal, entre os resultados das classificações e as amostras verdade. A tabela 20 apresenta a escala de concordância Kappa.

Tabela 20 – Escala Kappa de concordância nominal

Intervalo Kappa	Concordância
$K < 0$	Péssima
0 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Moderada
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Ótima
0,81 – 1,00	Excelente

Com base nas análises visuais das imagens e do conhecimento da dinâmica de uso e ocupação da terra, foram estabelecidas algumas premissas relacionadas ao comportamento esperado das classes de vegetação e urbano para auxiliar a análise dos resultados.

1^a premissa - uma vez que uma área é classificada como URBANODENSO não é esperado que ocorra nenhuma mudança em datas posteriores, sendo assim é esperado um crescimento da mesma ao longo do tempo.

2ª premissa - uma vez que uma área é classificada como URBANO ESPARSO é esperado apenas a mudança para a classe URBANODENSO, pois esse fato indicaria um adensamento de edificações naquele local. Sendo assim, podem-se admitir pequenas reduções de área ao longo tempo para esta classe.

3ª premissa - Para VEGETACAOALTERDA é coerente a alteração para qualquer uma das três classes, no entanto espera-se uma significativa redução de área ao longo dos períodos.

4ª premissa - Para VEGETACAODENSA é coerente a alteração para qualquer uma das três classes, no entanto não se espera mudanças significativas de área ao longo dos períodos.

5.5 – Índice de pressão antrópica às faixas de dutos – IPA_d

O índice de pressão antrópica às faixas de dutos – IPA_d utilizado nesse trabalho é uma medida de proporção de área entre as classes de uso e ocupação da terra acrescido da ponderação da pressão antrópica às faixas de dutos considerada para cada uma das classes. A principal função do índice no trabalho é permitir a análise de forma conjunta as classes de uso e ocupação relacionadas ao urbano e vegetação, sendo elaborado de forma genérica para permitir sua aplicação em qualquer áreas de interesse.

Considerando a descrição e caracterização de cada classe, foi possível ponderar um valor para pressão antrópica entre as classes de vegetação e urbano. Utilizou-se uma amplitude de valores entre 0 (menor pressão) e 1 (maior pressão). A tabela 21 apresenta os valores de pressão ponderados para as classes de vegetação e urbano.

Tabela 21 – Pressão antrópica das classes de uso e ocupação da terra

Classes	Pressão antrópica
URBANODENSO	1
URBANOESPARSO	0,75
VEGETACAOALTERADA	0,5
VEGETACAODENSA	0

A classe URBANODENSO recebeu o valor 1 e corresponde as áreas predominantemente construídas com pouca ou nenhuma vegetação, ou seja, há grande intensidade de atividade humana e conseqüentemente maior pressão antrópica dentre as classes analisadas.

A classe VEGETACAODENSA recebeu o valor 0 e corresponde as áreas de vegetação original e de grande porte, localizadas, em sua grande parte, em regiões da Serra do Mar e em topos de morro, não havendo indícios de atividade humana significativa ou impactante, sendo considerada uma área de pressão antrópica nula.

A classe VEGETACAOALTERADA recebeu o valor 0,5 e corresponde as áreas de vegetação de pequeno porte, como gramíneas e arbustos, em que muitas vezes observa-se a influência do solo na resposta dos alvos, devido possivelmente ao uso agrícola diversificado e a vegetação natural degradada. As atividades humanas são dispersas e em menor número que a classe URBANOESPARSO, representando assim pressão antrópica menor, porém existente.

A dinâmica esperada para essa classe é que a mesma pode tanto tornar-se VEGETACAODENSA quanto seguir para as classes de urbano, o que justifica o valor de 0,5.

A classe URBANOESPARSO recebeu o valor 0,75 e corresponde a áreas com um misto de pavimentação, edificações e vegetação, onde o uso é tipicamente urbano, entretanto com menor densidade das atividades humanas. Assim, apresenta pressão antrópica menor que a classe URBANODENSO, porém maior que a VEGETACAOALTERADA. O valor atribuído está entre os valores de URBANODENSO e VEGETACAOALTERADA, pois foi considerado que nessas áreas, de forma geral, havia iguais proporções de área edificadas e áreas com vegetação.

O valor do IPA_d deve ser sempre analisado tendo como referencial a tabela de pressão antrópica das classes, visto que a pressão antrópica não foi quantificada e sim ponderada entre as classes de uso e ocupação.

O IPA_d foi calculado de acordo com a equação a seguir:

$$IPA = dUD * pUD + dUE * pUE + dVA * pVA + dVD * pV \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

d - densidade da classe de uso e ocupação na região ou zona de análise, obtida através da razão entre a área total da classe na região de análise e a área total da região.

p – pressão antrópica da classe de uso e ocupação

UD – URBANODENSO

UE - URBANOESPARSO

VA – VEGETACAOALTERADA

VD - VEGETACAODENSA

Como exemplificação, considere uma região ou zona de análise composta por 50% de URBANODENSO, 20% de URBANOESPARSO, 20% de VEGETACAOALTERADA e 10% de VEGETACAODENSA. O cálculo do IPA para esse caso fica assim:

$$IPA = 0,5*1 + 0,2*0,75 + 0,2*0,5 + 0,1*0$$

$$IPA = 0,75$$

Como a pressão antrópica da classe VEGETACAODENSA foi considerada 0, pode-se simplificar a equação:

$$IPA = dUD * pUD + dUE * pUE + dVA * pVA \quad (\text{Eq. 9})$$

No momento do cálculo da área total de cada região, para em seguida calcular a densidade de cada classe, foram subtraídas as áreas correspondentes as classes de AGUA, SOMBRA e NUVEM.

Os resultados do IPA_d foram agrupados e classificados de acordo com a tabela 22. Os limiares das classes de IPA_d foram definidos tendo como referência os valores ponderados para pressão antrópica. Optou-se por dividir a diferença de cada valor ponderado para pressão em duas classes, por exemplo, a diferença entre 1 (URBANODENSO) e 0,75 (URBANOESPARSO) é 0,25 que foi dividido em duas classes 0,125.

Tabela 22 – Classificação do IPA_d

Classes IPA_d	Intervalo do IPA_d
Pressão antrópica alta	0,876 – 1
Pressão antrópica média alta	0,751 – 0,875
Pressão antrópica média	0,626 – 0,750
Pressão antrópica média baixa	0,501 – 0,625
Pressão antrópica baixa	0,251 – 0,500
Pressão antrópica não significativa	0 - 0,25

O IPA_d foi calculado para os sistemas de relevo, zonas de influência da faixa de dutos e para as regiões de interesse, que estão discutidas nos itens 5.6, 5.7 e 5.8 e apresentadas nos itens 6.9.3, 6.9.4 e 6.9.5.

5.6 – Atualização do mapa de sistemas de relevo

Os limites dos sistemas de relevo foram adquiridos do mapa Geomorfológico do estado do Rio de Janeiro na escala 1:400.000, elaborado pela CPRM (2000). Teve os limites das classes revistos de acordo com a proposta de Ponçano et al. (1979). Essa atualização foi necessária devido à escala do mapa não ser compatível com a escala pretendida para o trabalho (1: 150.000).

Foi utilizada a imagem TM de 1986 para esse trabalho por apresentar menor alteração antrópica da paisagem. Os critérios de interpretação de imagem de Ponçano et al (1979) utilizados nesse trabalho, para atualização dos limites, foram:

- (a) Amplitude local – Altura máxima da unidade em metros, acima do assoalho dos grandes vales;
- (b) Declividade – Inclinação média do perfil da encosta;
- (c) Expressão de colinas em área – Área ocupada pelas unidades de relevos entre seus vales limítrofes, ou seja, área dos interflúvios;
- (d) Extensão do topo – Sendo extensos ou restritos;
- (e) Formas de topos – Sendo aplainados, arredondados ou angulosos;
- (f) Perfil das vertentes – Sendo convexo, retilíneo ou côncavo;
- (g) Orientação do relevo – Sendo muito orientado, pouco orientado e não orientado.

Duas classes tiveram seus nomes alterados. A classe Maciços intrusivos alcalinos foi alterada para Morros isolados e a classe Continentais alterada para Planícies aluviais.

5.7 – Mapa de zonas de influência da faixa de dutos

Esse mapa foi elaborado tendo como referência a proposta presente nos relatórios ambientais da Transpetro (2006a; b). Junto a essa proposta foram adicionadas referências de posicionamento das zonas em relação à faixa, sendo assim, é possível saber se as mesmas estão localizadas à direita, esquerda ou entre a faixa de dutos.

O principal objetivo desse mapa é servir de referencial de distância das faixas de dutos para análise do uso e ocupação da terra, bem como para observação das alterações ao longo dos períodos trabalhados.

5.8 – Mapa de regiões de interesse

O mapa de regiões de interesse foi produzido a partir da intersecção das zonas de influência e dos sistemas de relevo. Assim sendo, cada região de interesse possui os seguintes atributos: a zona de influencia da faixa de dutos, a posição em relação à faixa e o sistema de relevo.

Através dessas regiões foi possível relacionar a distância e posição em relação à faixa de dutos com um condicionante direto do uso e ocupação da terra e com os sistemas de relevo. A análise da variação da densidade de cada classe de uso e ocupação no interior das regiões de interesse permitiu mapear as áreas de maior ou menor densidade de ocupação, tendo sempre como referência à faixa de dutos.

5.9 - Experimento 2

Neste experimento foi utilizada apenas a técnica de comparação de imagens classificadas para as datas de 1986 e 1995 com o classificador pixel a pixel denominado MAXVER (máxima verossimilhança). As amostras foram obtidas de duas formas, na primeira utilizaram-se amostras diferentes para cada data, conforme o experimento 1, no segundo buscou-se obter amostras multitemporais, ou seja, as mesmas amostras para as duas datas. Para finalidade de identificação, o primeiro teste foi denominado Maxver 1 e o segundo de Maxver 2.

Após a classificação, sobre os resultados de cada teste foi realizado o processo de pós-classificação com a finalidade de remoção de pequenos agrupamentos de pixels ou de pixels isolados. Utilizou-se o peso (refere-se ao número de vezes que será considerada a frequência do ponto central) de 2 e o limiar (refere-se ao valor de frequência acima do qual o ponto central é modificado) de 5.

A figura 21 apresenta o fluxograma simplificado de trabalho do experimento 2.

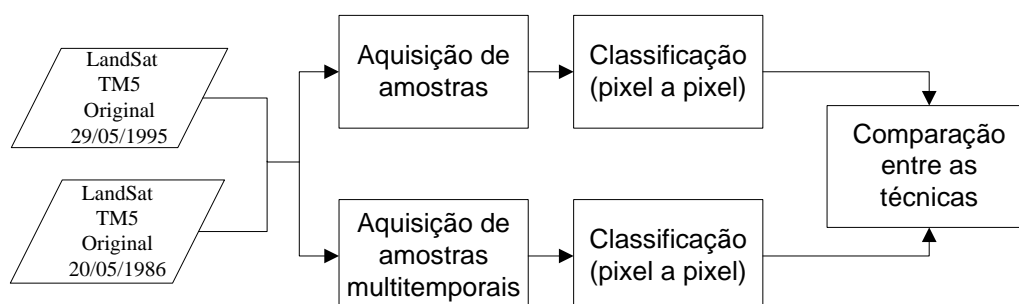


Figura 21 - Fluxograma de trabalho do experimento 2.

Os resultados de ambos os testes se mostraram insatisfatórios, para a delimitação correta de áreas correspondentes às classes URBANOESPARGO e VEGETACAOALTERADA, com respostas espectrais próximas. Assim, optou-se por realizar o experimento 3, utilizando um método que opera por regiões.

5.10 - Experimento 3

Neste experimento foi utilizada apenas a técnica de comparação de imagens classificadas com a finalidade de identificar as mesmas classes do experimento 2. A grande diferença desse experimento para o anterior foi a utilização da segmentação do software SPRING 5.0 (INPE, 2008) antes da aquisição das amostras e classificação. O classificador utilizado foi o *Battacharya*. No processo de segmentação foram avaliados diversos limiares de similaridade e de área mínima de agrupamento de pixels para a melhor identificação e delimitação dos limites entre as classes. Após muitos testes, os melhores parâmetros avaliados para segmentação da imagem foram 4 para similaridade mínima espectral e 100 pixel para área mínima das regiões. A figura 22 apresenta o fluxograma simplificado de trabalho do experimento 3.

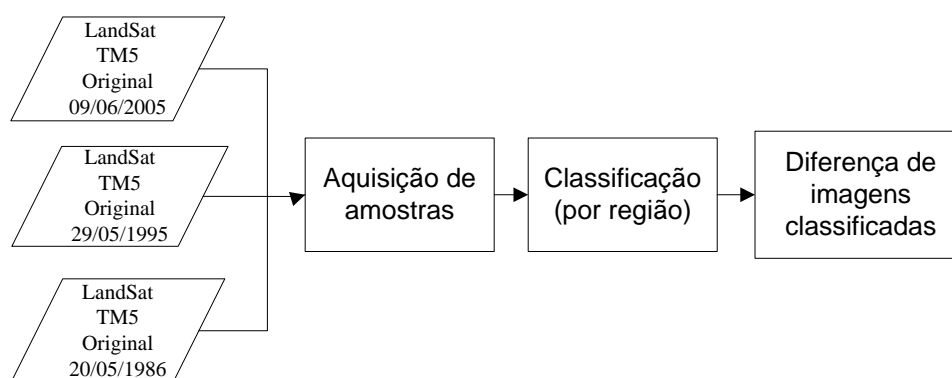


Figura 22 - Fluxograma de trabalho do experimento 3

O propósito inicial foi realizar uma classificação por região com um índice de acerto superior a 80%, o que permitiria realizar uma análise multitemporal confiável. Entretanto, após muitas classificações, este objetivo não foi atingido e os resultados apresentaram muitos erros de classificação, que seriam somados ao longo das três datas. Sendo assim, optou-se por realizar o experimento 4, utilizando um outro método de classificação que também opera por regiões.

5.11 - Experimento 4

Este experimento foi semelhante ao experimento 3, sendo diferencial a ferramenta de segmentação e classificação. Utilizou-se o módulo “Feature Extration” presente no Envi 4.6 (ITT, 2009). Esta ferramenta permite utilizar além da imagem de satélite, arquivos auxiliares para refinar a classificação. Outra vantagem desse módulo é sua capacidade de interatividade, ou seja, no momento em que se altera um parâmetro ou se adquire uma amostra, o resultado é rapidamente visualizado. Neste experimento a classificação foi realizada também utilizando um modelo de elevação do terreno (MDE) como arquivo auxiliar, com o intuito de reduzir confusões como, por exemplo, a classificação de URBANODENSO ou URBANOESPARSO em área da Serra do Mar. A figura 23 apresenta o fluxograma simplificado de trabalho do experimento 4.

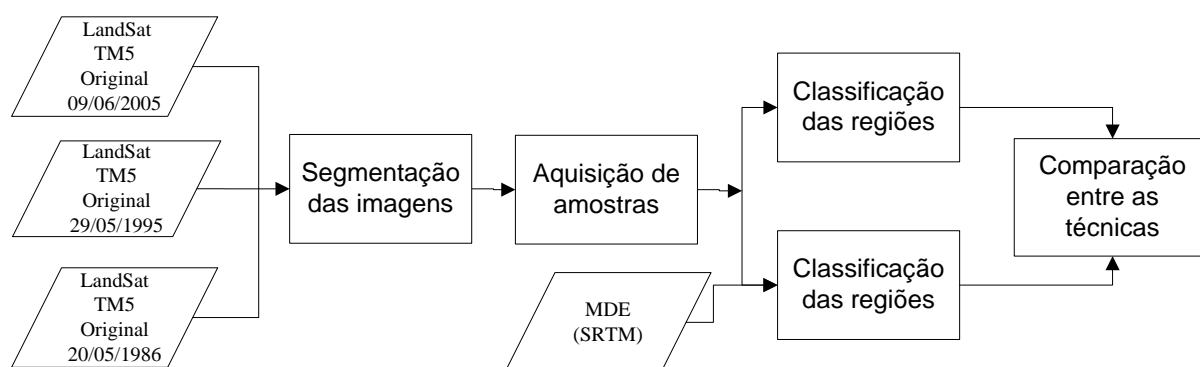


Figura 23 - Fluxograma de trabalho do experimento 4

Os melhores parâmetros encontrados para realização desse experimento foram:

(a) - Para segmentação da imagem é necessário dois parâmetros, inicialmente informa-se o nível da escala, que varia de 0 (maior segmentação) a 100 (maior generalização), em seguida uma imagem segmentada é gerada e pede-se para um limiar de similaridade entre as regiões, que pode variar de 0 (menor similaridade) a 100 (maior similaridade). Os melhores parâmetros encontrados foram 5 para o nível de escala e 80 para a similaridade;

(b) - Para extração dos atributos das regiões optou-se por utilizar os atributos espectrais (mínimo, máximo, média e desvio padrão de todas as bandas das imagens), textura (amplitude, média, variância e entropia), cores (matiz, saturação intensidade baseado na composição 7R4G3B), razão entre bandas (divisão da banda 4 pela banda 3) e elevação média das regiões;

(c) - Na aquisição das amostras, o número de amostras variou muito entre as classes e a data da classificação, como se observa na tabela 23;

Tabela 23 – Número de amostras adquiridas no experimento 4

	1986	1995	2005
AGUA	5	5	2
NUVEM	20	0	7
SOMBRA	17	4	10
URBANODENSO	432	246	286
URBANOESPARSO	303	145	218
VEGETACAOALTERADA	790	384	526
VEGETACAODENSA	117	63	85
TOTAL	1684	847	1134

(d) - Na classificação foi utilizado o classificador K vizinho mais próximo com o parâmetro K igual a 3.

5.12 – Análise do uso e ocupação da terra e de mudanças

5.12.1 – Mapa uso e ocupação da terra e mapa de mudanças

Os mapas de uso e ocupação da terra e de mudanças foram produzidos de acordo com o fluxograma apresentado pela figura 24.

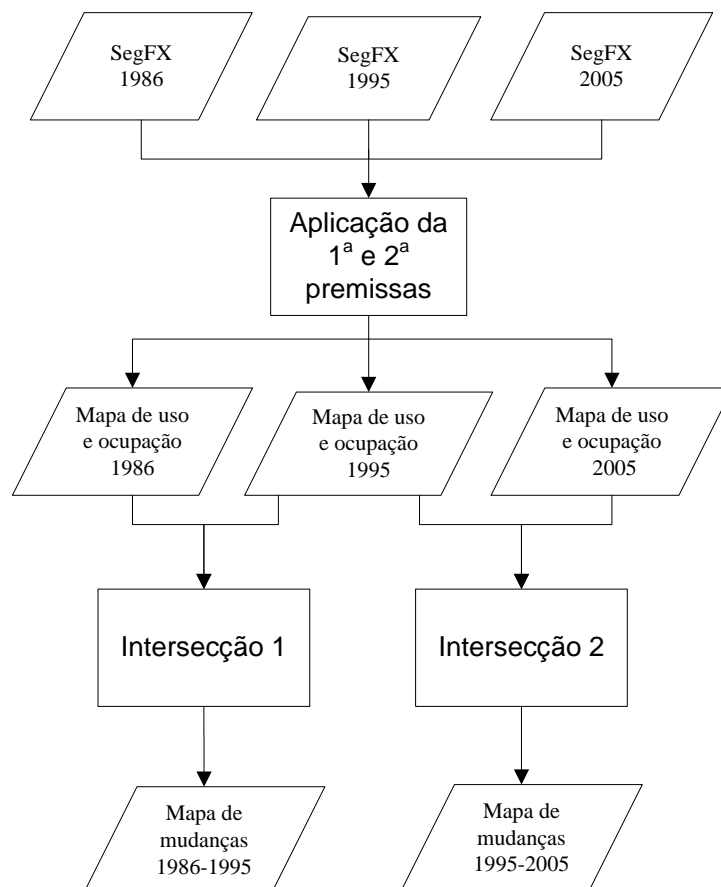


Figura 24 - Fluxograma de trabalho dos mapas uso e ocupação da terra e de mudanças

Os resultados da classificação do experimento 4 foram selecionados para a produção do mapa de mudanças. Aplicaram-se sobre os resultados as regras propostas pela 1ª e 2ª premissas discutidas no item 5.4 deste trabalho. A implementação ocorreu de acordo com o procedimento descrito a seguir:

(a) - Os polígonos classificados como URBANODENSO em 1986 foram sobrepostos à classificação SegFX 1995. Os polígonos do URBANODENSO de 1995, já modificados, foram sobrepostos da mesma forma à classificação SegFX 2005 (1ª premissa);

(b) - Os polígonos do URBANOESPARSO de 1986 foram cruzados com os polígonos do URBANODENSO modificado de 1995, de forma que as áreas de intersecção fossem apagadas do URBANOESPARSO de 1986. Os polígonos do URBANOESPARSO de 1986 modificados foram então sobrepostos a classificação SegFX 1995 modificada. Aplicou-

se o mesmo procedimento para somar o URBANOESPARSO 1995 à classificação SegFX 2005 (2ª premissa).

Com esse procedimento, foram gerados os mapas de uso e ocupação da terra, que foram interseccionados para gerar o mapa de mudanças de 1986-1995 e o mapa de mudanças de 1995-2005.

Nos mapas de mudanças foram apenas consideradas as mudanças para classes de URBANODENSO, URBANOESPARSO, VEGETACAODENSA e VEGETACAOALTERADA, ficando excluídas as classes de SOMBRA, AGUA e NUVEM.

5.12.2 – Uso e ocupação segundo os sistemas de relevo, zonas de influência e regiões de interesse da faixa de dutos.

Neste procedimento as classes de uso e ocupação e de mudanças, correspondentes à vegetação e ao urbano, e as classes de mudanças foram cruzadas com os polígonos das zonas de influência da faixa de dutos, sistemas de relevo e regiões de interesse da faixa. O que permitiu gerar a densidade de ocorrência de cada classe de uso e ocupação e de mudança nas áreas consideradas. A partir das densidades das classes de uso e ocupação foi obtido o IPA_d para todas as unidades analisadas.

As zonas de influência foram utilizadas para permitir a visualização de como o uso e ocupação ocorrem em relação à distância da faixa de dutos. Os sistemas de relevo foram utilizados para dividir a faixa de dutos e a área de estudo em regiões que condicionam o uso da terra. Por sua vez, as regiões de interesse foram utilizadas para relacionar a distância da faixa com um condicionante direto da ocupação.

A figura 25 apresenta o fluxograma dessa etapa do trabalho.

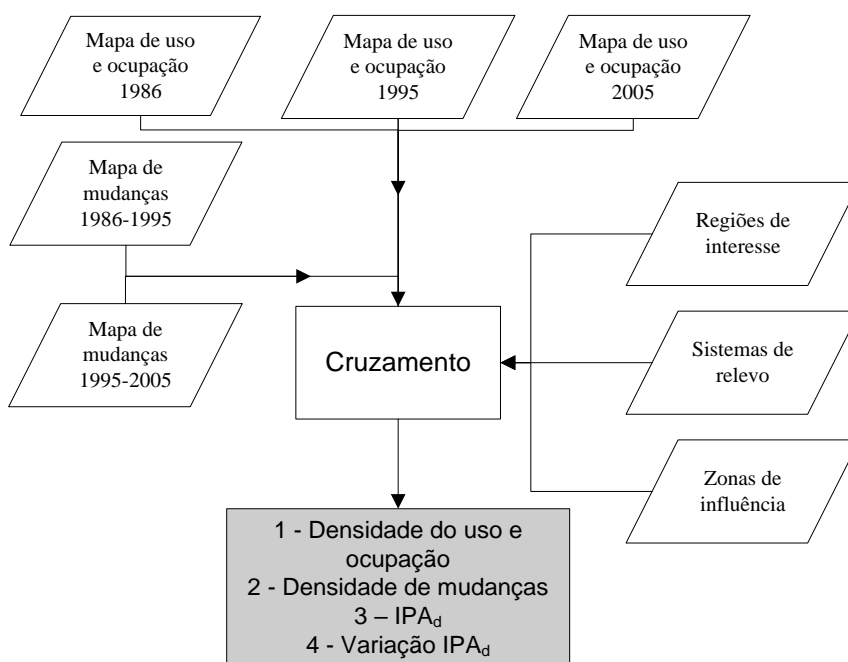


Figura 25 - Fluxograma de trabalho da análise do uso e ocupação

6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. - Experimento 1

Os resultados do experimento 1 serão apresentados de acordo com os recortes destacados na figura 26.

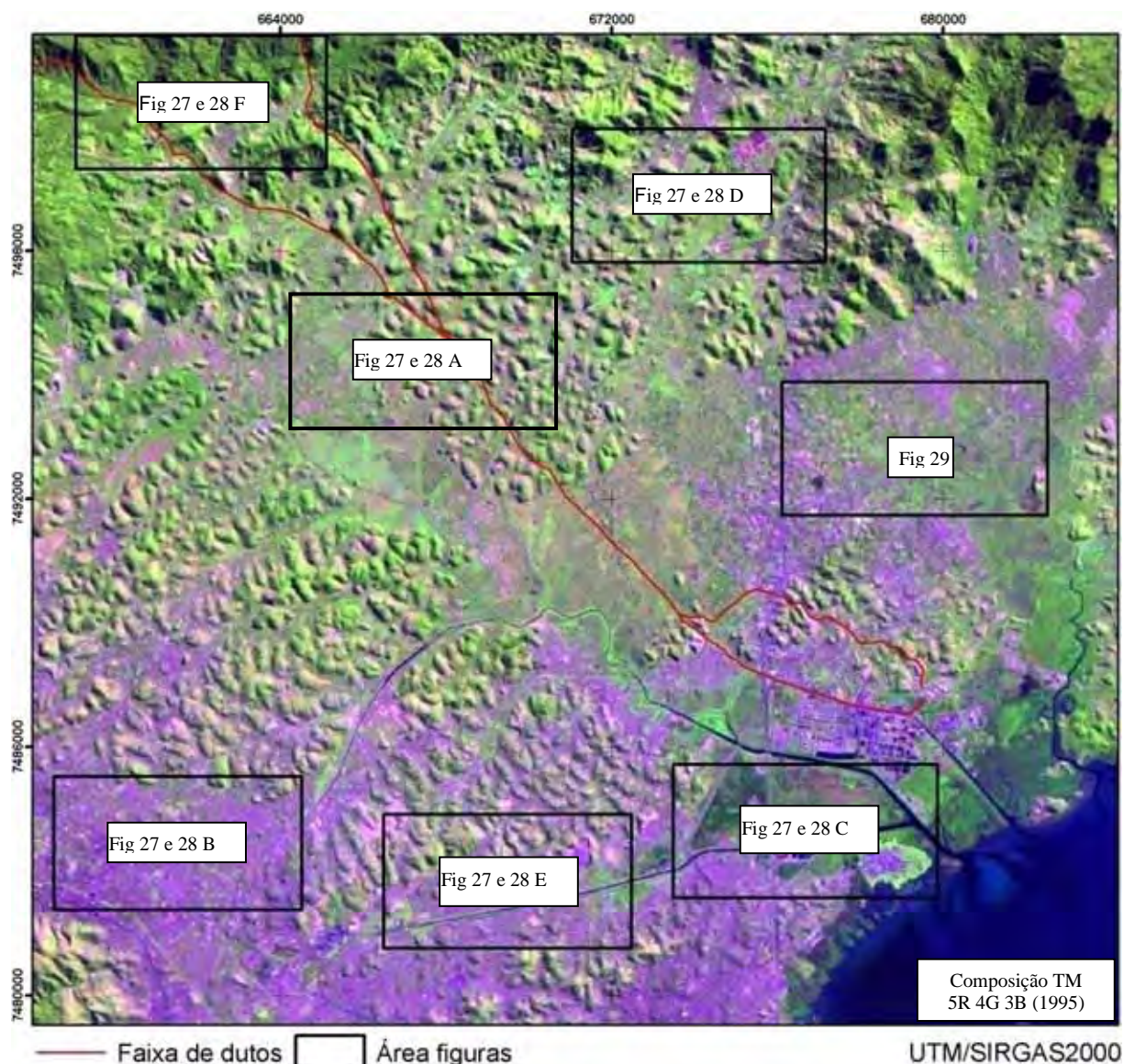


Figura 26 – Recorte da área de estudo para as figuras 27, 28 e 29

Nos retângulos destacados na figura 26 observam-se áreas das imagens originais e, posteriormente, o resultado obtido com a aplicação das duas técnicas. As figuras 27A e 28A estão em uma área próxima à refinaria, onde houve uma grande mudança para a classe AREA-VERDE. As figuras 27B e 28B estão localizadas no entorno da área urbana e a mudança que predomina é para AREA-VERDE, no entanto observam-se grandes regiões de mudanças para OUTROS. As figuras 27C e 28C localizam-se em uma área urbana em que ocorre equilíbrio entre as classes de mudanças. As figuras 27D e 28D estão em um área de

expansão urbana, resultando na ausência predominância de uma classe de mudança específica. As figuras 27E e 28E estão localizadas em uma área urbana bastante consolidada, prevalecendo à classe de Não mudança seguida pela classe de mudança para AREA-VERDE. As figuras 27F e 28F localizam-se, em sua maior parte, na região da Serra do Mar, predominando áreas Não mudança seguida pela classe de mudança para AREA-VERDE.

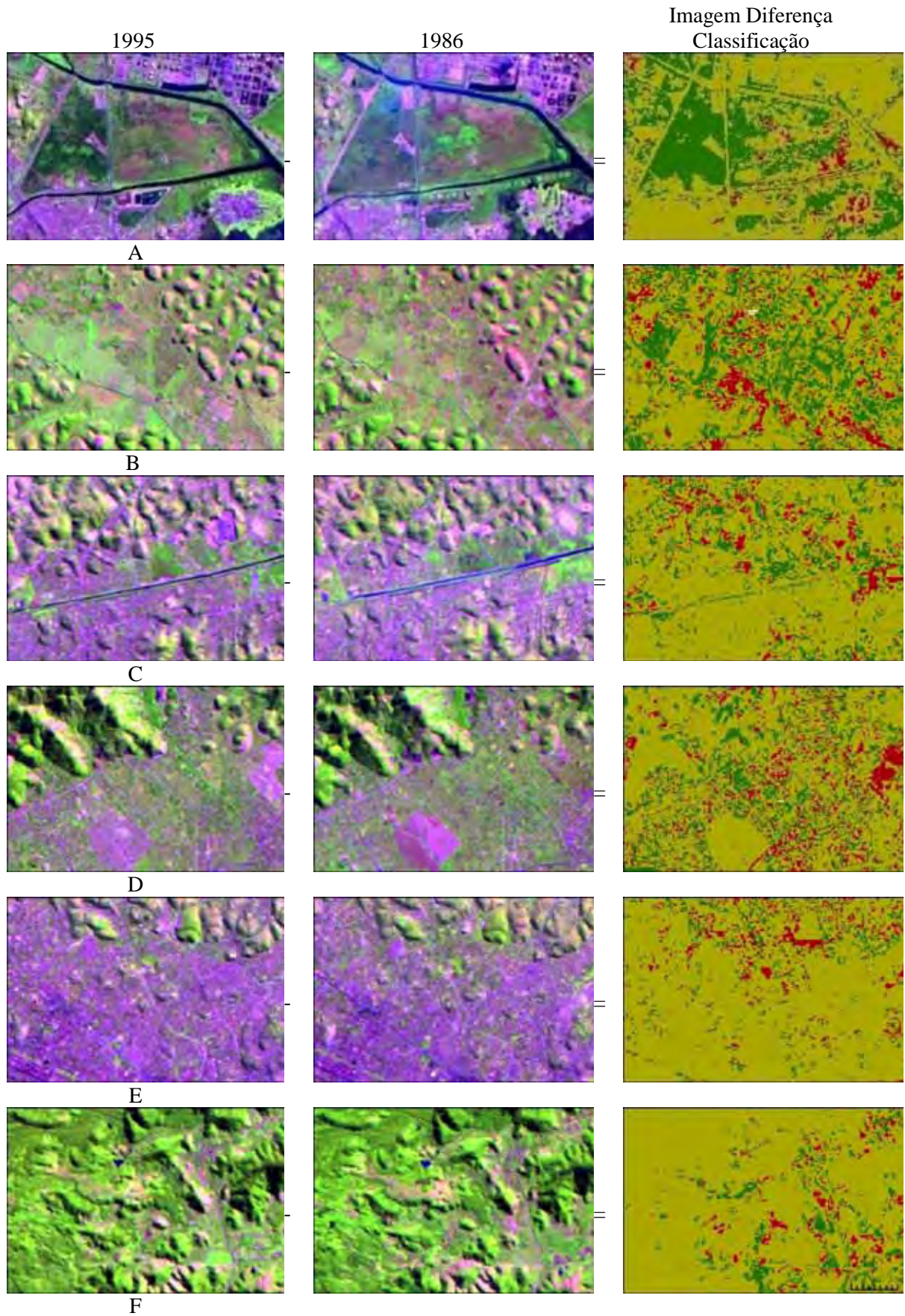


Figura 27 – Síntese da técnica de comparação de imagem. (Amarelo – Não mudança; Vermelho – Mudança para OUTROS; Verde – Mudança para AREA-VERDE)

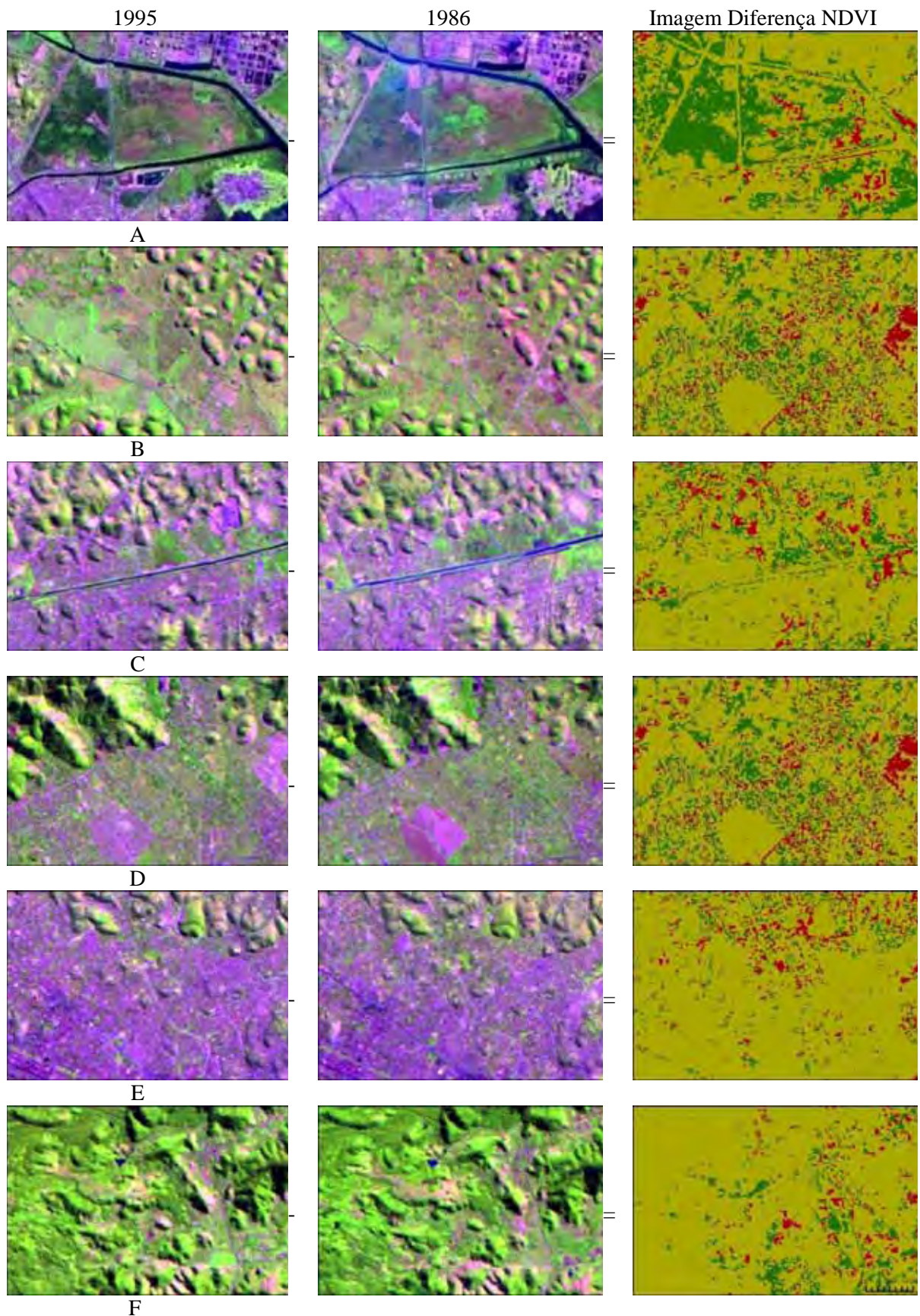


Figura 28 – Síntese da técnica NDVI. (Amarelo – Não mudança; Vermelho – Mudança para OUTROS; Verde – Mudança para AREA-VERDE)

As imagens de NDVI classificadas e as imagens classificadas apresentaram resultados bastante semelhantes em termos do total da área de cada classe, indicando uma tendência geral de aumento das áreas verdes no período de nove anos analisados, como se observa na tabela 24.

Tabela 24 – Área total relativa das classes para as imagens classificadas

	1986	1995
AREA-VERDE (NDVI)	47,5%	56,5%
AREA-VERDE (Classificação)	47%	55,5%
OUTROS (NDVI)	52,5%	43,5%
OUTROS (Classificação)	53%	44,5%

Os resultados do total da área de cada classe das duas imagens-diferença produzidas também foram bastante semelhantes, refletindo o primeiro resultado, como observa-se na tabela 25.

Tabela 25 – Área total relativa das classes para as imagens diferença

Classes	Área relativa
Não mudança (NDVI)	76%
Não mudança (classificação)	75,5%
Mudança para OUTROS (NDVI)	7,5%
Mudança para OUTROS (classificação)	8,0%
Mudança para AREA-VERDE (NDVI)	16,5%
Mudança para AREA-VERDE (classificação)	16,5%

No entanto, uma grande diferença no resultado foi observada em uma área específica, como mostra a figura 29. Pode-se notar que a imagem-diferença da classificação apresenta duas grandes áreas de mudança de classes, uma para AREA-VERDE e uma para OUTROS, o que não é observado na imagem diferença de NDVI. Quando as imagens iniciais são consultadas, observa-se que não houve uma mudança significativa da vegetação o que justifica a identificação de duas grandes áreas de mudanças na imagem diferença da classificação. Sendo assim, o resultado apresentado pela técnica de diferença do NDVI foi mais coerente com a realidade.

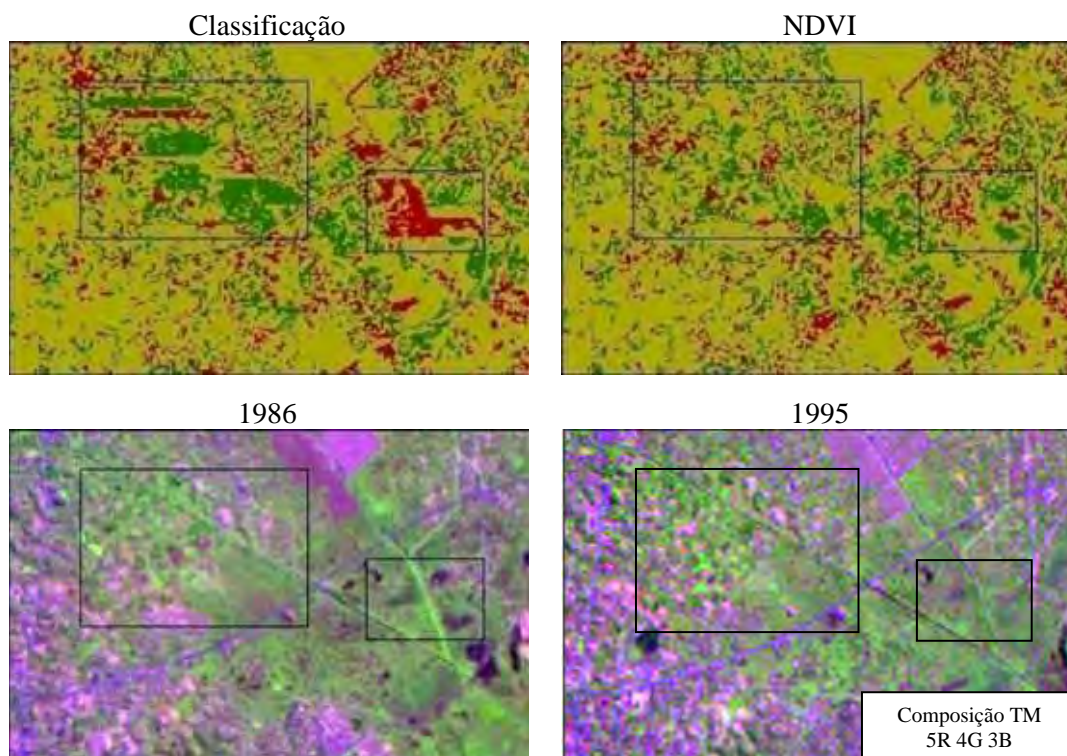


Figura 29 – Comparação entre as técnicas de diferença de NDVI e comparação de imagem classificada. (Amarelo – Não mudou; Vermelho – Mudou para outros; Verde – Mudou para área verde)

Os resultados demonstraram o potencial e também as limitações das técnicas analisadas. A técnica de diferença de imagem NDVI se mostrou bastante eficiente, pois o seu processamento foi bastante rápido e a única intervenção subjetiva realizada foi a definição do limiar para separação das áreas verdes dos demais alvos, subjetividade essa que foi reduzida pelo auxílio da literatura. A imagem-diferença dessa técnica se mostrou bastante coerente com a realidade, retratando na maior parte das áreas, apenas as mudanças significativas. Contudo, por ser uma técnica dependente da determinação de limiares para criação das classes, torna-se inviável utilizá-la para elaboração de um mapa de uso da terra, podendo ser utilizada como uma ferramenta auxiliar para interpretação da imagem.

A técnica da diferença de imagens classificadas necessitou de um maior tempo para obtenção dos resultados devido à necessidade de aquisição de amostras para cada data analisada. Utilizou-se um mesmo critério para seleção das amostras. O procedimento de aquisição de amostras está relacionado aos “erros de classificação” que se tornam maiores quando se realiza a subtração das imagens.

Verificou-se a necessidade de redefinir as classes, de forma que estas apresentassem uma maior relação com a questão da segurança dos dutos. Um exemplo, utilizando os resultados anteriores, seria analisar qual classe representa uma maior pressão

antrópica para a faixa de dutos, a classe AREA-VERDE ou a OUTROS. A dificuldade em encontrar uma resposta clara para essa questão levou ao abandono destas classes e gerou a necessidade de se trabalhar com mais de 2 classes.

Concluiu-se que qualquer técnica do grupo álgebra (LU et al., 2004), como é o caso da técnica diferença de NDVI, que tem como característica a necessidade de definição de limiares, é inviável para análises em que se busca identificar mais que duas classes, sendo assim, excluiu-se todas as técnicas do grupo álgebra dos experimentos seguintes.

6.2 – Mapa de sistemas de relevo atualizado

A figura 30 apresenta uma comparação do mapa de sistemas de relevo original (figura 30a) e o revisado (figura 30b).

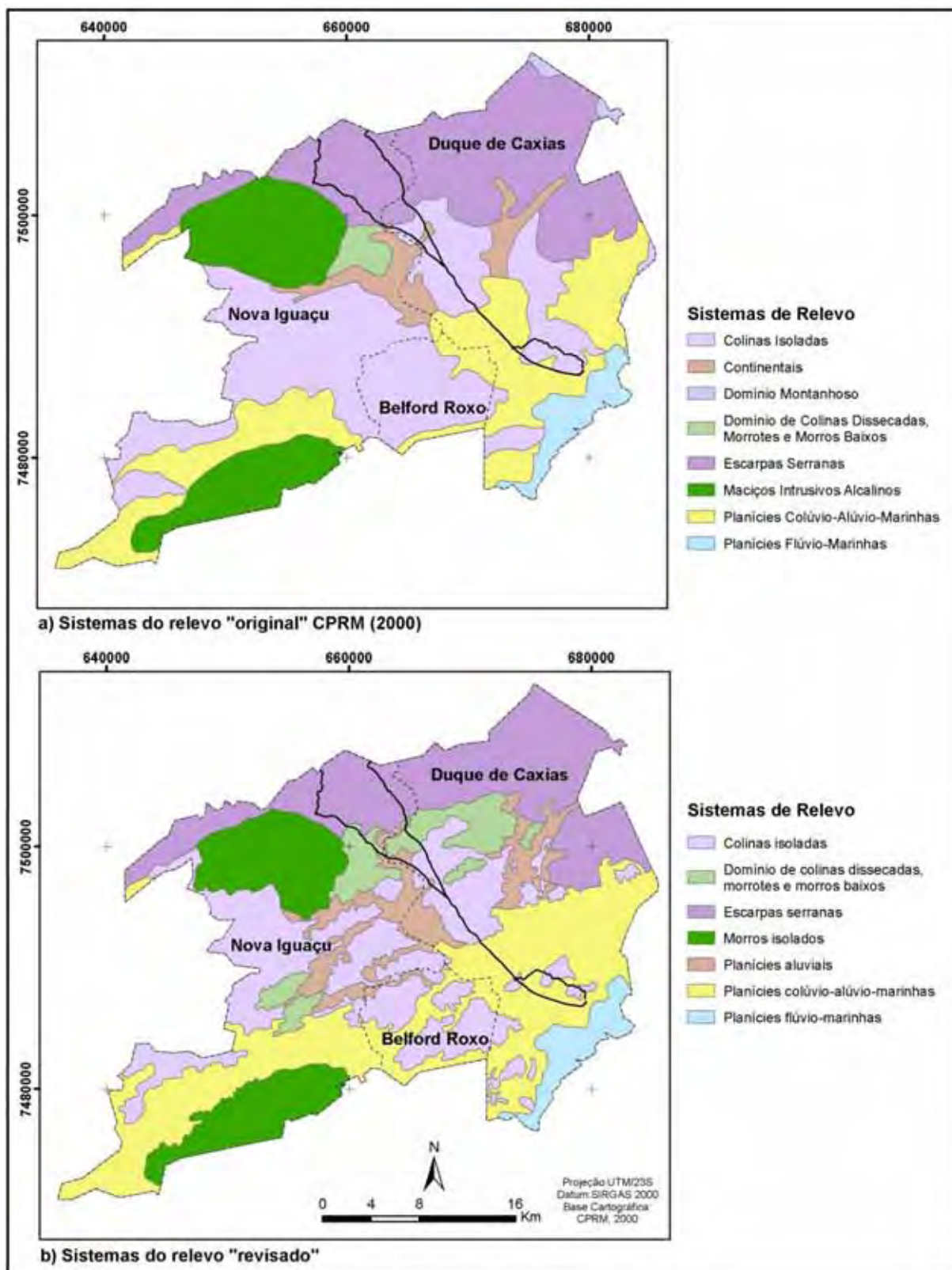


Figura 30 – Sistemas de relevo “original” e “revisado”

Dessa forma os sistemas de relevo “revisado” ficam distribuídos de acordo com a tabela 26 na área de estudo.

Tabela 26 – Área total relativa das classes de sistemas de relevo

Classe	% da área total
Colinas isoladas	23,28%
Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos	6,25%
Escarpas serranas	20,30%
Morros isolados	12,57%
Planícies aluviais	7,43%
Planícies colúvio-alúvio-marinhas	26,96%
Planícies flúvio-marinhas	3,21%

6.3 – Mapa de zonas de influência da faixa de dutos

A tabela 27 apresenta a caracterização das zonas de influência da faixa de dutos e a figura 31 sua representação espacial para a área de estudo.

Tabela 27 – Caracterização das zonas de influência da faixa de dutos

Sigla da zona	Nome	Distância das faixas	Tamanho relativo na área de estudo
ZID	Zona de influência direta	0 a 400 m	3,99%
ZII-E	Zona de influência indireta localizada à esquerda das faixas duto	400 m a 5 km	16,01%
ZII-D	Zona de influência indireta localizada à direita das faixas de dutos	400 m a 5 km	11,98%
ZII-M1; ZII-M2	Zona de influência indireta localizada entre as faixas de dutos	400 m a 5 km	3,47%
ZIV-E	Zona de influência variável localizada à esquerda das faixas duto	Acima de 5 km, se estendendo até os limites dos municípios	46,01%
ZIV-D	Zona de influência variável localizada à direita das faixas de dutos	Acima de 5 km, se estendendo até os limites dos municípios	18,55%

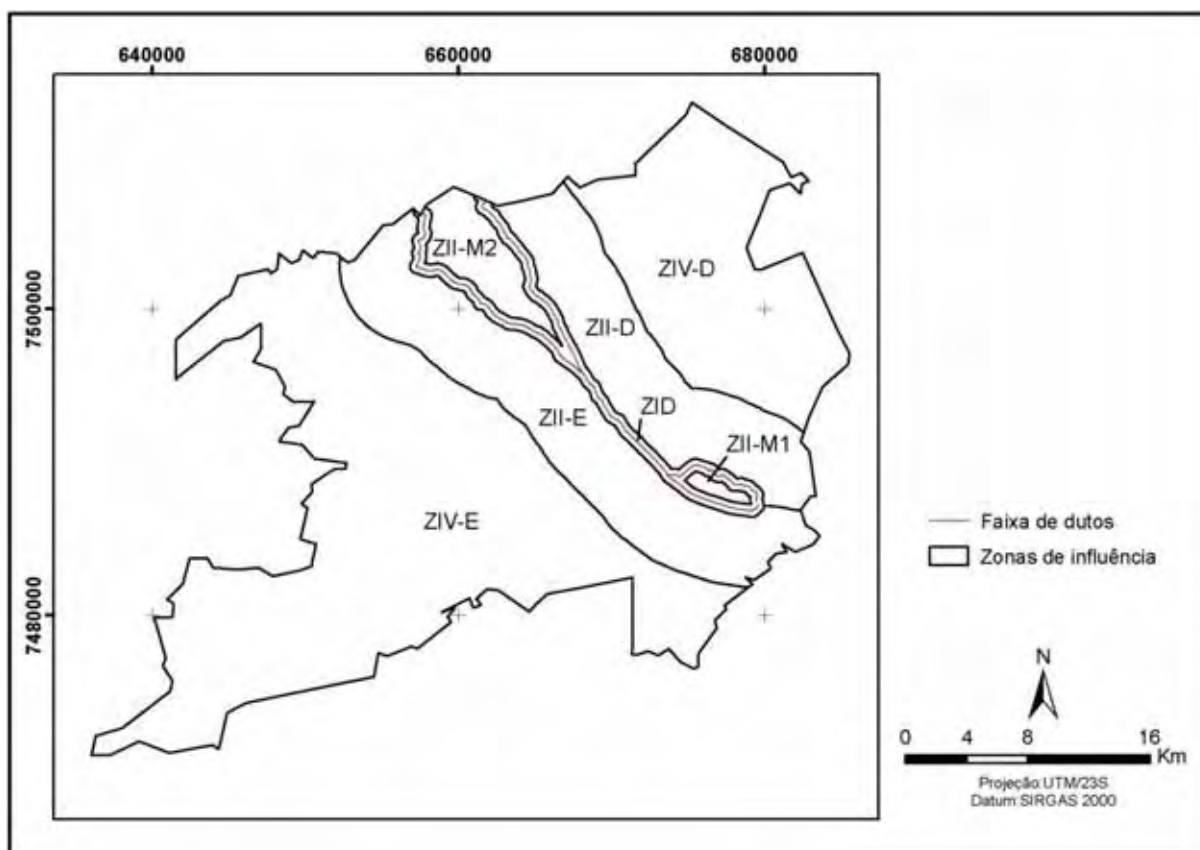


Figura 31 – Zonas de influência do duto

6.4 – Mapa de regiões de interesse

A figura 32 apresenta o mapa de regiões de interesse. A sigla das regiões de interesse foi composta com quatro algarismos (a,b,c,d) de acordo com os seguintes elementos:

(a) - Zona de influência da faixa de dutos, podendo ser direta (D), indireta (I) e variável (V). Destacando que esta zona guarda o atributo de distancia à faixa de dutos;

(b) - Posição em relação à faixa de dutos, podendo ser entre a faixa (M), sobre a faixa (S), à direita da faixa (D) e à esquerda da faixa (E);

(c) - Sistemas de relevo, podendo ser Planícies aluviais (1), Planícies colúvio-alúvio-marinhas (2) Planícies flúvio-marinhas (3), Colinas isoladas (4), Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos (5), Escarpas serranas (6) e Morros isolados (7);

(d) – Identificador da região, utilizada para separar duas ou mais regiões que apresentem os mesmo algarismos.

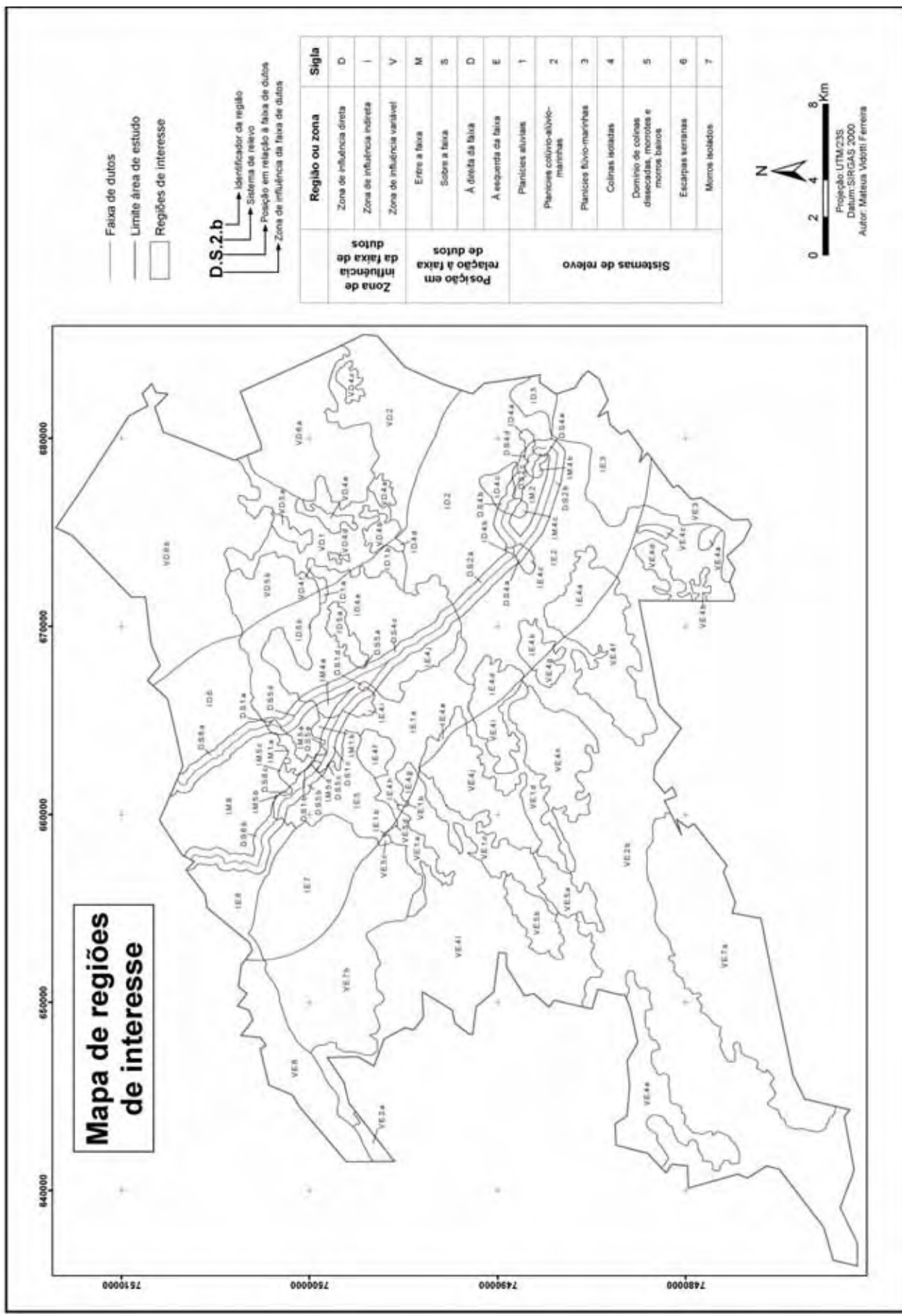


Figura 32 – Mapa de regiões de interesse

6.5 – Classificações de imagens para uso e ocupação da terra

A partir da tabela 28 é possível observar e comparar de forma quantitativa os resultados de todas as classificações através do acerto geral e do coeficiente Kappa. A representação espacial das classificações e sua discussão foram apresentadas nos itens 6.6, 6.7 e 6.8 deste trabalho.

Tabela 28 – Acerto geral e coeficiente Kappa das classificações

	Acerto geral	Coeficiente Kappa
Maxver 1 1986	0,77	0,68
Maxver 1 1995	0,70	0,61
Maxver 2 1986	0,69	0,58
Maxver 2 1995	0,72	0,63
SegSpring 1986	0,75	0,67
SegSpring 1995	0,71	0,61
SegSpring 2005	0,69	0,60
SegFX 1986	0,86	0,79
SegFX 1995	0,85	0,80
SegFX 2005	0,86	0,81

6.6 - Experimento 2

Os resultados do experimento 2 são apresentados de forma geral na figura 34 e detalhados de acordo com os recortes destacados na figura 33. As classificações apresentadas e discutidas a seguir são apenas as consideradas de melhor resultado e obtidas após muitos testes.

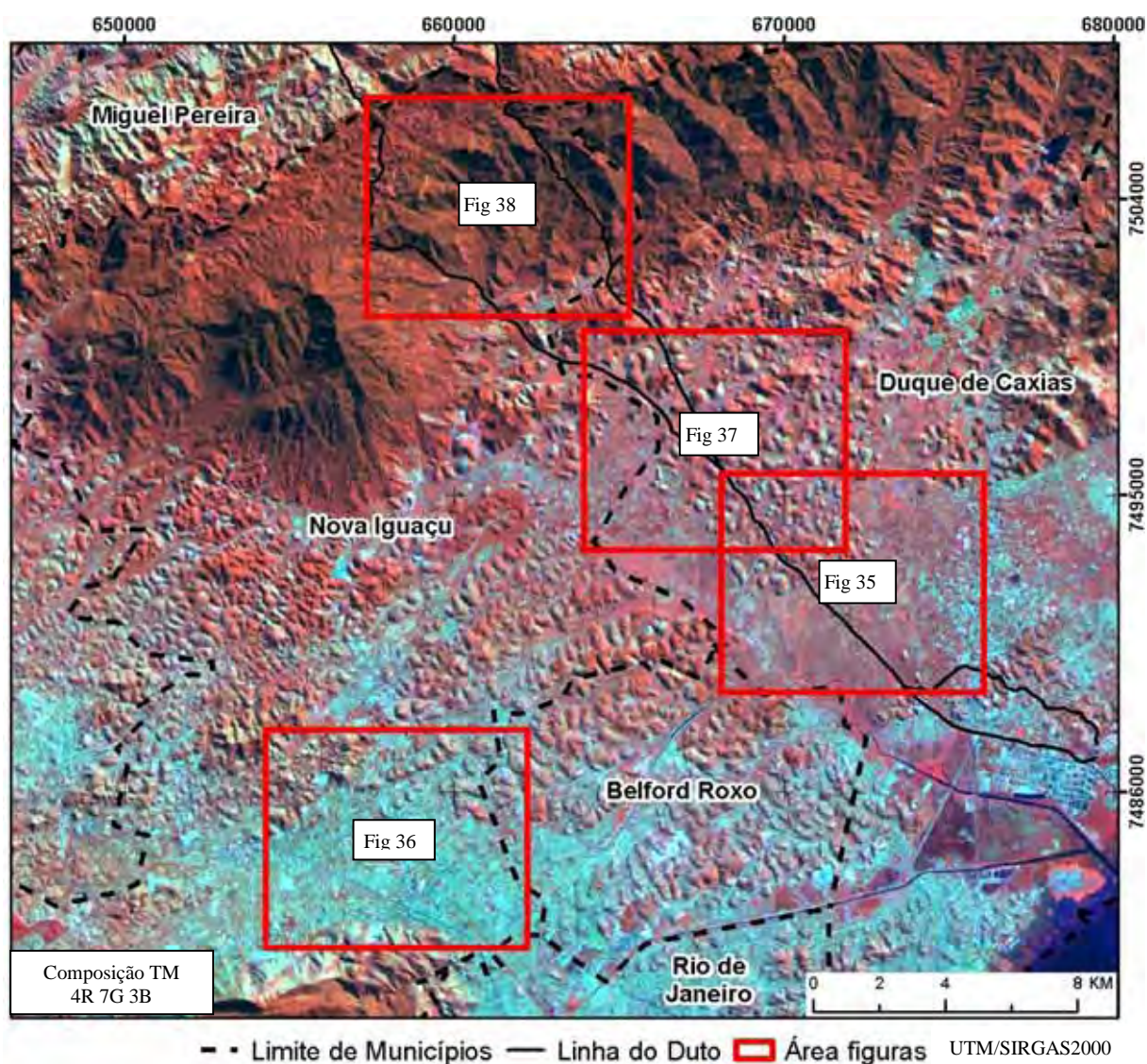


Figura 33 – Recorte da área de estudo para as figuras 35, 36, 37 e 38

Os retângulos destacados na figura 33 contêm as áreas das figuras 35, 36, 37 e 38, onde se pode observar recortes das imagens originais e posteriormente, o resultado obtido com os dois testes de classificação, denominados de Maxver 1 e Maxver 2, utilizando o classificador de máxima verossimilhança. Para o teste Maxver 1 foram adquiridas amostras distintas para cada data, utilizando um mesmo critério para seleção. Para o teste Maxver 2, as amostras foram adquiridas de forma simultânea, ou seja, foram selecionadas amostras sobre áreas em que o uso permaneceu o mesmo em ambas as datas.

A tabela 29 demonstra numericamente o resultado das classificações para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu e a tabela 30 apresenta o crescimento relativo, nos períodos de 1986 a 1995 das classes relacionadas ao urbano e a vegetação.

Tabela 29 - Área total relativa das classes para área total dos municípios

	Maxver1 1986	Maxver 1 1995	Maxver 2 1986	Maxver 2 1995
AGUA	0,55%	0,38%	0,53%	0,53%
NUVEM	0,34%	0,19%	0,00%	0,00%
SOMBRA	1,18%	1,80%	1,11%	1,86%
URBANODENSO	11,01%	12,61%	11,22%	10,37%
UBRANOESPARSO	17,50%	28,29%	24,00%	26,77%
VEGETACAOLTERADA	35,88%	23,46%	26,41%	24,27%
VEGETACAODENSA	33,54%	33,27%	36,73%	36,21%

Tabela 30 – Crescimento relativos das classes

	Crescimento 86-95 (Maxver1)	Crescimento 86-95 (Maxver 2)
URBANODENSO	14,51%	-7,52%
UBRANOESPARSO	61,66%	11,52%
VEGETACAOALTERADA	-34,60%	-8,12%
VEGETACAODENSA	-0,80%	-1,42%

Analisando a tabela 30, destaca-se que o teste Maxver 1 identificou um crescimento geral de 10,79% da área da classe URBANOESPARSO e um decréscimo de 12,42% da área da classe VEGETACAOALTERADA, enquanto que, para o teste Maxver 2, a oscilação de ambas as classes foi inferior a 2% em relação a área total dos municípios. A figura 34 apresenta distribuição espacial o resultado para a mesma área.

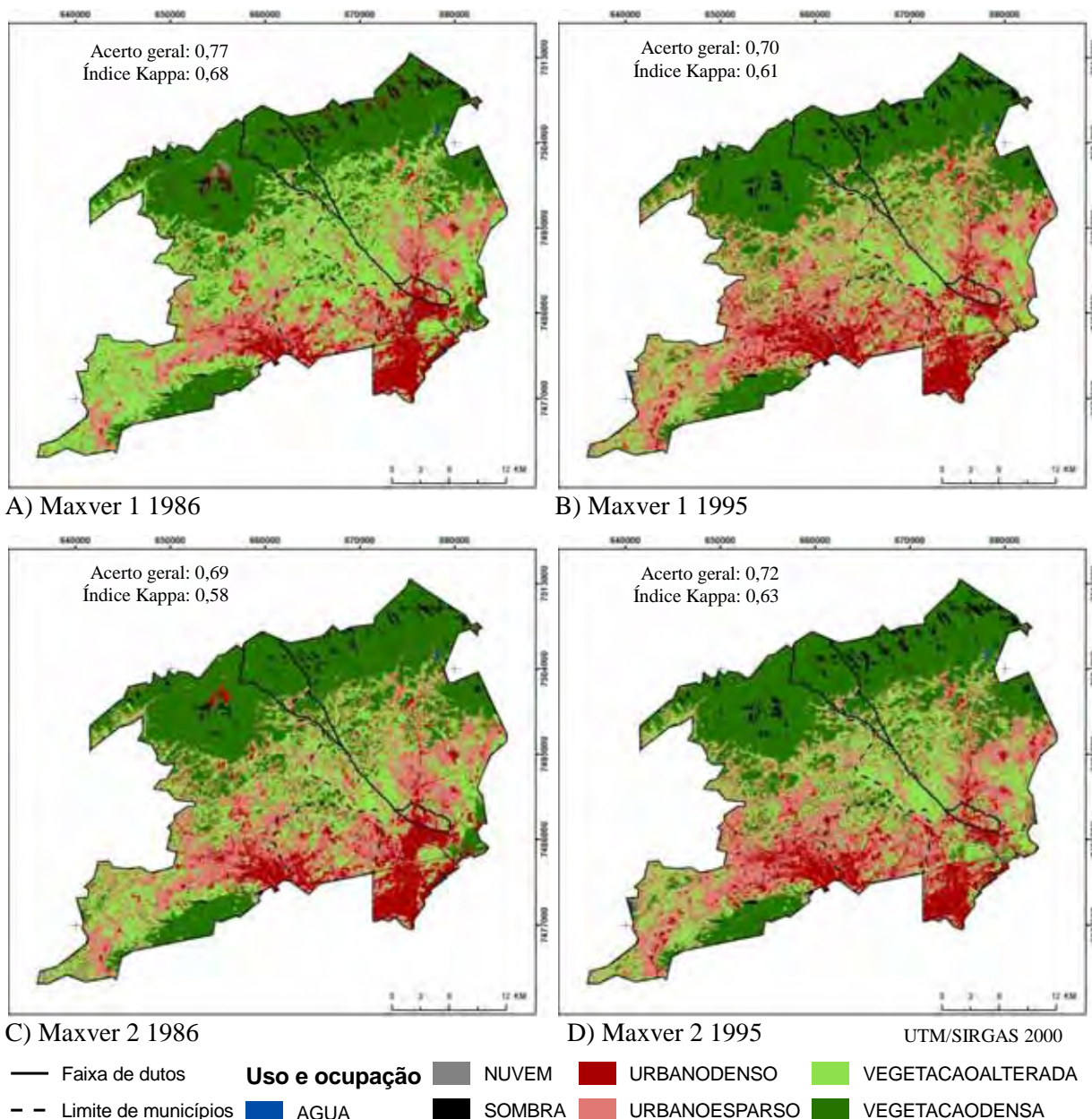


Figura 34 – Resultado geral das classificações do experimento 2

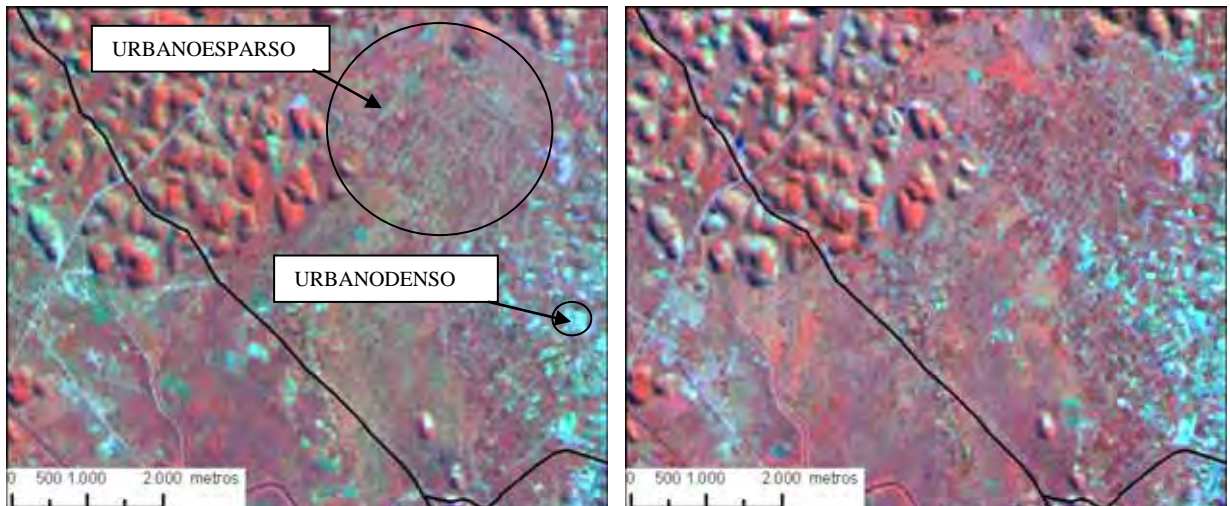
Nas figuras 35A e 35B é possível notar uma parte da área urbana de Duque de Caxias, localizada à direita da faixa de dutos. Nesta área são perceptíveis dois padrões distintos de urbanização, interpretados visualmente como URBANODENSO e URBANOESPARSO. Ainda é possível observar que do ano de 1986 para 1995 houve um aumento da área correspondente ao URBANODENSO e um aumento da vegetação na área do URBANOESPARSO, contudo nesse caso, não houve mudança no uso. Ambas as classificações do ano de 1986 (figuras 35C e 35E) retrataram razoavelmente as áreas de URBANOESPARSO e URBANODENSO, mas as classificações do ano de 1995 (figuras 35D e 35F) não conseguiram identificar as área de URBANOESPARSO devido ao crescimento da

vegetação, o que resultaria em um decréscimo da área de URBANOESPARSO ao longo do período.

As figuras 36A e 36B correspondem a uma região de conurbação das áreas urbanas dos municípios de Belford Roxo e Nova Iguaçu, sendo possível perceber com as imagens um adensamento significativo da ocupação urbana no período analisado. Observando os testes, Maxver1 e Maxver 2 (figuras 36C, 36D, 36E e 36F) é possível verificar o adensamento urbano dessa área.

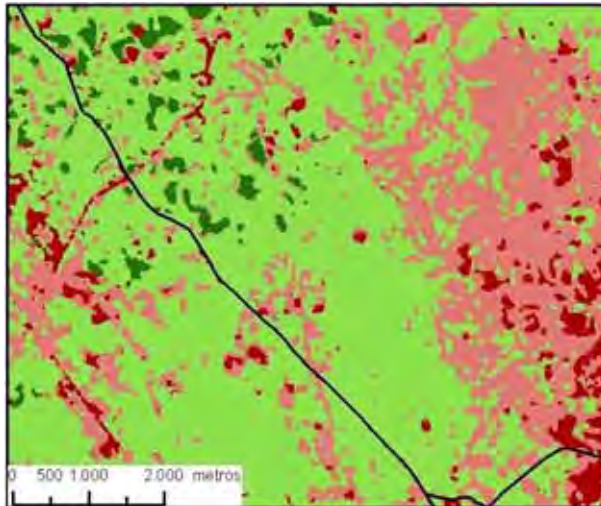
As figuras 37A e 37B correspondem, em sua grande parte, a uma área rural dos municípios de Duque de Caxias e Nova Iguaçu, em que a faixa de dutos cruza um domínio geomorfológico colinoso. É possível identificar também a esquerda da faixa de dutos uma área urbana com padrão de urbanização classificado como URBANOESPARSO. Analisando as imagens pode-se afirmar que, no período de 1986 a 1995 ocorreu uma ligeira degradação da vegetação localizada nas áreas colinosas e, um crescimento da vegetação na área urbana. As classificações não conseguiram delimitar satisfatoriamente a área urbana, ocorrendo confusões da classe URBANOESPARSO com VEGETACAOALTERADA. Nas áreas em que ocorreram degradação da vegetação, em sua grande maioria, foram classificadas como URBANOESPARSO (figuras 37D e 37F) quando se desejava VEGETACAOALTERADA. Outro erro observado foi que áreas de solo exposto e de rodovias foram classificadas como URBANODENSO.

As figuras 38A e 38B referem-se, em sua maioria, a áreas de escarpas da Serra do Mar, localizadas na divisa dos municípios de Duque de Caxias, Miguel Pereira e Nova Iguaçu. Analisando as imagens, percebe-se tratar-se de uma região de predomínio da vegetação de grande porte, que não sofreu alteração no período. A classificação nessa área apresentou ótimos resultados em todos os casos, pois se trata de uma área que, espectralmente apresenta menor variabilidade.

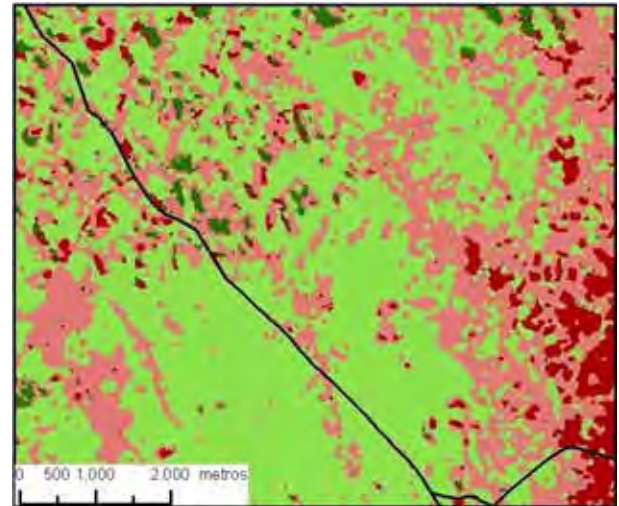


A) Imagem TM 1986 (Composição: 4R7G3B)

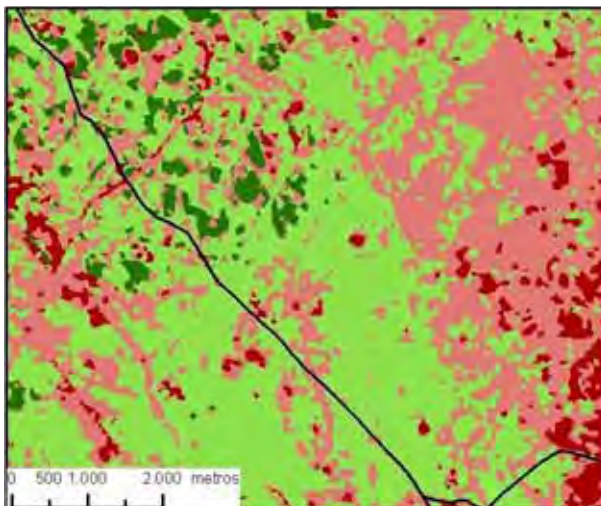
B) Imagem TM 1995 (Composição: 4R7G3B)



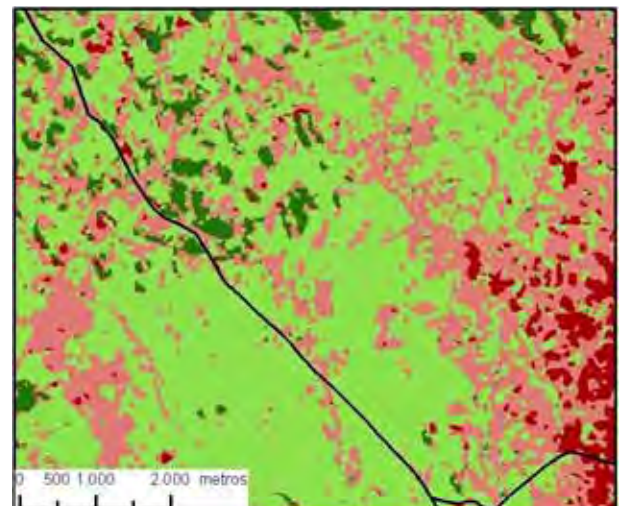
C) Classificação Maxver 1 1986



D) Classificação Maxver 1 1995



E) Classificação Maxver 2 1986



F) Classificação Maxver 2 1995

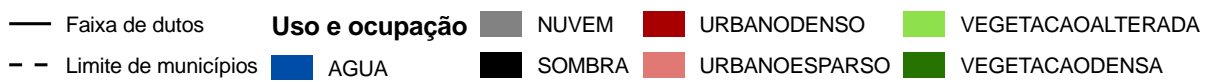


Figura 35 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 1

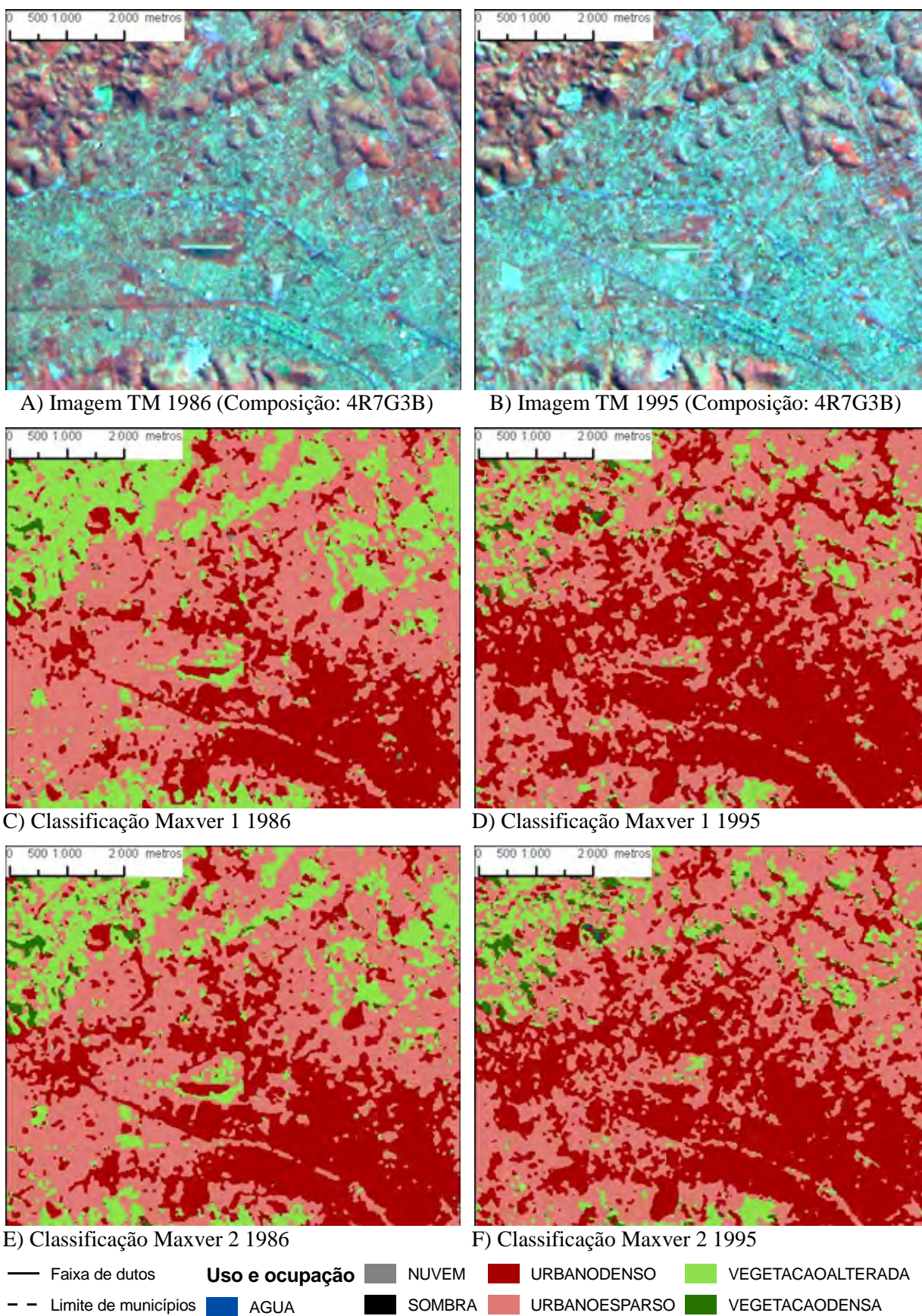
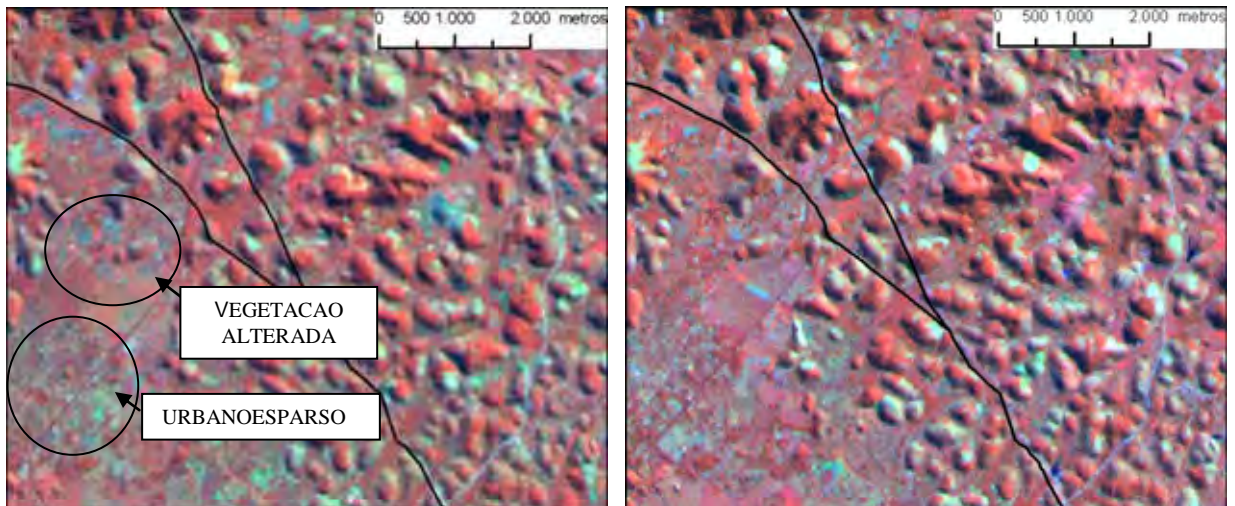
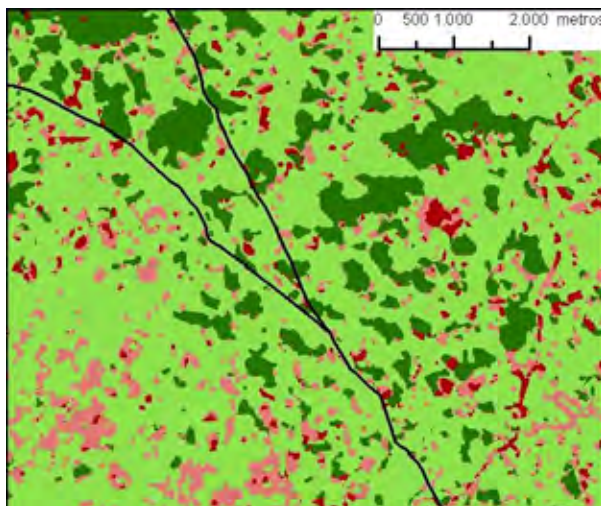


Figura 36 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 2

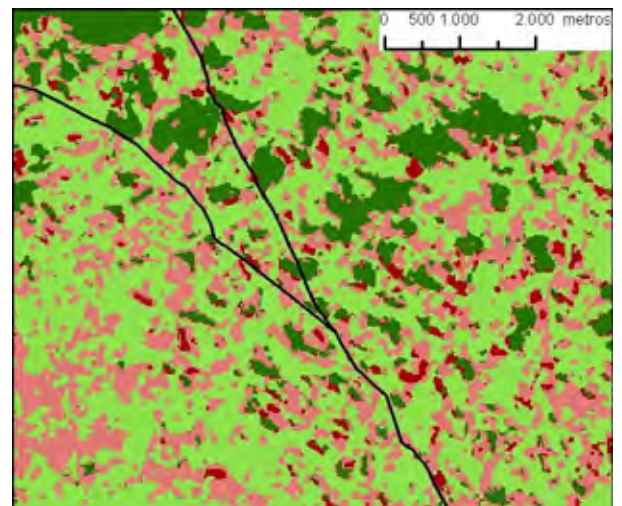


A) Imagem TM 1986 (Composição: 4R7G3B)

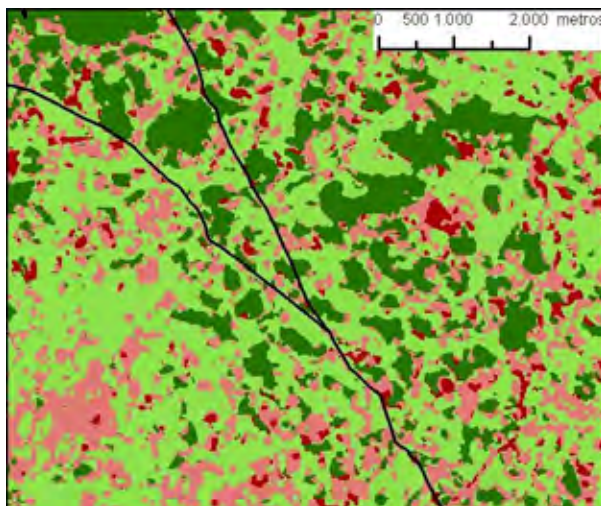
B) Imagem TM 1995 (Composição: 4R7G3B)



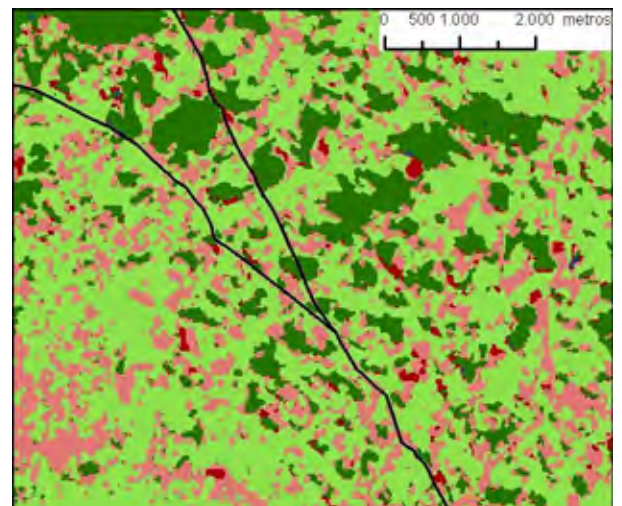
C) Classificação Maxver 1 1986



D) Classificação Maxver 1 1995



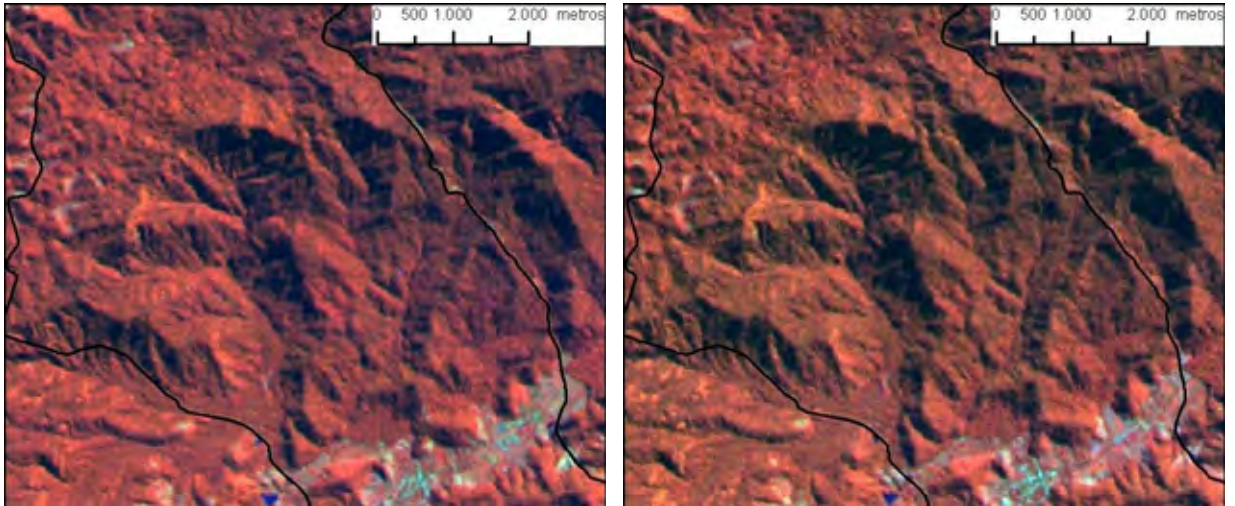
E) Classificação Maxver 2 1986



F) Classificação Maxver 2 1995

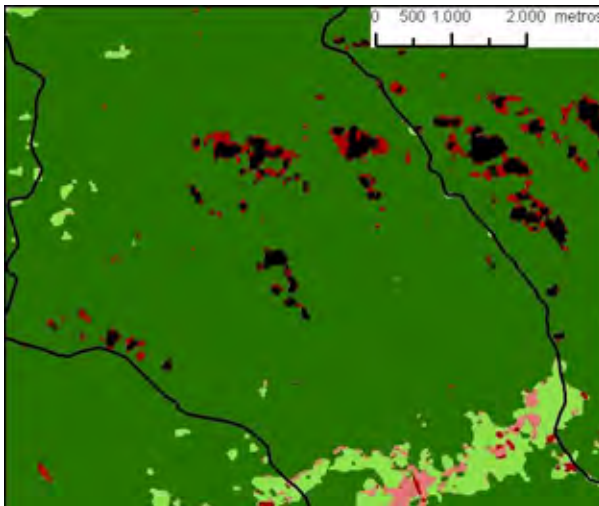
— Faixa de dutos	Uso e ocupação	■ NUVEM	■ URBANODENSO	■ VEGETACAOALTERADA
- - Limite de municípios	■ AGUA	■ SOMBRA	■ URBANOESPARSO	■ VEGETACAODENSA

Figura 37 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 3

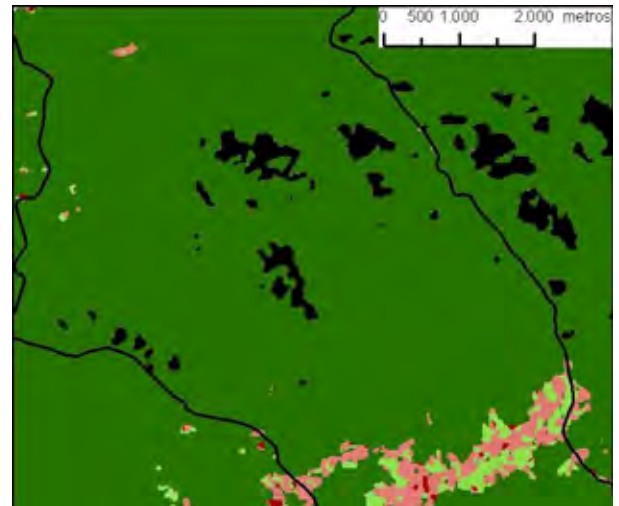


A) Imagem TM 1986 (Composição: 4R7G3B)

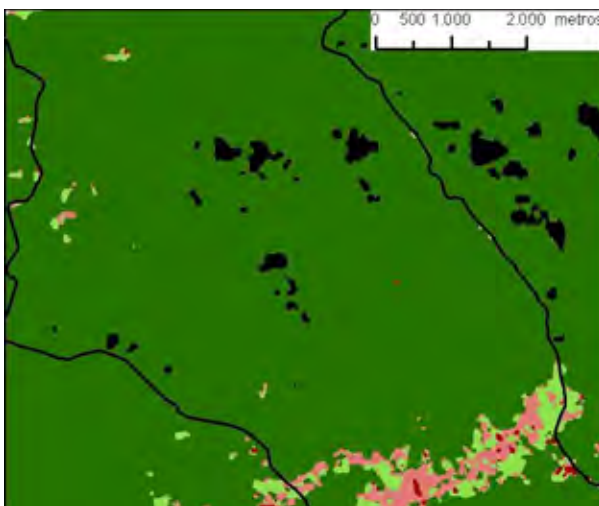
B) Imagem TM 1995 (Composição: 4R7G3B)



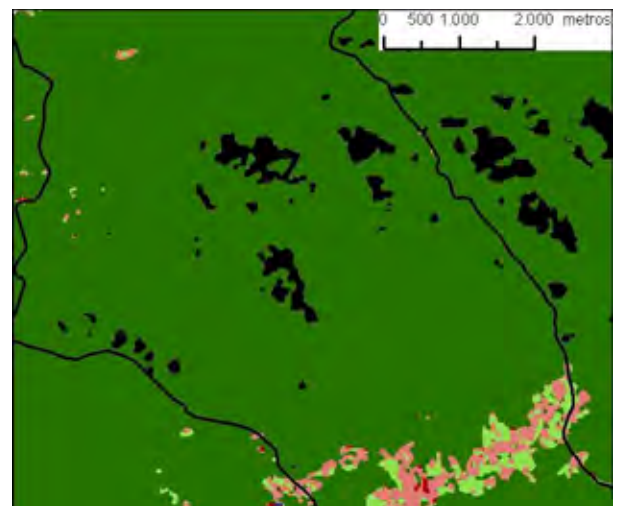
C) Classificação Maxver 1 1986



D) Classificação Maxver 1 1995



E) Classificação Maxver 2 1986



F) Classificação Maxver 2 1995

—	Faixa de dutos	Uso e ocupação	■	NUVEM	■	URBANODENSO	■	VEGETACAOALTERADA	
- -	Limite de municípios	■	AGUA	■	SOMBRA	■	URBANOESPARGO	■	VEGETACAODENSA

Figura 38 – Resultado das classificações do experimento 2 – Área 4

Os resultados se mostraram satisfatórios para classes com menor variabilidade espectral, como AGUA, SOMBRA, NUVEM, VEGETACAODENSA e URBANODENSO, e muito insatisfatórios para classes com maior variabilidade espectral como, URBANOESPARSO e VEGETACAOALTERADA.

Optou-se então por realizar o experimento 3, utilizando uma classificação por região, através de uma segmentação anterior da imagem, o que reduz a fragmentação. Outra vantagem, segundo Bastos (2003), é que a segmentação permite delimitar melhor classes heterogêneas.

6.7 - Experimento 3

Os resultados das classificações do experimento 3 (figura 39) serão denominados de SegSpring seguida pela correspondente data. A tabela 31 demonstra numericamente o resultado das classificações para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu e a tabela 32 apresenta o crescimento relativo, nos períodos de 1986 a - 1995 e de 1995 a 2005 das classes relacionadas ao urbano e a vegetação.

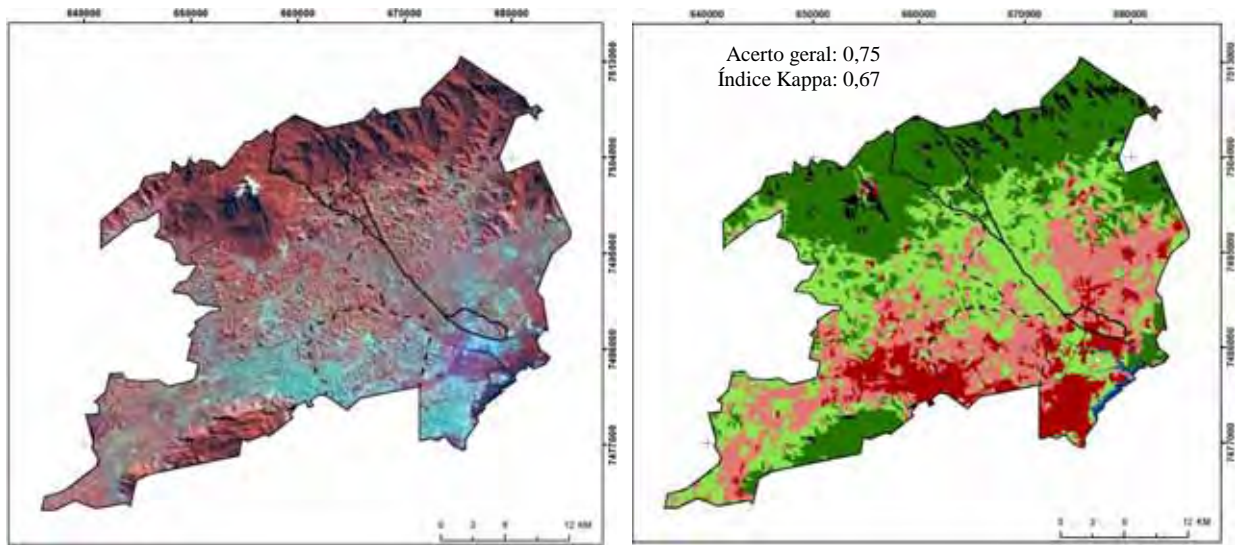
Tabela 31 - Área total relativa das classes para os municípios

	SegSpring 1986	SegSpring 1995	SegSpring 2005
AGUA	0,57%	1,32%	0,47%
NUVEM	0,07%	0,00%	0,03%
SOMBRA	2,29%	2,51%	4,13%
URBANODENSO	10,50%	13,27%	17,40%
UBRANOESPARSO	24,10%	18,96%	22,50%
VEGETACAOALTERADA	29,78%	35,00%	18,50%
VEGETACAODENSA	32,70%	28,95%	27,72%

Tabela 32 – Crescimento relativos das classes

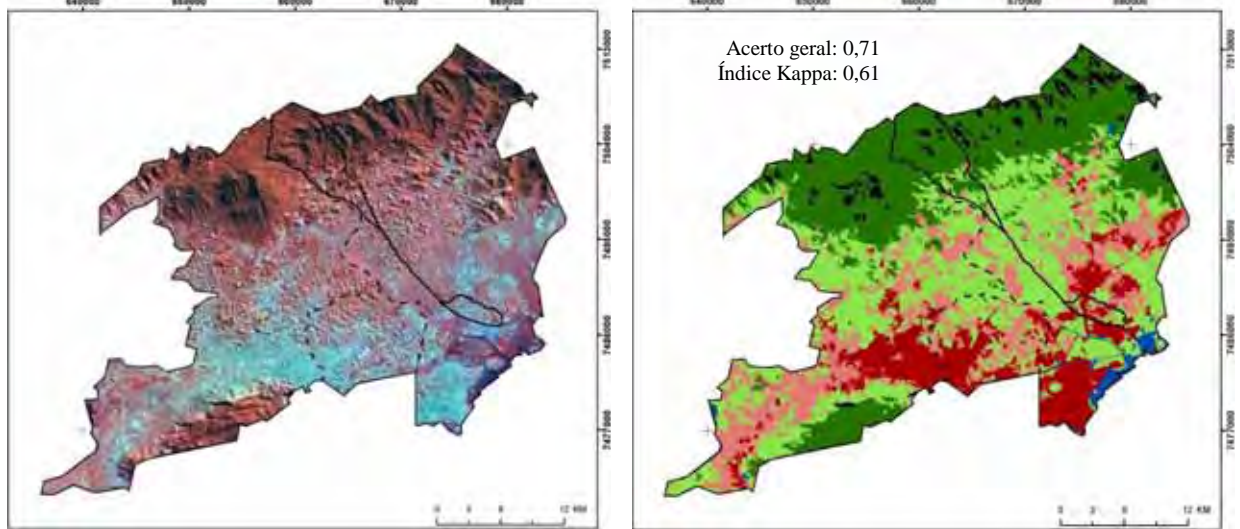
	Crescimento 86-95	Crescimento 95-05
URBANODENSO	26,33%	44,53%
UBRANOESPARSO	-21,29%	30,70%
VEGETACAOALTERADA	17,54%	-41,76%
VEGETACAODENSA	-11,48%	5,52%

Analisando as tabelas 31 e 32, é bastante coerente com análise visual das imagens o crescimento da classe URBANODENSO nos dois períodos, e um tanto incoerente a redução de 21,29% da classe UBRANOESPARSO no período de 1986 a 1995. Entretanto o resultado aparentemente de maior incoerência é o crescimento relativo de 17,54% da classe VEGETACAOALTERADA no período de 1986 a 1995 seguido de uma redução drástica de 41,76% no período de 1995 a 2005.



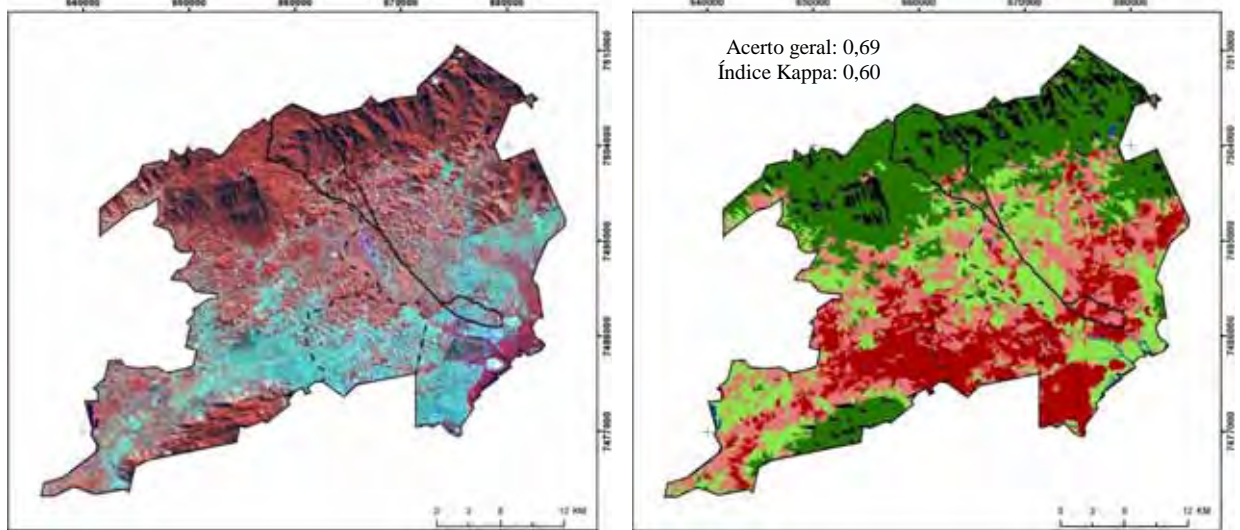
A) Imagem TM 1986 (Composição: 4R7G3B)

B) SegSpring 1986



C) Imagem TM 1995 (Composição: 4R7G3B)

D) SegSpring 1995



E) Imagem TM 2005- (Composição: 4R7G3B)

F) SegSpring 2005

UTM/SIRGAS 2000

- | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|----------|-----------------|---------------------|
| — Faixa de dutos | Uso e ocupação | ■ NUVEM | ■ URBANODENSO | ■ VEGETACAOALTERADA |
| - - Limite de municípios | ■ AGUA | ■ SOMBRA | ■ URBANOESPARSO | ■ VEGETACAODENSA |

Figura 39 – Resultado geral das classificações do experimento 3

Visivelmente os resultados apresentaram uma fragmentação muito menor quando comparados aos resultados do experimento 2. É bastante perceptível o crescimento da área urbana consolidada através do aumento significativo da classe URBANODENSO.

Para classe VEGETACAODENSA, os resultados também foram satisfatórios, ocorrendo alguns erros de classificação em áreas próximas à Baía da Guanabara, onde a umidade do solo é alta e a resposta espectral confunde-se com a vegetação densa.

Continuaram ocorrendo confusões de classificação entre URBANOESPARSO e VEGETACAOALTERADA. A comparação entre as figuras 39D e 39B permitem identificar infrações da 2^a e 3^a premissas (apresentadas no item 5.4.4). Na figura 39F nota-se um grande exagero da classe URBANOESPARSO enquanto que na figura 39D ocorre um exagero da classe VEGETACAOALTERADA.

O maior erro está na figura 39D, em que uma grande área que foi classificada corretamente como URBANOESPARSO na figura 30B, é classificada como VEGETACAOALTERADA. Muitas aquisições e testes de amostras foram realizados com o objetivo de equalizar melhor a relação dessas classes no ano de 1995 e 2005, entretanto, os resultados sempre apresentavam um exagero de uma das classes.

Importante destacar que, de acordo com o acerto geral e o índice Kappa, os resultados desse experimento não foram melhores que os resultados obtidos com o experimento 2.

Observam-se duas grandes dificuldades com a classificação através da segmentação no SPRING 5.0 (2008):

(a) - Para se realizar uma boa segmentação é necessário realizar diversas segmentações e selecionar a que melhor delimite os objetos de interesse, tarefa que o software leva muito tempo para executar;

(b) - Falta de ferramentas que auxiliem na avaliação da aquisição de amostras e dos resultados da classificação.

6.8 - Experimento 4

A figura 40 apresenta o resultado das classificações com e sem MDE para o ano de 1986.

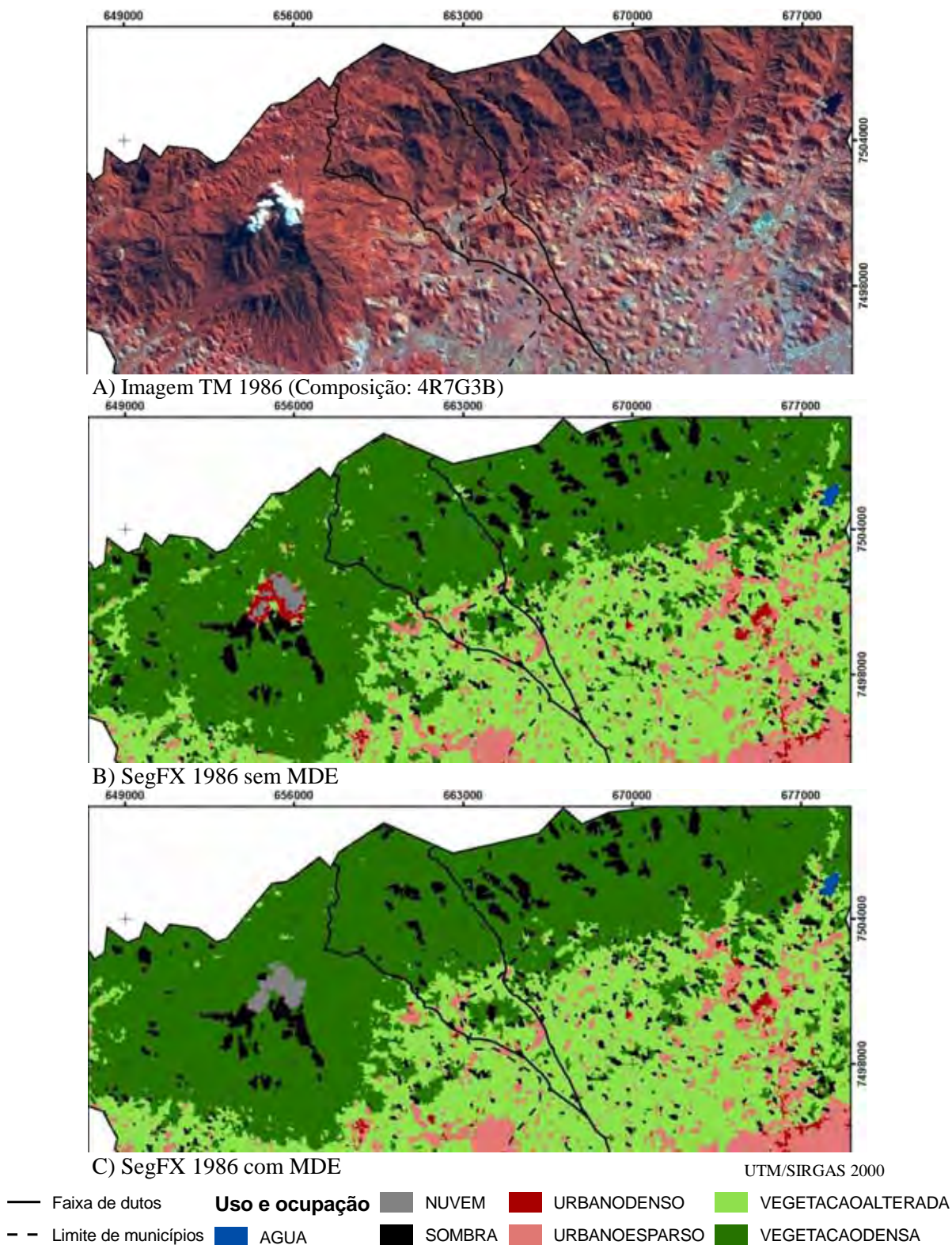


Figura 40 – Comparação das classificações de 1986, com e sem MDE

Analisando as informações representadas na figura 40 é possível notar que a figura 40C apresenta uma melhor classificação das áreas correspondente a Serra do Mar e o seu entorno. A figura 40B apresenta áreas de URBANODENSO e VEGETACAOALTERADA em regiões que deveriam ser classificadas como NUVENS e VEGETACAODENSA. Devido a esses resultados optou-se por utilizar apenas as classificações realizadas com o auxílio do MDE.

Os resultados das classificações do experimento 4 (figura 41) serão denominados de SegFX seguida pela correspondente data. A tabela 33 demonstra numericamente o resultado das classificações para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu e a tabela 34 apresenta o crescimento relativo, nos períodos de 1986 a 1995 e de 1995 a 2005 das classes relacionadas ao urbano e a vegetação.

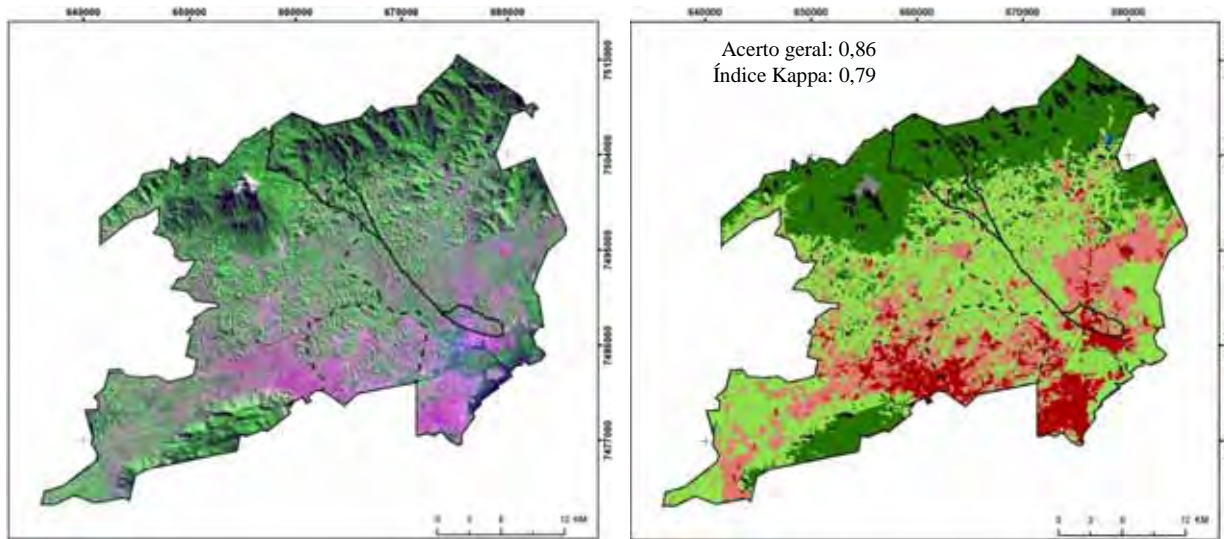
Tabela 33 - Área total relativa das classes para os municípios

	SegFX 1986	SegFX 1995	SegFX 2005
AGUA	0,19%	0,22%	0,24%
NUVEM	0,24%	0,00%	0,07%
SOMBRA	3,81%	3,30%	3,74%
URBANODENSO	8,69%	11,82%	15,03%
UBRANOESPARSO	19,66%	19,90%	17,60%
VEGETACAOALTERADA	40,85%	37,76%	38,32%
VEGETACAODENSA	26,56%	27,00%	25,00%

Tabela 34 – Crescimento relativos das classes

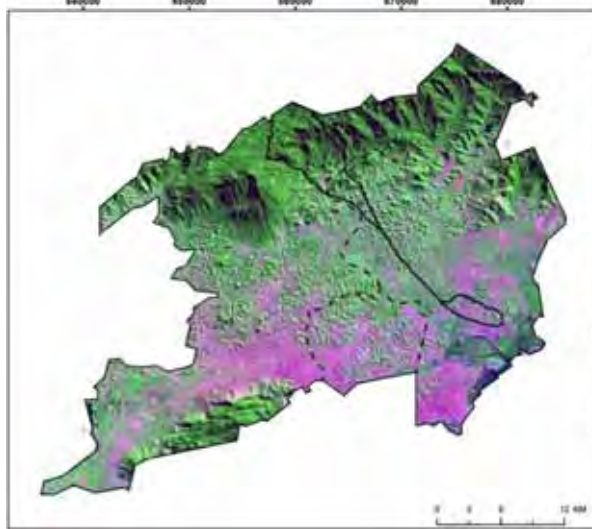
	Crescimento 86-95	Crescimento 95-05
URBANODENSO	36,08%	27,13%
UBRANOESPARSO	1,19%	-11,53%
VEGETACAOALTERADA	-7,56%	1,49%
VEGETACAODENSA	1,66%	-7,41%

Através dos resultados numéricos não é possível afirmar que houve alguma infração clara das premissas estabelecidas. O que mais chama a atenção é a redução de 11,53% da área relativa da classe URBANOESPARSO no período de 1995 a 2005, que pode significar tanto que houve um adensamento das áreas urbanas quanto uma confusão entre as classes VEGETACAOALTERADA e URBANOESPARSO.

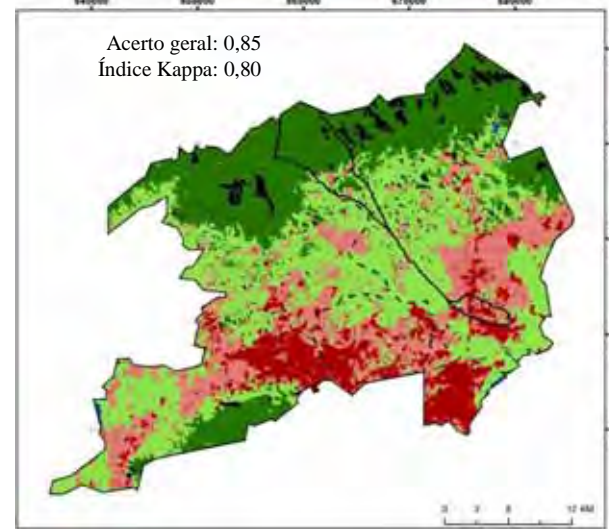


A) Imagem TM 1986 (Composição: 7R4G3B)

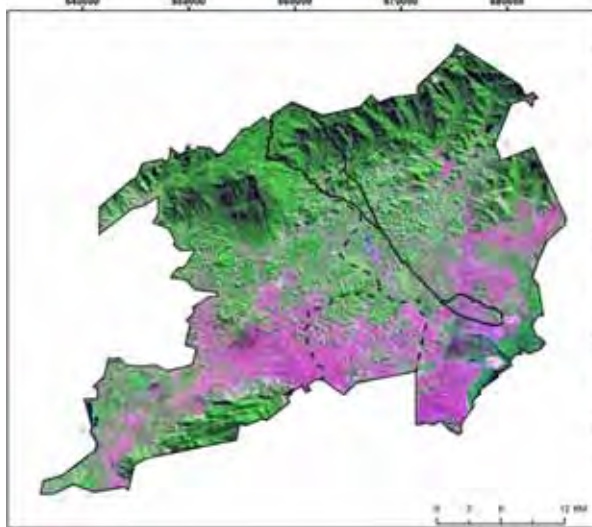
B) SegFX 1986



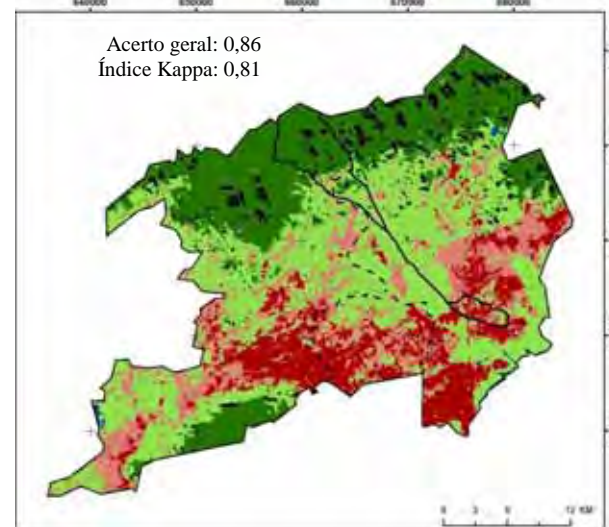
C) Imagem TM 1995 (Composição: 7R4G3B)



D) SegFX 1995



E) Imagem TM 2005 (Composição: 7R4G3B)



F) SegFX 2005

UTM/SIRGAS 2000

- | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|----------|-----------------|---------------------|
| — Faixa de dutos | Uso e ocupação | ■ NUVEM | ■ URBANODENSO | ■ VEGETACAOALTERADA |
| - - Limite de municípios | ■ AGUA | ■ SOMBRA | ■ URBANOESPARGO | ■ VEGETACAODENSA |

Figura 41 – Resultado geral das classificações do experimento 4

De acordo com o acerto geral e o índice Kappa, esses foram os melhores resultados observados. Nominalmente, segundo o índice Kappa, as classificações deste experimento ficaram classificadas entre as classes de ótimo e excelente. Visualmente também é o resultado de maior coerência. A classe URBANODENSO cresce ao longo período. A dinâmica de crescimento do URBANODENSO preferencialmente em área de URBANOESPARSO é registrada satisfatoriamente nesses resultados. Infrações da 2ª e 3ª premissas são observadas com menor frequência que quando comparadas com as classificações dos experimentos anteriores.

Em termos de fragmentação, não se observou tanta fragmentação quanto os resultados do experimento 2, mas também não apresentaram a homogeneidade observada nos resultados do experimento 3.

6.9 – Análises do uso e ocupação da terra e das mudanças

6.9.1 – Mapa de uso e ocupação da terra

A tabela 35 demonstra numericamente o resultado do mapa de uso e ocupação da terra para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu. A figura 42 apresenta os mapas de uso e ocupação da terra, bem como o acerto geral e o índice Kappa.

Tabela 35 - Área total relativa das classes para os municípios

	Uso e ocupação 1986	Uso e ocupação 1995	Uso e ocupação 2005
AGUA	0,19%	0,81%	0,23%
NUVEM	0,24%	0,00%	0,06%
SOMBRA	3,81%	3,25%	3,72%
URBANODENSO	8,69%	13,69%	18,53%
UBRANOESPARSO	19,66%	24,03%	24,66%
VEGETACAOALTERADA	40,85%	31,89%	27,90%
VEGETACAODENSA	26,56%	26,93%	24,90%

Estatisticamente e visualmente não é possível perceber uma grande alteração entre os produtos da classificação SegFx e o mapa de uso e ocupação da terra, demonstrando que os resultados da classificação SegFX estão bastante coerentes.

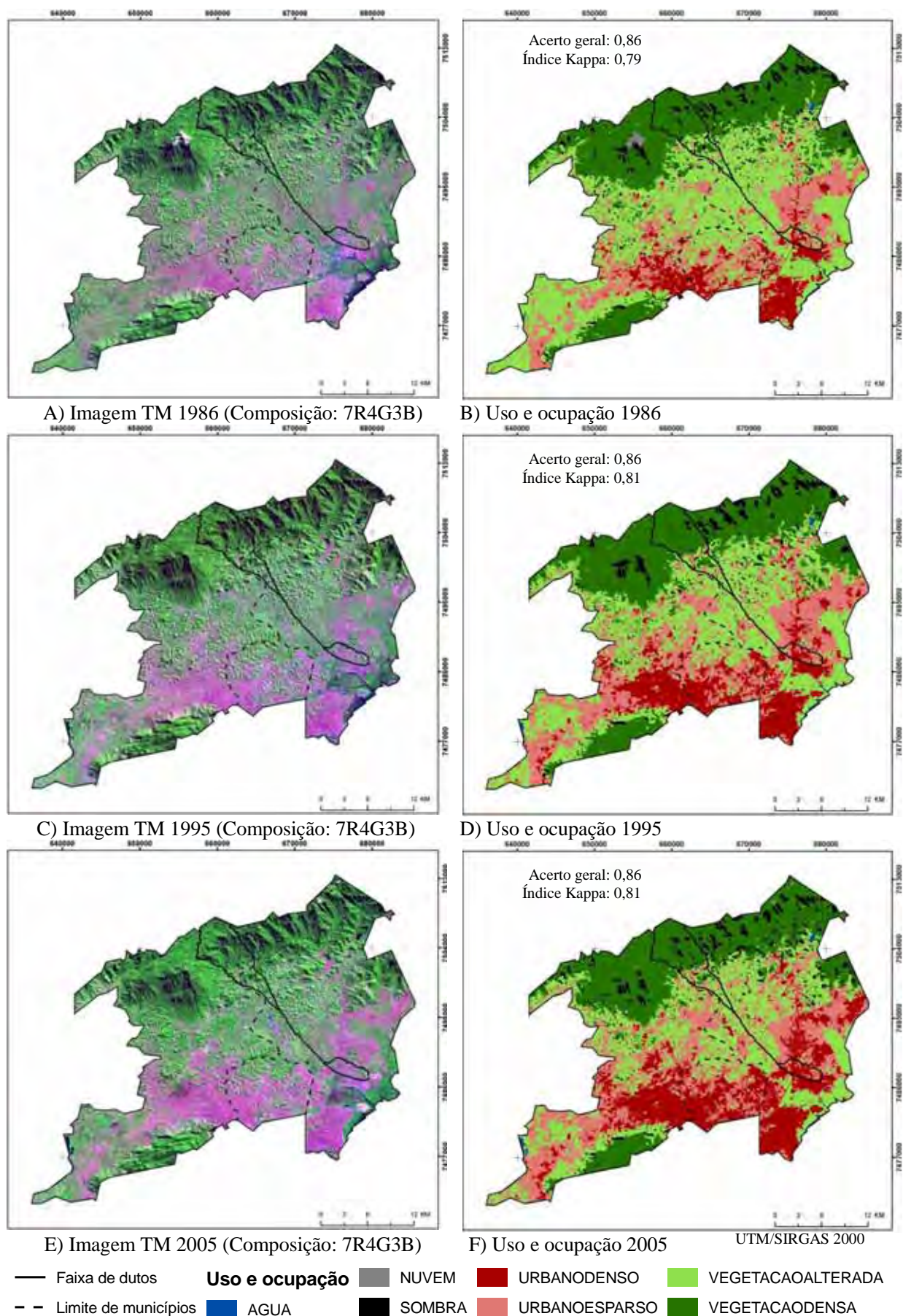


Figura 42 – Mapas de uso e ocupação da terra – 1986, 1995 e 2005

6.9.2 Mapa de mudanças

A tabela 36 apresenta o crescimento relativo, nos períodos de 1986 a 1995 e de 1995 a 2005, das classes relacionadas ao urbano e a vegetação.

Tabela 36 – Crescimento relativos da área das classes

	Crescimento 86-95	Crescimento 95-05
URBANODENSO	57,54%	35,39%
UBRANOESPARSO	22,23%	2,60%
VEGETACAOALTERADA	-21,93%	-12,52%
VEGETACAODENSA	1,39%	-7,52%

As tabelas 37 e 38 relacionam as mudanças ocorridas, para as classes de urbano e vegetação, com as classes de origem dessa mudança, ou seja, para o período de 1986 a 1995 as classes de origem correspondem às classes de uso e ocupação de 1986, e para o período de 1995 a 2005 as classes de origem correspondem às classes de uso e ocupação de 1995.

Tabela 37 – Relação entre as classes de mudança (1986 e 1995) e as classes de uso e ocupação da terra (1986)

		Classes de mudanças 1986-1995 (% do total da classe de mudança)			
		p.URBANO-DENSO	p.URBANO-ESPARSO	p.VEGETACAO-ALTERADA	p.VEGETACAO-DENSA
Classes de uso e ocupação 1986	URBANO-DENSO	-	0,00%	0,00%	0,00%
	URBANO-ESPARSO	67,02%	-	0,00%	0,00%
	VEGETACAO-ALTERADA	32,33%	97,87%	-	57,28%
	VEGETACAO-DENSA	0,17%	1,04%	78,20%	-
	AGUA	0,14%	0,05%	1,93%	0,02%
	SOMBRA	0,33%	1,04%	19,86%	37,82%
	NUVEM	0,00%	0,00%	0,00%	4,88%

Tabela 38 – Relação entre as classes de mudança (1995 e 2005) e as classes de uso e ocupação da terra (1995)

		Classes de mudanças 1995-2005			
		(% do total da classe de mudança)			
		p.URBANO-DENSO	p.URBANO-ESPARSO	p.VEGETACAO-ALTERADA	p.VEGETACAO-DENSA
Classes de uso e ocupação 1995	URBANO-DENSO	-	0,00%	0,00%	0,00%
	URBANO-ESPARSO	86,85%	-	0,00%	0,00%
	VEGETACAO-ALTERADA	12,40%	97,79%	-	62,91%
	VEGETACAO-DENSA	0,27%	1,48%	78,98%	-
	AGUA	0,08%	0,02%	1,39%	0,09%
	SOMBRA	0,40%	0,71%	19,63%	37,00%
	NUVEM	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

As figuras 43 e 44 apresentam os mapas de mudanças, para os períodos de 1986 a 1995 e 1995 a 2005, e os mapas de uso e ocupação da terra para permitir compreender as dinâmicas das alterações. Importante destacar que os mapas de mudanças estão apenas representando as alterações que ocorreram envolvendo as classes de uso URBANODENSO, URBANOESPARSO, VEGETACAOALTERADA e VEGETACAODENSA. As alterações envolvendo as demais classes não foram consideradas como alteração.

Observando as tabelas e as figuras são possíveis fazer as seguintes afirmações em relação à dinâmica de mudanças:

(a) - As mudanças que ocorreram para a classe URBANODENSO foram predominantemente originadas da classe URBANOESPARSO, ou seja, correspondem a regiões urbanas que se densificaram ao longo dos períodos analisados;

(b) - As mudanças que ocorreram para a classe URBANOESPASO foram originadas, quase que em sua totalidade, da classe VEGETACAOALTERADA;

(c) - As mudanças que ocorreram para a classe VEGETACAOALTERADA foram originadas, em sua maioria, da classe VEGETACAODENSA;

(d) - A tabela 36 (de crescimento) reflete a tendência de perda de área para as classes de vegetação e acréscimo de área para as classes de urbano;

(e) - No período de 1986 a 1995 observa-se um grande crescimento da classe URBANODENSO (57,54%), que ocorreu, em sua grande parte, próximo ou entre os núcleos urbanos estabelecidos a esquerda do duto. Entretanto no período de 1995 a 2005 nota-se uma nova tendência de crescimento significativo da classe de URBANODENSO, localizado a direita do duto;

(f) - No período de 1986 a 1995 a classe URBANOESPASO cresce 34% enquanto que no período seguinte cresce apenas 2,60%. Esse decréscimo é reflexo da expansão da classe URBANODENSO sobre a classe URBANOESPARSO;

(g) - As mudanças que ocorrem entre as classes de vegetação estão localizadas, principalmente, em áreas de transição para relevos mais acidentados, onde ainda existe vegetação natural preservada.

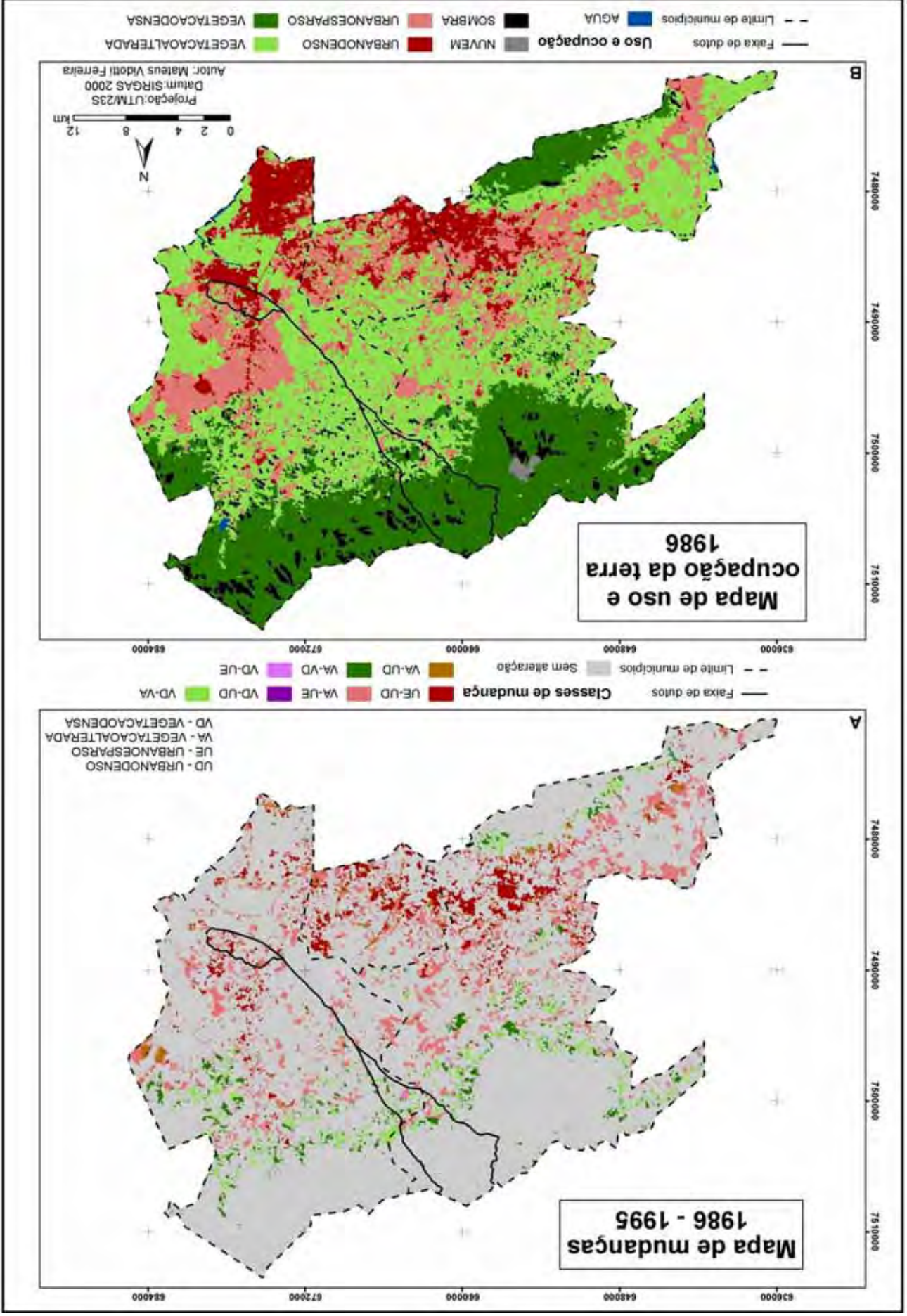


Figura 43 – A) Mapa de mudanças 1986-1995. B) Mapa de uso e ocupação da terra 1986

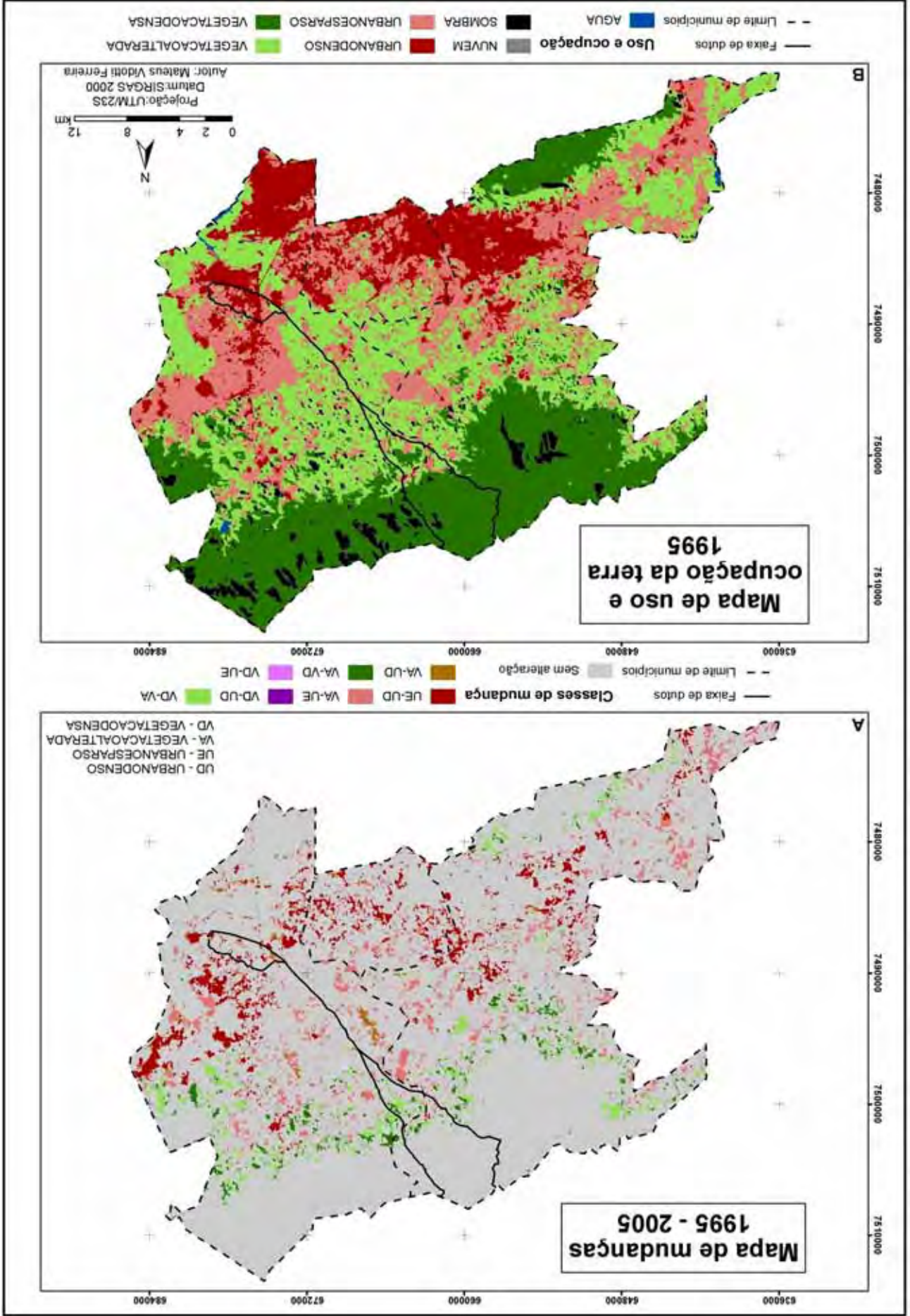


Figura 44 – A) Mapa de mudanças 1995 - 2005. B) Mapa de uso e ocupação da terra 1995

6.9.3 – Relação entre sistemas de relevo, classes uso e ocupação da terra e classes de mudança

Em termos de uso e ocupação, pode-se agrupar os sistemas de relevo presentes na área de estudo, em três grupos.

O primeiro é composto pelos sistemas de planícies (Planícies flúvio marinhas, Planícies colúvio-alúvio-marinhas e Planícies aluviais), corresponde as áreas que foram inicialmente ocupadas e onde se instalaram os centros urbanos. Por se tratarem de áreas de baixa declividade, apresentam uma grande facilidade para ocupação.

O segundo grupo é composto pelo sistema de Colinas isoladas, que estão distribuídas praticamente por toda a área de estudo. As colinas localizadas entre as áreas urbanas foram densamente ocupadas, enquanto que as localizadas distantes dos centros urbanos apresentam ainda a vegetação original preservada.

O terceiro grupo é composto pelo domínio de Colinas dissecadas, morrotes e morros baixos, Escarpas serranas e Morros isolados. Estão distribuídos por toda área de estudo, entretanto são pouco ocupados, por ser tratarem de sistemas de relevo muito acidentados e de altas declividades.

A tabela 39 apresenta a proporção de mudança e não mudança do uso e ocupação para cada sistema de relevo nos períodos analisados.

Tabela 39 – Proporção de mudança e não mudança para os sistemas de relevo

	Não mudança		Mudança	
	1986-1995	1995-2005	1986-1995	1995-2005
Colinas isoladas	78,45%	83,66%	21,55%	16,34%
Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos	75,76%	76,84%	24,24%	23,16%
Escarpas serranas	92,47%	92,91%	7,53%	7,09%
Maciços intrusivos alcalinos	89,73%	92,55%	10,27%	7,45%
Planícies aluviais	77,79%	79,03%	22,21%	20,97%
Planícies colúvio-alúvio-marinhas	79,70%	84,42%	20,30%	15,58%
Planícies flúvio-marinhas	89,01%	93,52%	10,99%	6,48%

As áreas em que ocorreram mudanças foram detalhadas nos gráficos de classes de mudança. As figuras 45, 46, 47, 48, 49, 50 e 51 correspondem aos gráficos que correlacionam

a proporção de cada classe de uso e ocupação e classes de mudança aos sistemas de relevo ao longo do período estudado.

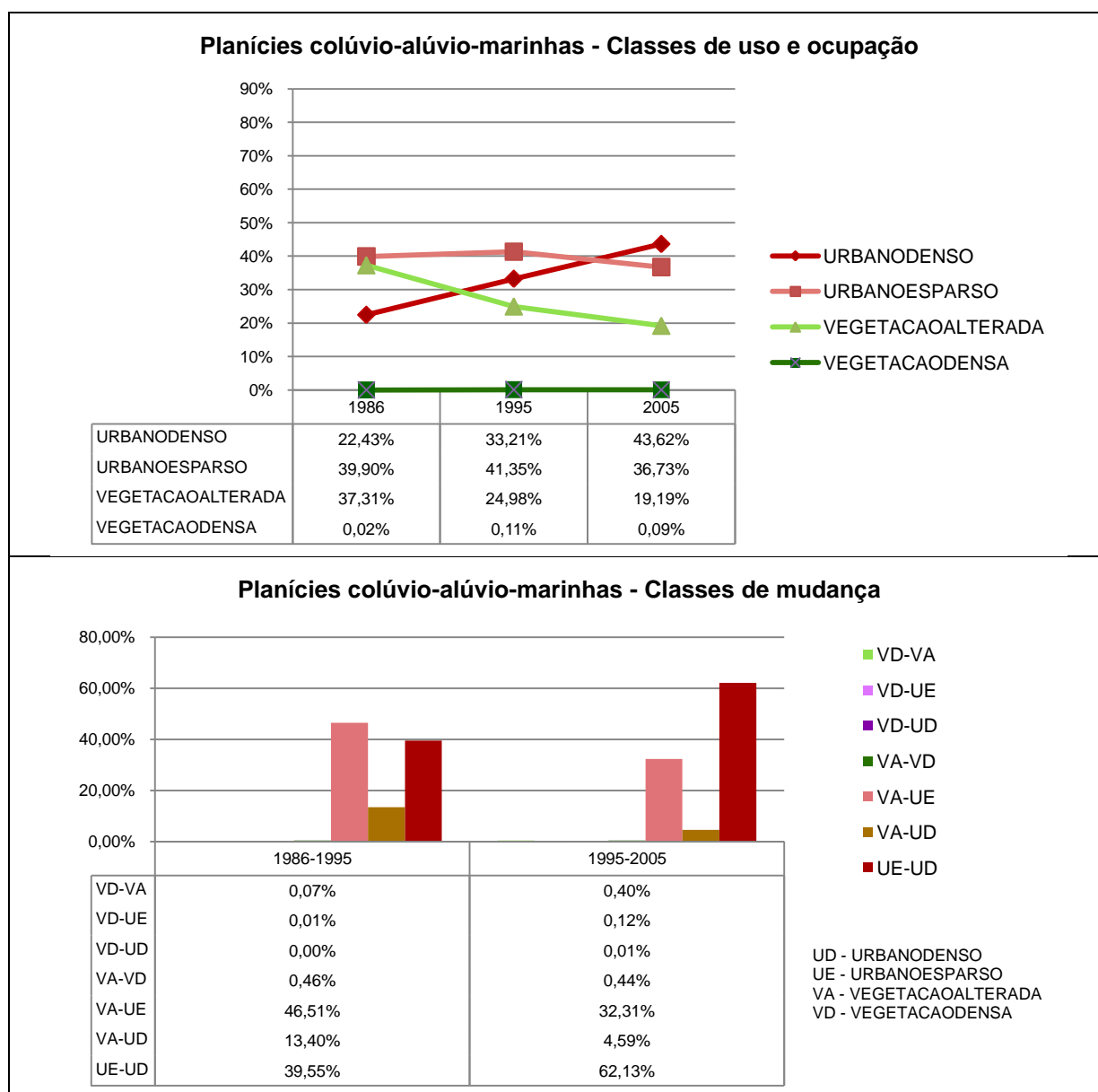


Figura 45 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Planícies colúvio-alúvio-marinhas

As Planícies colúvio-alúvio-marinhas correspondem a 26,96% da área de estudo, sendo o sistema de relevo que apresenta o maior crescimento da classe URBANODENSO, justificado pela presença dos três centros urbanos dos municípios analisados neste contexto geomorfológico. É importante destacar que em 1986 a classe URBANODENSO já correspondia a 22,43% da área total do sistema, e em 2005 passou a ocupar 43,62% da área. Dentre os sistemas estudados, o das Planícies colúvio-alúvio-marinhas é o que apresenta a maior parte da sua extensão coberta pela classe URBANODENSO.

A partir do gráfico de classes de mudanças nota-se que no período de 1986 a 1995 não existe uma dinâmica predominante, pois as mudanças para o URBANODENSO e URBANOESPARSO têm valores aproximados. Já no período de 1995 a 2005 há uma predominância da mudança do URBANOESPARSO para o URBANODENSO. É importante destacar que as mudanças correspondem a 20,3% no período de 1986 e a 1995 e a 15,58% da área total do sistema de relevo no período de 1995 a 2005.

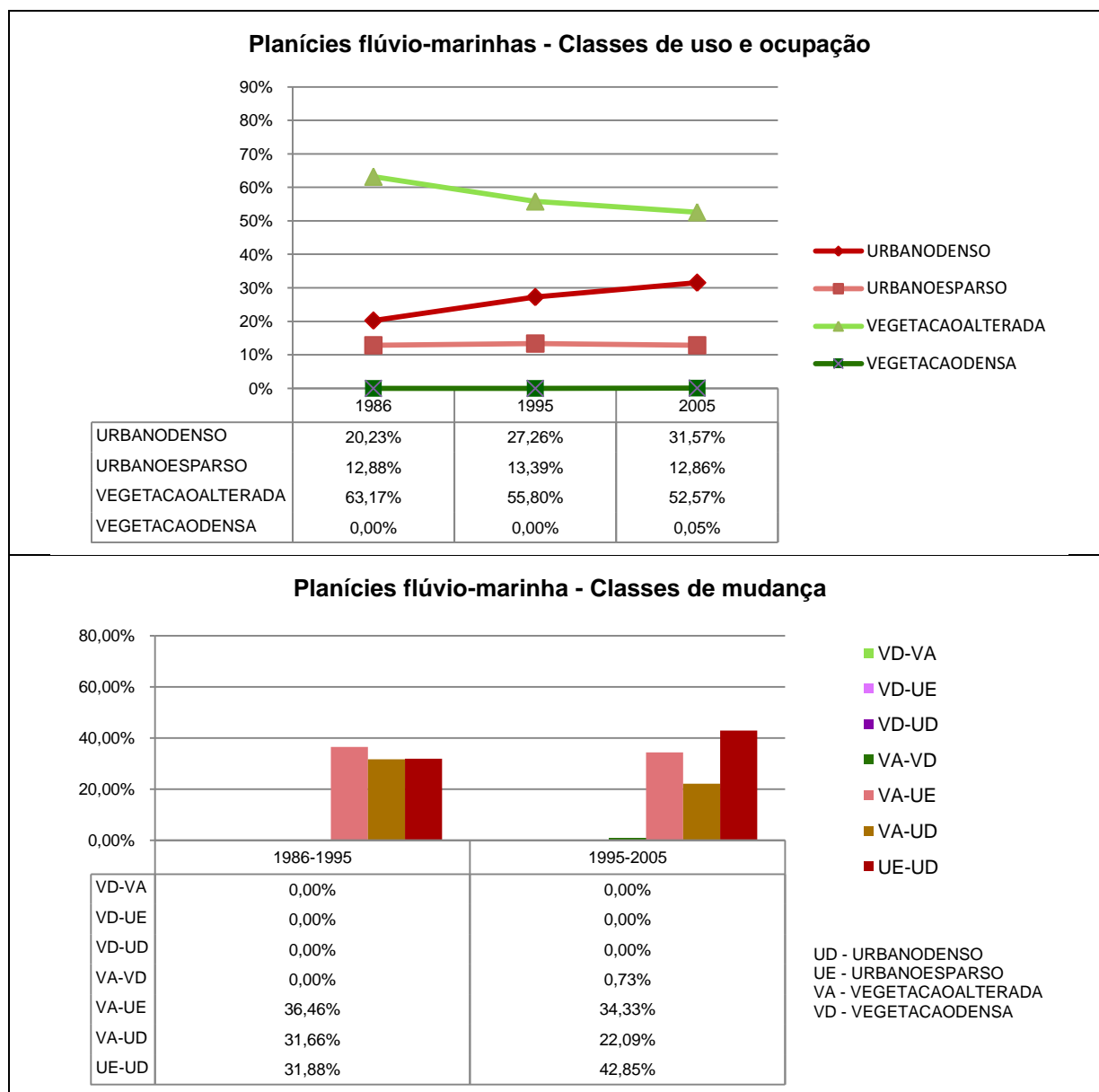


Figura 46 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Planícies flúvio-marinhas

As Planícies flúvio-marinhas correspondem a 3,21% da área de estudo e se localizam em áreas de mangue da Baía da Guanabara, o que dificulta a ocupação por se tratar de uma área de grande ocorrência de alagamentos. Na classificação, as áreas de mangues foram tratadas como VEGETACAOALTERADA. O crescimento de aproximadamente 11%

do URBANODENSO seguido de uma queda superior a 10% da área de VEGETACAOALTERADA indica que está ocorrendo um adensamento populacional sobre ou em áreas próximas ao mangue.

Neste sistema de relevo ocorre uma grande predominância de mudança para a classe URBANODENSO tanto a partir da classe URBANOESPARSO quanto a partir da classe VEGETACAOALTERADA em ambos os períodos. As mudanças da classe VEGETACAOALTERADA para a classe URBANOESPARSO também são representativas, permanecendo em torno de 30% nos dois períodos analisados.

As Planícies flúvio-marinhas estão entre os sistemas de relevo com menor porcentagem de mudança da área total, apresentando apenas 10,99% no período de 1986 a 1995 e 6,48% no período de 1995 a 2005.

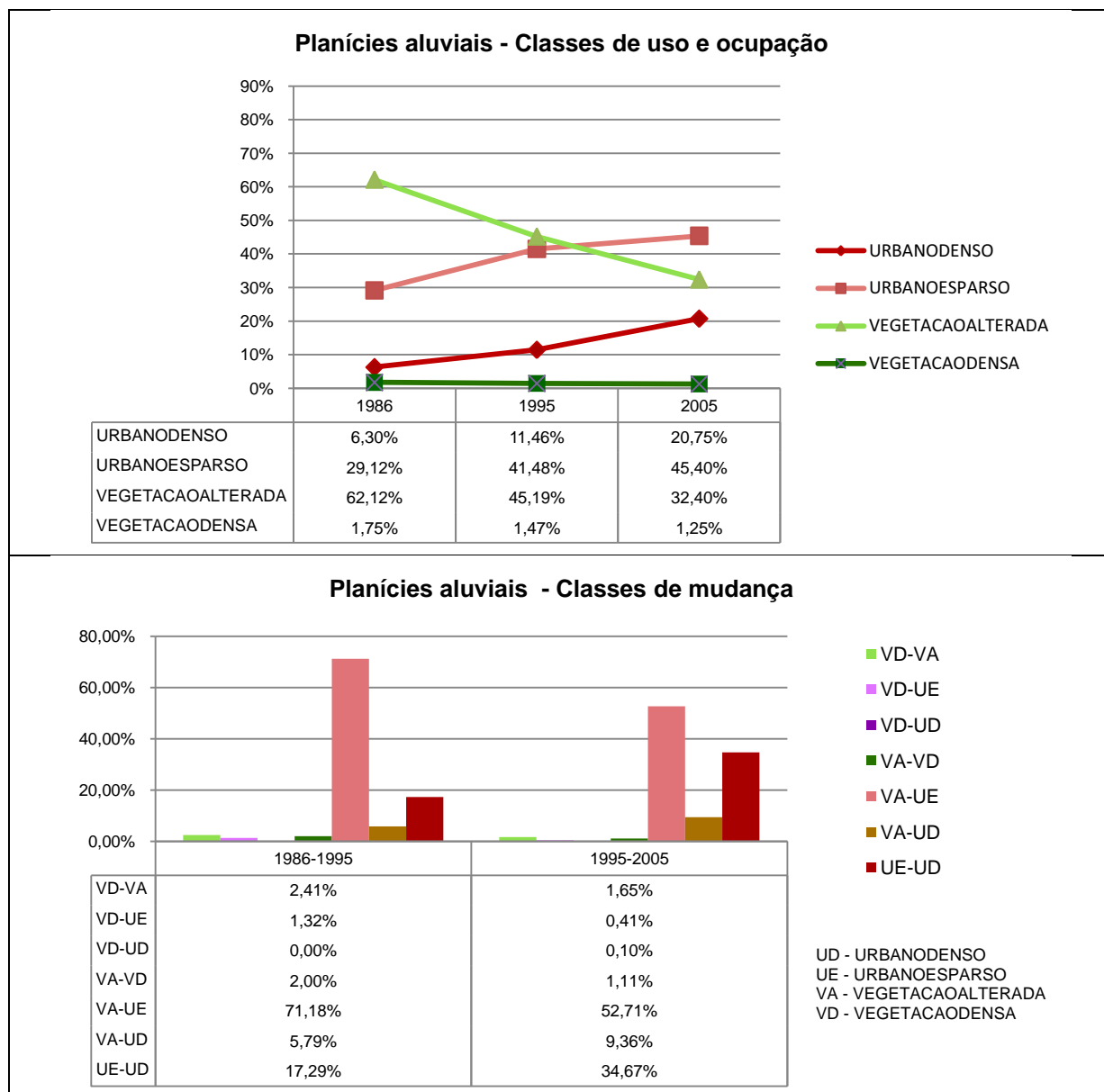


Figura 47 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Planícies aluviais

O sistema de relevo Planícies aluviais corresponde a 7,43% da área de estudo. Está localizada na periferia dos centros urbanos de Nova Iguaçu e Duque de Caxias. Em 1986 apresentava uma ocupação pouco densificada, com 29,12% da sua área correspondendo ao URBANOESPARSO e apenas 6,30% ao URBANODENSO. Prevalencia a classe VEGETACAOALTERADA com 62,12%, correspondendo a áreas de intensa degradação da vegetação original e provável uso agrícola. No período de 1986 a 1995 observa-se um aumento de mais de 12% da classe URBANOESPARSO e um acréscimo de pouco mais de 5% da classe URBANODENSO, seguido de uma queda de quase 17% da classe VEGETACAOALTERADA, indicando que a dinâmica que prevaleceu nesse período foi a de expansão do URBANOESPARSO sobre áreas de VEGETACAOALTERADA. No período seguinte, de 1995 a 2005, observa-se aumento de quase 4% da área de URBANOESPARSO e

um aumento de aproximadamente 9% do URBANODENSO, seguido por um decréscimo de aproximadamente 13% da área de VEGETACAOALTERADA.

A partir do gráfico de classes de mudanças nota-se que no período de 1986 a 1995 a mudança da classe VEGETACAOALTERADA para URBANOESPARSO foi extremamente significativa, mas perde destaque no período de 1995 a 2005, pois decai em decorrência do aumento de mudança da classe URBANOESPARSO para a classe URBANODENSO. Esse sistema de relevo apresenta a segunda maior área total de mudanças, correspondendo a 22,21% entre 1986 a 1995 e 20,97% entre 1995 a 2005.

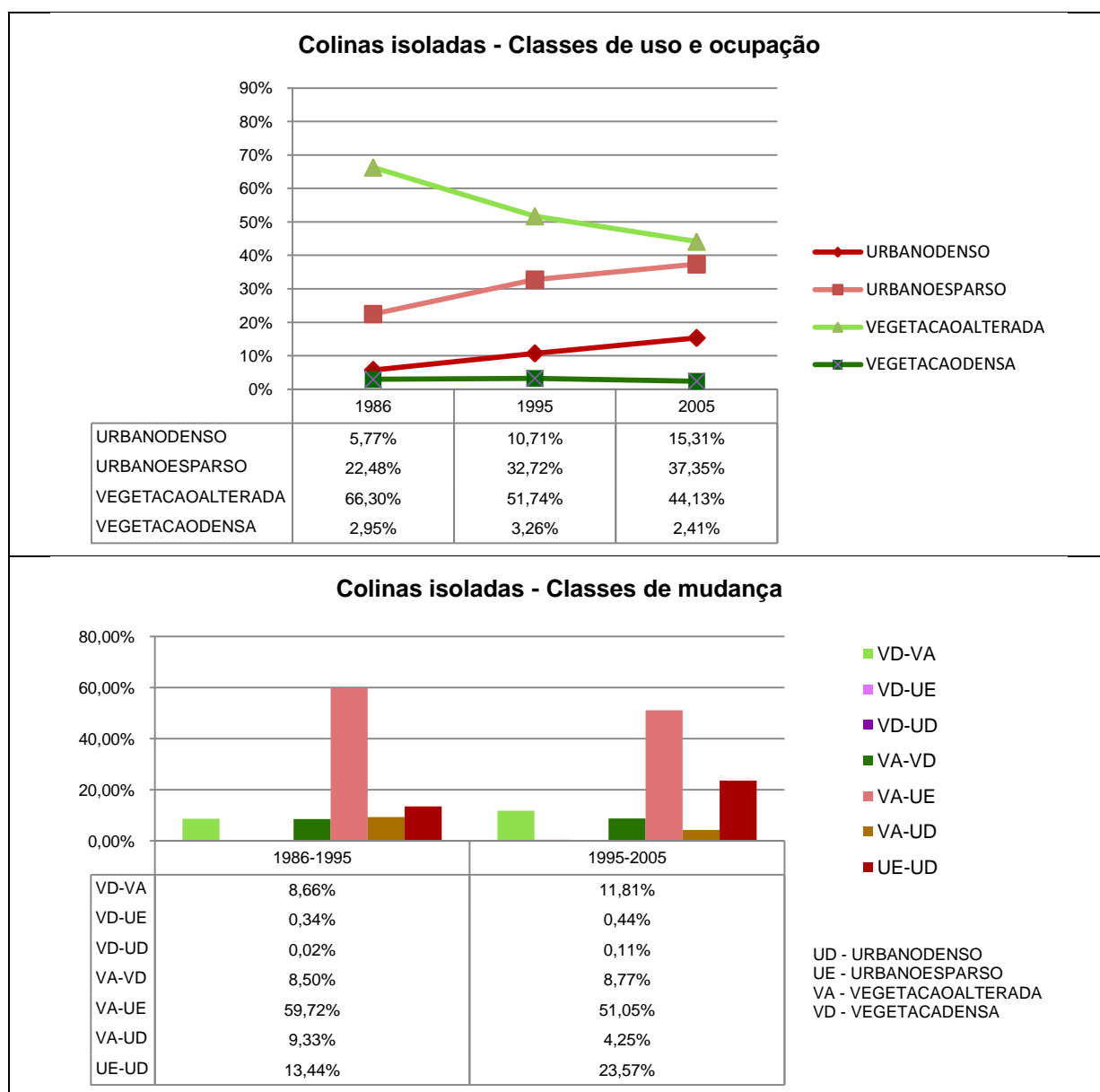


Figura 48 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Colinas isoladas

O sistema de Colinas isoladas corresponde a 23,28% da área de estudo e esta localizado em duas áreas de uso e ocupação bastante distintos. Um primeiro grupo de colinas

está localizado em meio as planícies colúvio-alúvio-marinhas e as áreas urbanas, onde é esperado que ocorra um constante acréscimo da ocupação. O segundo grupo de colinas está localizado na periferia da área urbana ou ainda mais afastado e nessas áreas não ocorrem uma ocupação intensa, apresentando até áreas de vegetação natural preservada nos topos das colinas. Observa-se uma queda constante das áreas de VEGETACAOALTERADA, que passa de 66,30% em 1986 para 44,13% em 2005. O URBANODENSO cresce em ritmo constante de aproximadamente 5% por período. O aumento mais significativo observado é de aproximadamente 15% para o URBANOESPARSO.

A dinâmica de mudança predominante é da classe VEGETACAOALTERADA para a classe URBANOESPARSO nos dois períodos analisados. Mas assim como ocorre nos Continentais, perde destaque no período de 1995 a 2005, pois decaí em decorrência do aumento de mudança da classe URBANOESPARSO para a classe URBANODENSO. O sistema de relevo de Colinas isoladas apresenta mudanças em 21,55% de sua área total no período de 1986 a 1995 e em 16,34% no período de 1995 a 2005.

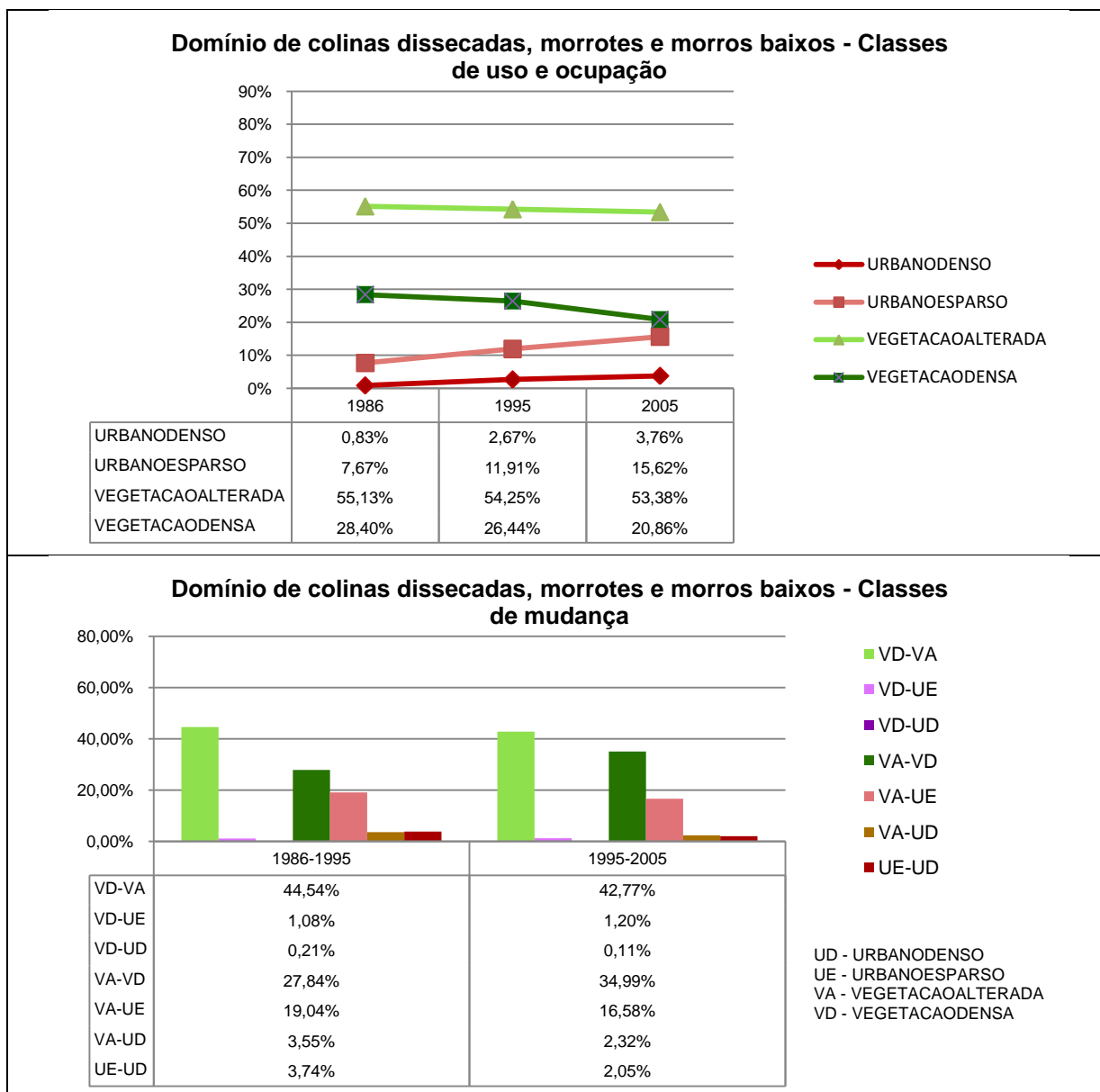


Figura 49 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos

O Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos correspondem a 6,25% do total da área de estudo e apresentam áreas próximas aos centros urbanos e áreas próximas a Serra do Mar. É um sistema que oferece dificuldade para ocupação e que, portanto, o seu uso urbano é ainda pouco explorado. Nota-se que as classes de vegetação ocupam quase 75% do total da área mesmo em 2005. Observa-se que o URBANOESPARSO cresce quase que na mesma razão que a VEGETACAODENSA diminui, enquanto que a VEGETACAOALTERADA diminuiu sutilmente.

A partir do gráfico de classes de mudanças nota-se há semelhanças em ambos os períodos, pois as mudanças da classe VEGETACAODENSA para a classe VEGETACAOALTERADA permanecem em aproximadamente 40%. Entre 1995 e 2005,

houve um aumento da mudança de VEGETACAOALTERADA para VEGETACAODENSA e uma pequena diminuição da mudança de VEGETACAOALTERADA para URBANOESPARSO.

Esse sistema de relevo apresenta a maior área total de mudanças, correspondendo a 24,24% entre 1986 a 1995 e a 23,16% entre 1995 a 2005.

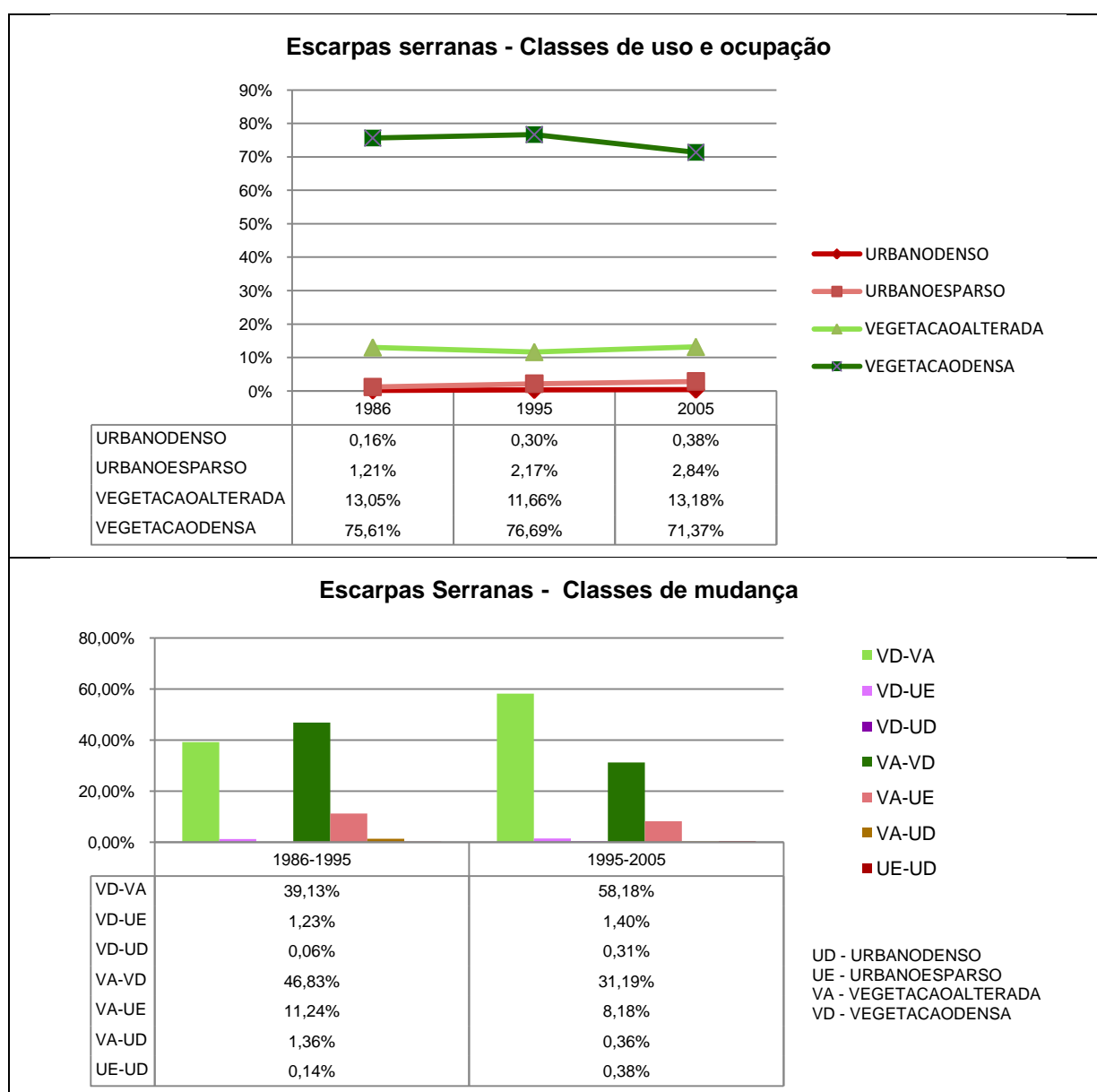


Figura 50 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Escarpas serranas

As Escarpas serranas correspondem a 20,30% do total da área de estudo e estão localizados distantes dos centros urbanos. É um sistema que oferece grande dificuldade para ocupação e onde, portanto, o uso urbano é pouco explorado. Nota-se que as classes de vegetação ocupam quase 85% do total da área em 2005. A única alteração significativa ocorre

no período de 1995 a 2005 quando a classe VEGETACAODENSA diminuiu aproximadamente 5%.

No geral, as mudanças são pouco significativas nesse sistema, no período de 1986 a 1995 as mudanças correspondem a apenas 7,53% da área e no período seguinte a 7,09% da área total do sistema. As mudanças que apresentam destaque são as que ocorrem entre as classes de vegetação, ou seja, de VEGETACAODENSA para VEGETACAOALTERADA e de VEGETACAOALTERADA para VEGETACAODENSA. As mudanças de VEGETACAOALTERADA para URBANOESPARSO não ultrapassam 12% nos períodos analisados.

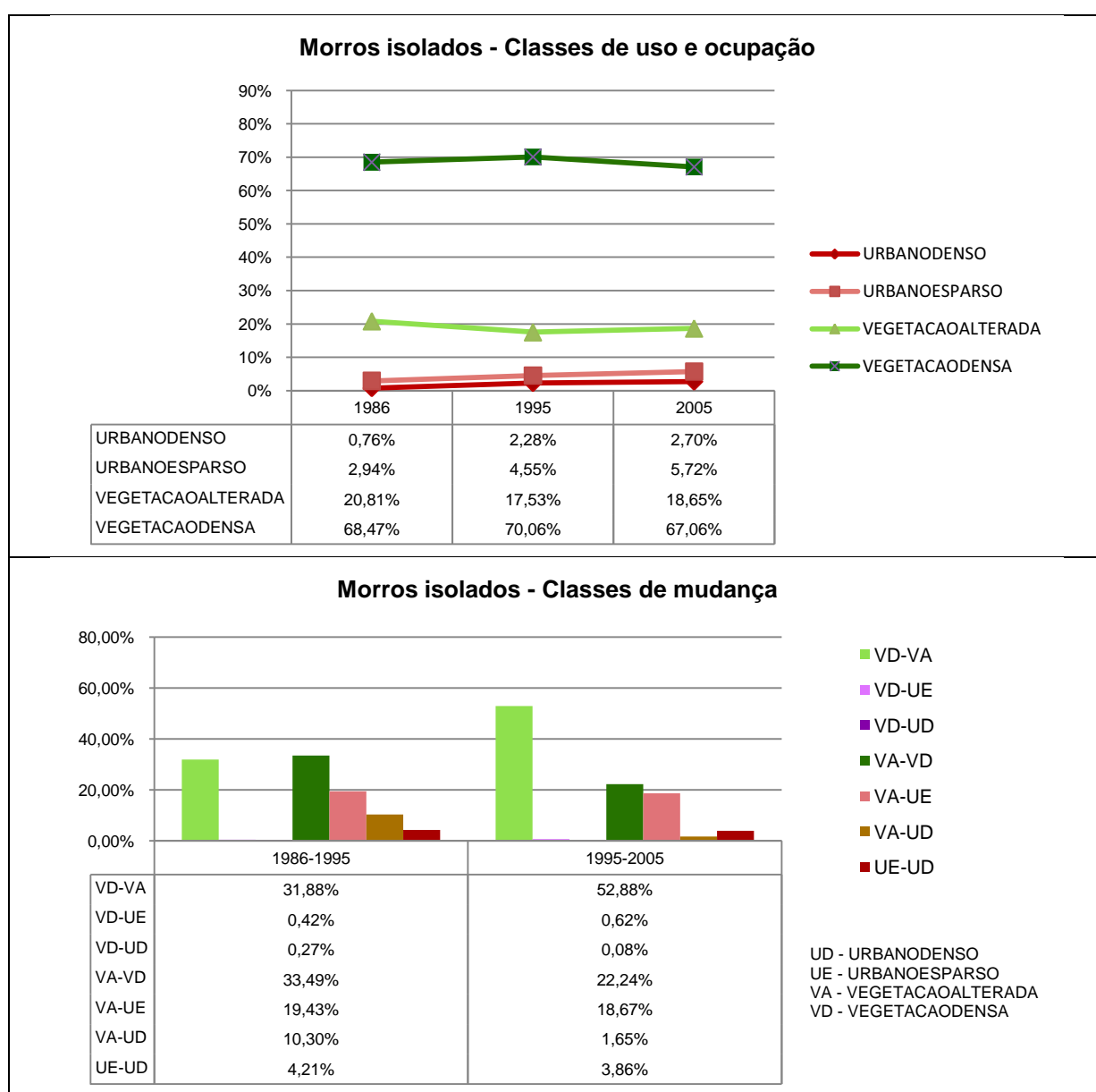


Figura 51 – Gráficos correspondentes ao sistema de relevo Morros isolados

O sistema de Morros isolados corresponde a 12,57% do total da área de estudo. Apresenta também grande dificuldade para ocupação como ocorre no sistema de Escarpas serranas. Este sistema está dividido em dois maciços, sendo um localizado em meio da área urbana e outro na área da Serra do Mar.

No geral, as mudanças são pouco significativas nesse sistema, no período de 1986 a 1995 as mudanças correspondem a apenas 10,27% da área e no período seguinte a 7,45% da área total do sistema. As mudanças que merecem destaque são as que ocorrem entre as classes de vegetação, ou seja, de VEGETACAODENSA para VEGETACAOALTERADA e de VEGETACAOALTERADA para VEGETACAODENSA, como ocorrido nas Escarpas serranas. As mudanças de VEGETACAOALTERADA para URBANOESPARSO são um pouco mais significativas atingindo quase 20% no período de 1986 a 1995 e todas as mudanças para URBANODENSO não somam 15%.

A proporção das classes de uso e ocupação sobre as unidades de relevo podem ser sintetizadas através do IPA_d . As figuras 52, 53 e 54 apresentam o IPA_d para os sistemas de relevo, nos três anos analisados. Importante destacar que o IPA_d representado nos mapas foi calculado segundo as unidades contínuas dos sistemas de relevo, e não por sistemas de relevo como foram elaborados os gráficos.

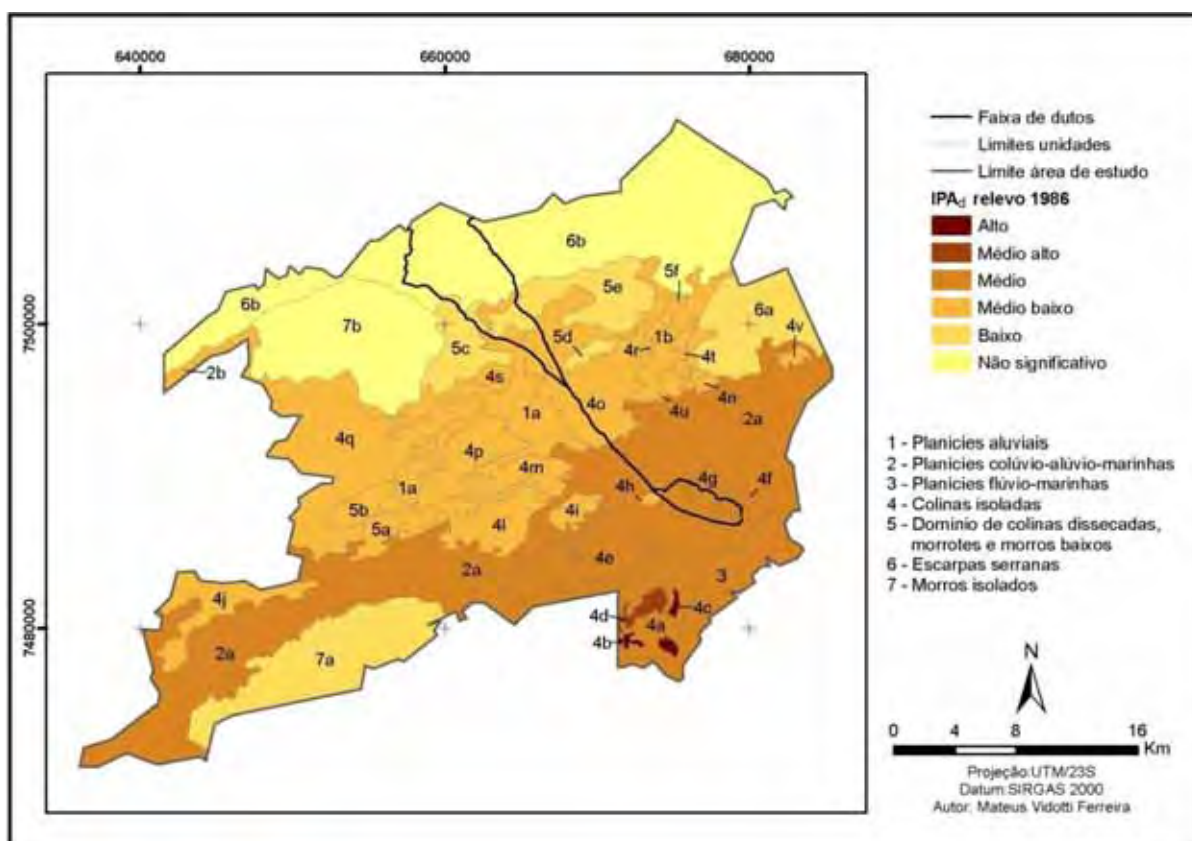


Figura 52 – IPA_d 1986 para as unidades dos sistemas de relevo

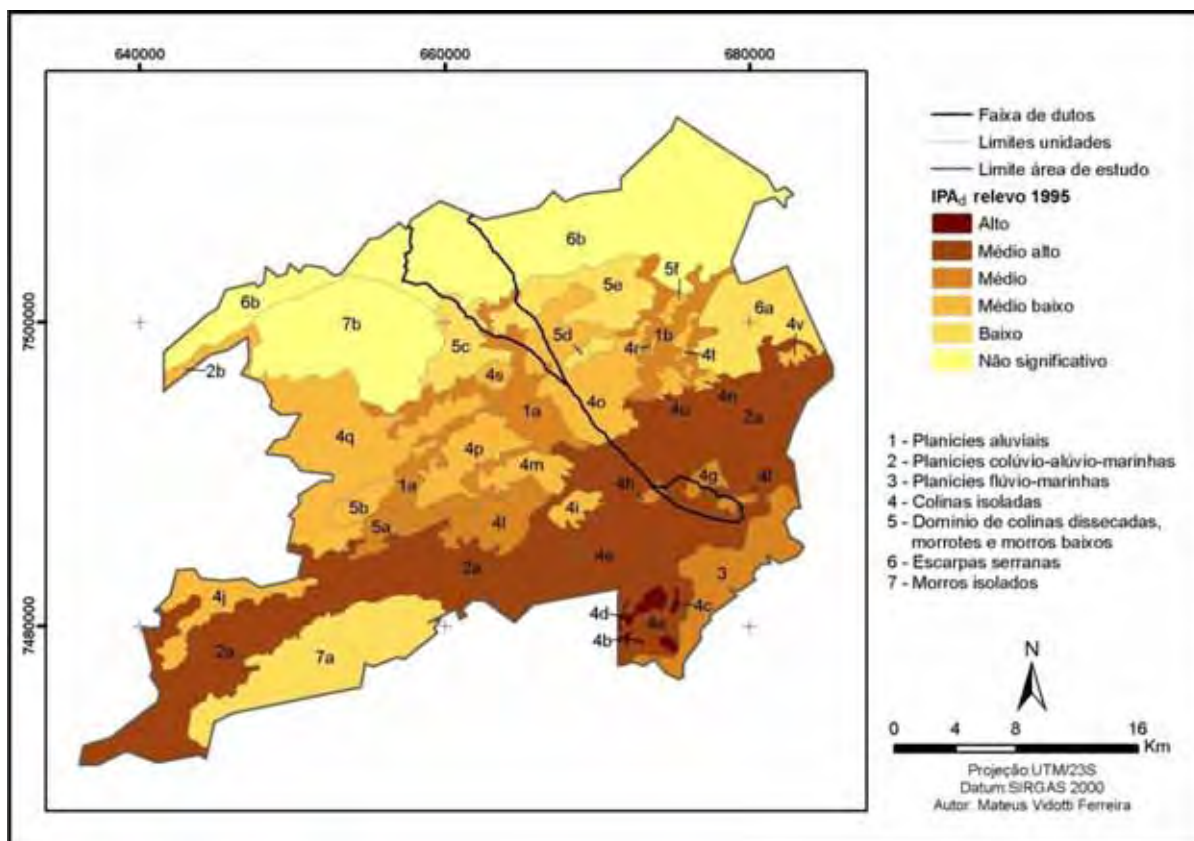


Figura 53 – IPA_d 1995 para as unidades dos sistemas de relevo

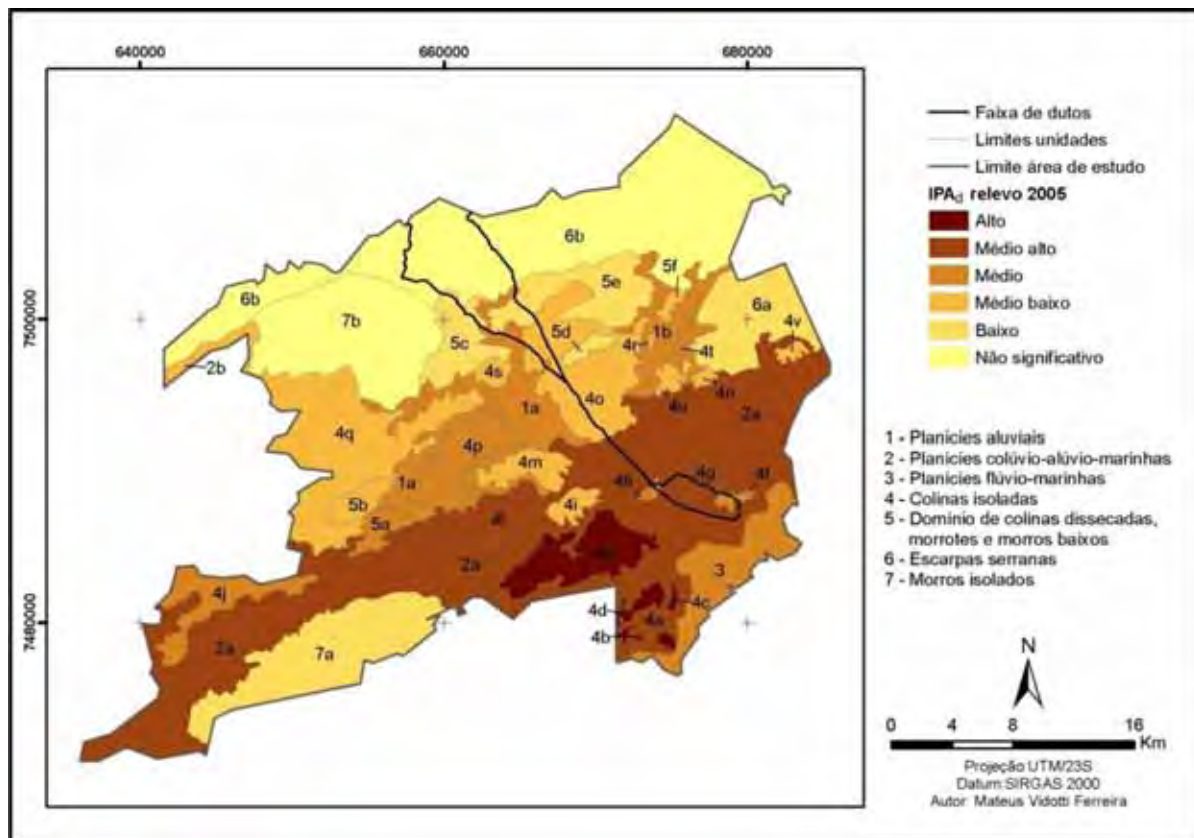


Figura 54 – IPA_d 2005 para as unidades dos sistemas de relevo

A tabela 40 apresenta os valores de IPA_d e suas variações nos períodos para cada unidade de relevo.

Tabela 40 – IPA_d das unidades dos sistemas de relevo

Unidades do sistema de relevo	IPA_d 1986	IPA_d 1995	IPA_d 2005	Variação 1986-1995	Variação 1995-2005	Variação 1986-2005
1a	0,607	0,663	0,721	0,056	0,057	0,114
1b	0,571	0,633	0,690	0,063	0,057	0,119
2a	0,714	0,771	0,812	0,058	0,041	0,098
2b	0,518	0,545	0,578	0,027	0,033	0,060
3	0,639	0,676	0,696	0,038	0,020	0,057
4a	0,971	1,000	1,000	0,029	0,000	0,029
4b	0,970	1,000	1,000	0,030	0,000	0,030
4c	0,993	1,000	1,000	0,007	0,000	0,007
4d	0,861	0,914	0,932	0,054	0,018	0,071
4e	0,739	0,832	0,886	0,094	0,053	0,147
4f	0,634	0,704	0,718	0,070	0,014	0,084
4g	0,675	0,749	0,799	0,074	0,050	0,124
4h	0,622	0,668	0,711	0,046	0,043	0,089
4i	0,554	0,580	0,616	0,027	0,036	0,062
4j	0,540	0,605	0,633	0,065	0,028	0,093
4l	0,624	0,708	0,765	0,084	0,057	0,141
4m	0,520	0,561	0,576	0,040	0,015	0,056
4n	0,509	0,539	0,626	0,030	0,087	0,117
4o	0,522	0,545	0,583	0,023	0,037	0,061
4p	0,561	0,613	0,661	0,052	0,048	0,100
4q	0,515	0,555	0,588	0,040	0,033	0,073
4r	0,523	0,541	0,571	0,018	0,030	0,048
4s	0,525	0,585	0,615	0,059	0,030	0,089
4t	0,576	0,598	0,639	0,022	0,041	0,064
4u	0,548	0,568	0,601	0,020	0,033	0,054
4v	0,537	0,528	0,620	-0,009	0,092	0,083
5a	0,597	0,667	0,730	0,069	0,063	0,132
5b	0,508	0,509	0,583	0,001	0,074	0,075
5c	0,347	0,392	0,415	0,045	0,023	0,068
5d	0,427	0,450	0,485	0,023	0,034	0,058
5e	0,290	0,322	0,365	0,032	0,043	0,075
5f	0,531	0,548	0,581	0,017	0,032	0,050
6a	0,265	0,252	0,322	-0,013	0,070	0,057
6b	0,046	0,049	0,058	0,003	0,009	0,012
7a	0,273	0,303	0,338	0,030	0,035	0,065
7b	0,032	0,026	0,034	-0,006	0,009	0,002

1 Planícies aluviais; 2 Planícies colúvio-alúvio-marinhas; 3 Planícies flúvio-marinhas; 4 Colinas isoladas;

5 Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos; 6 Escarpas serranas; 7 Morros isolados

Analisando os mapas e a tabela, nota-se que as unidades 4a, 4b e 4c são as únicas que mantêm o IPA_d Alto nos três anos analisados. Isto ocorre devido a estas unidades estarem situadas em áreas do centro urbano consolidado, restando assim poucas áreas para maior adensamento.

As unidades 1a, 1b, 2a, 4d, 4e, 4g, 4j, 4h, 4l, 4p, 4t e 5a são áreas em que houve mudança da classe de IPA_d em pelo menos um dos períodos estudados. Observa-se que o sistema de relevo Colinas isoladas apresentou mudança em um número maior de unidades (4d, 4e, 4g, 4j, 4h, 4l, 4p, 4t), no entanto, o sistema de Planícies colúvio-alúvio-marinhas apresentou mudança em apenas uma unidade (2a), mas que corresponde a uma grande parcela da área de estudo e representa as áreas de maior ocupação.

Para melhor visualizar as áreas de maiores e menores acréscimos do IPA_d , a coluna Variação 1986-2005 da tabela 40 foi espacializada na figura 55. Utilizaram-se quatro classes para representação, divididas através do método estatístico de Quebras Naturais.

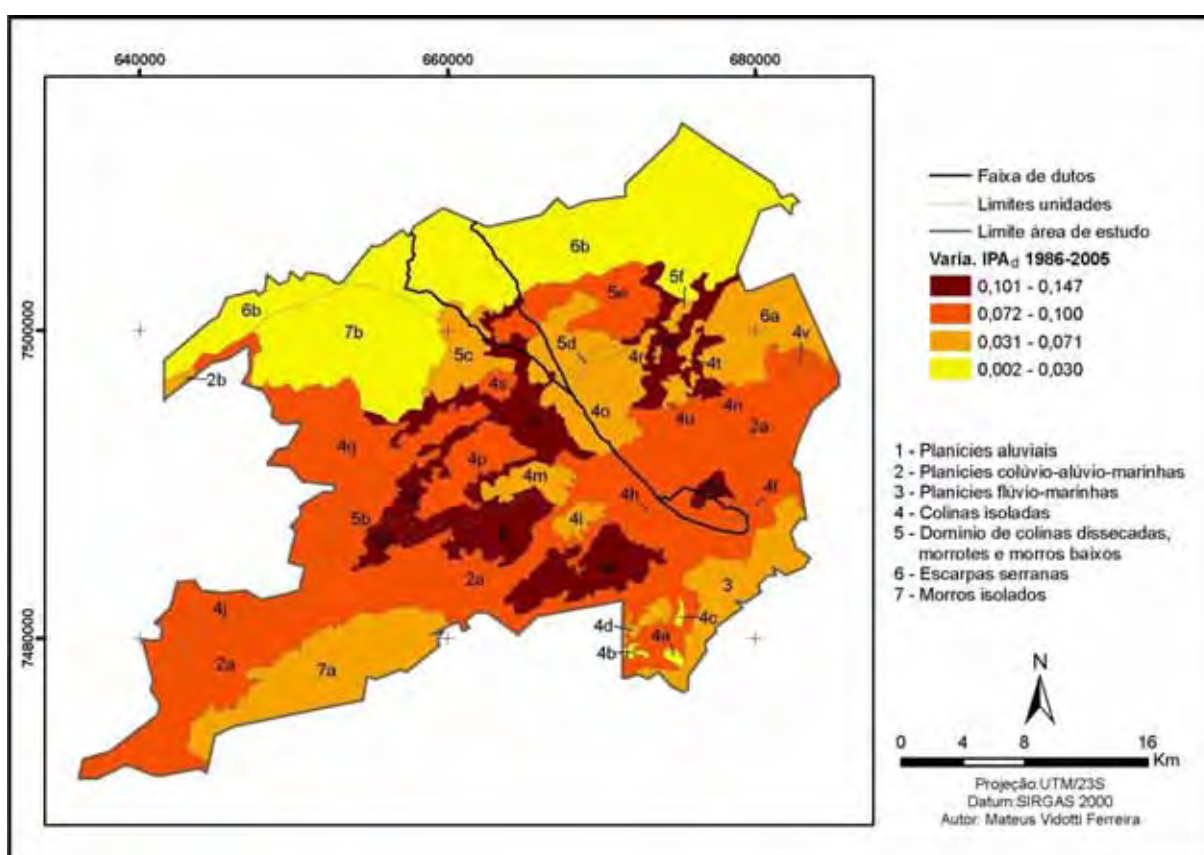


Figura 55 – Variação IPA_d 1986-2005 para as unidades dos sistemas de relevo

Analisando o mapa de variação do IPA_d de 1986 a 2005, pode-se afirmar que, nesse período, as unidades dos sistemas de relevo que mais sofreram acréscimo da ocupação foram a 1a, 1b, 4e, 4g, 4l, 4n e 5a, apresentando variação superior a 0,1. Essas unidades fazem parte dos sistemas de relevo Planícies aluviais, Colinas isoladas e Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos.

É possível perceber que as unidades em que mais houve acréscimo da ocupação fazem fronteira com a unidade 2a, onde estão instaladas a maior parte das áreas urbanas dos municípios, sofrendo assim seus efeitos.

6.9.5 – Relação entre zonas de influência da faixa de dutos, classes de uso e ocupação da terra e classes de mudança

Analisar o uso e ocupação e suas mudanças nessas zonas é relevante, pois as mesmas guardam uma relação direta de distância e posição em relação à faixa. A faixa de dutos está disposta no sentido sul-norte e, conseqüentemente, as zonas de influência se estendem desde a Serra do Mar, localizada a norte, até a Baía da Guanabara e os centros urbanos, localizados ao sul. Devido a este fato, todas as zonas, com exceção daquelas localizadas em áreas restritas entre a faixa, apresentam áreas sobre classes de uso e ocupação e sistema de relevo bastante diversificados.

Ocorre quase sempre uma proporção maior das classes de vegetação, principalmente da VEGETACAOALTERADA, pois ocupam a maior parte do município. Uma proporção mais significativa da classe URBANODENSO ocorre nas zonas localizadas à direita da faixa, principalmente para a zona ZIV-D, pois é onde estão localizados os centros urbanos. A esquerda, em termos de urbano, predomina áreas de expansão, e por isso, ocorre uma proporção maior da classe URBANOESPARSO.

A tabela 41 apresenta a proporção de mudança e não mudança do uso e ocupação para cada zona de influência nos períodos analisados.

Tabela 41 – Proporção de mudança e não mudança para as zonas de influência

	Não mudança		Mudança	
	1986-1995	1995-2005	1986-1995	1995-2005
ZID ¹	84,94%	89,26%	15,06%	10,74%
ZII-E ²	87,35%	88,71%	12,65%	11,29%
ZII-D ³	86,49%	84,62%	13,51%	15,38%
ZII-M1 ⁴	76,36%	87,91%	23,64%	12,09%
ZII-M2 ⁴	90,95%	92,72%	9,05%	7,28%
ZIV-E ⁵	78,87%	86,17%	21,13%	13,83%
ZIV-D ⁶	86,52%	84,46%	13,48%	15,54%

¹Zona de influência direta; ²Zona de influência indireta à esquerda da faixa; ³Zona de influência indireta à direita da faixa; ⁴Zona de influência indireta entre a faixa; ⁵Zona de influência variável à esquerda da faixa; ⁶Zona de influência variável à direita da faixa

De acordo com a tabela 41, pode-se dizer que no período de 1986 a 1995 as áreas onde mais ocorreram mudanças foram as localizadas à esquerda da faixa, enquanto que no período seguinte prevaleceram as mudanças à direita da faixa. As áreas em que ocorreram mudanças foram detalhadas nos gráficos de classes de mudança.

As figuras 56, 57, 58, 59, 60, 61 e 62 correspondem aos gráficos que correlacionam a proporção de cada classe de uso e ocupação e classes de mudança aos sistemas de relevo ao longo do período estudado.

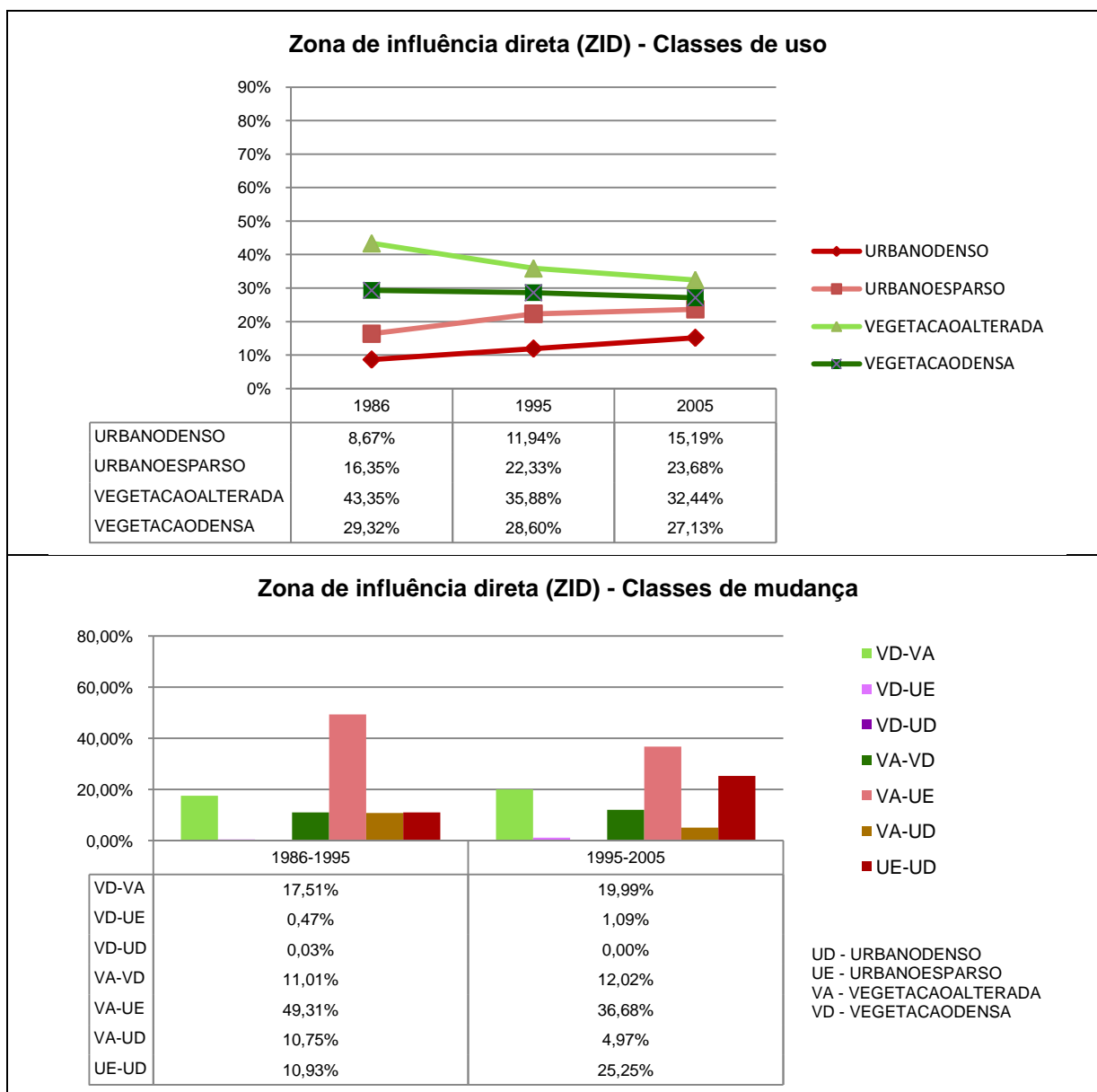


Figura 56 – Gráficos correspondentes a zona de influência direta (ZID)

A zona de influência direta - ZID corresponde a apenas 3,99% do total da área de estudo. O uso predominante é de VEGETACAOALTERADA seguido da VEGETACAODENSA, ambas em 2005, correspondem a aproximadamente 60% da área. Existe uma tendência de crescimento constante das classes de urbano, de aproximadamente 4% por período, e uma tendência de decréscimo de 6% por período, da classe de VEGETACAOALTERADA. Com relação área, a classe VEGETACAODENSA apresentou pouca variação ao longo das datas, um decréscimo em torno de 2%.

Em termos de mudanças, destaca-se que no período de 1986 a 1995 estas corresponderam a 15,06% e no período de 1995 a 2005 a 10,74% da área total da zona. No primeiro período a mudança que predomina é de VEGETACAOALTERADA para URBANAESPARGO, enquanto que no segundo período existe uma divisão entre as classes de mudança para o uso urbano.

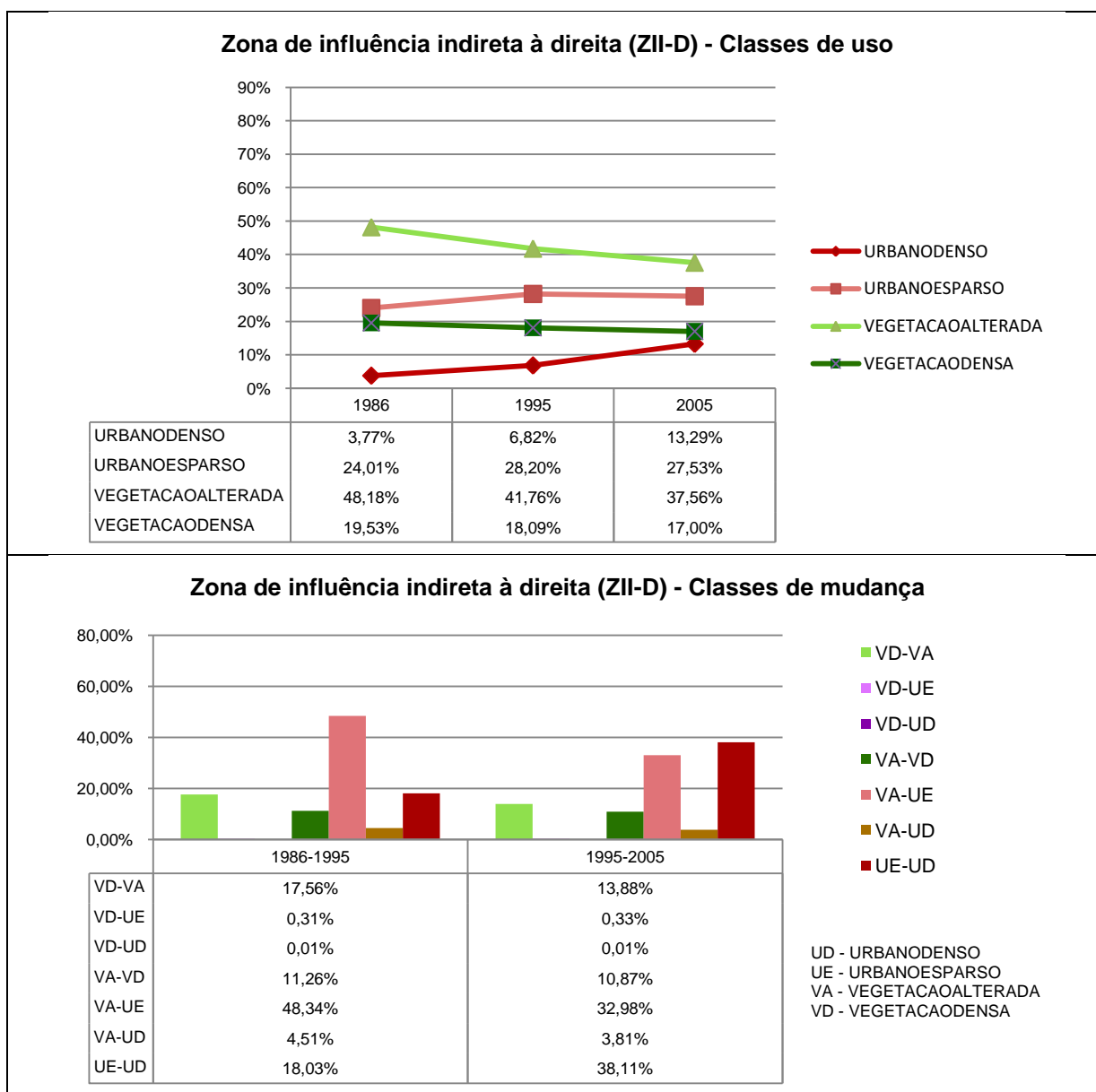


Figura 57 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta à direita da faixa (ZII-D)

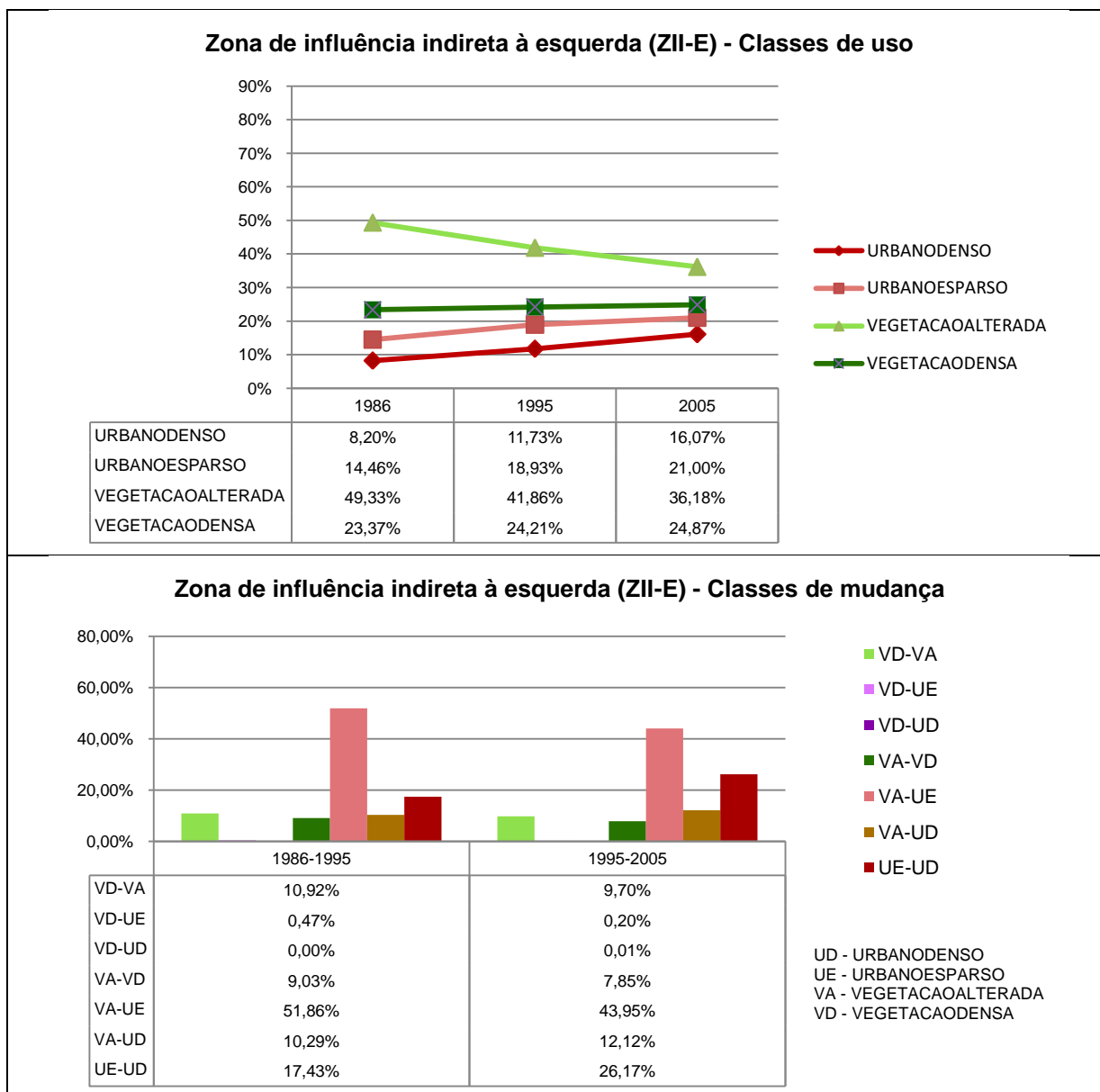


Figura 58 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta à esquerda da faixa (ZII-E)

As zonas de influência indireta - ZII localizadas a direita e a esquerda da faixa de duto correspondem a 27,99% do total da área de estudo. Verifica-se uma distribuição de uso bastante semelhante. Em ambos os lados, a classe de uso e ocupação que predomina é da VEGETACAOALTERADA e a que ocorre em menor presença é a classe de URBANODENSO. Entretanto, pelo fato da AII-D cruzar uma área de expansão urbana, esta apresenta uma proporção mais significativa da classe URBANOESPARSO do que a ZII-E.

Em termos de mudanças, é possível perceber um adensamento da ocupação no período de 1995 a 2005 na zona ZII-D, pois mais 40% das mudanças corresponderam à classe URBANODENSO. Na ZII-E, em ambos os períodos, predominam as mudança para a classe URBANOESPARSO.

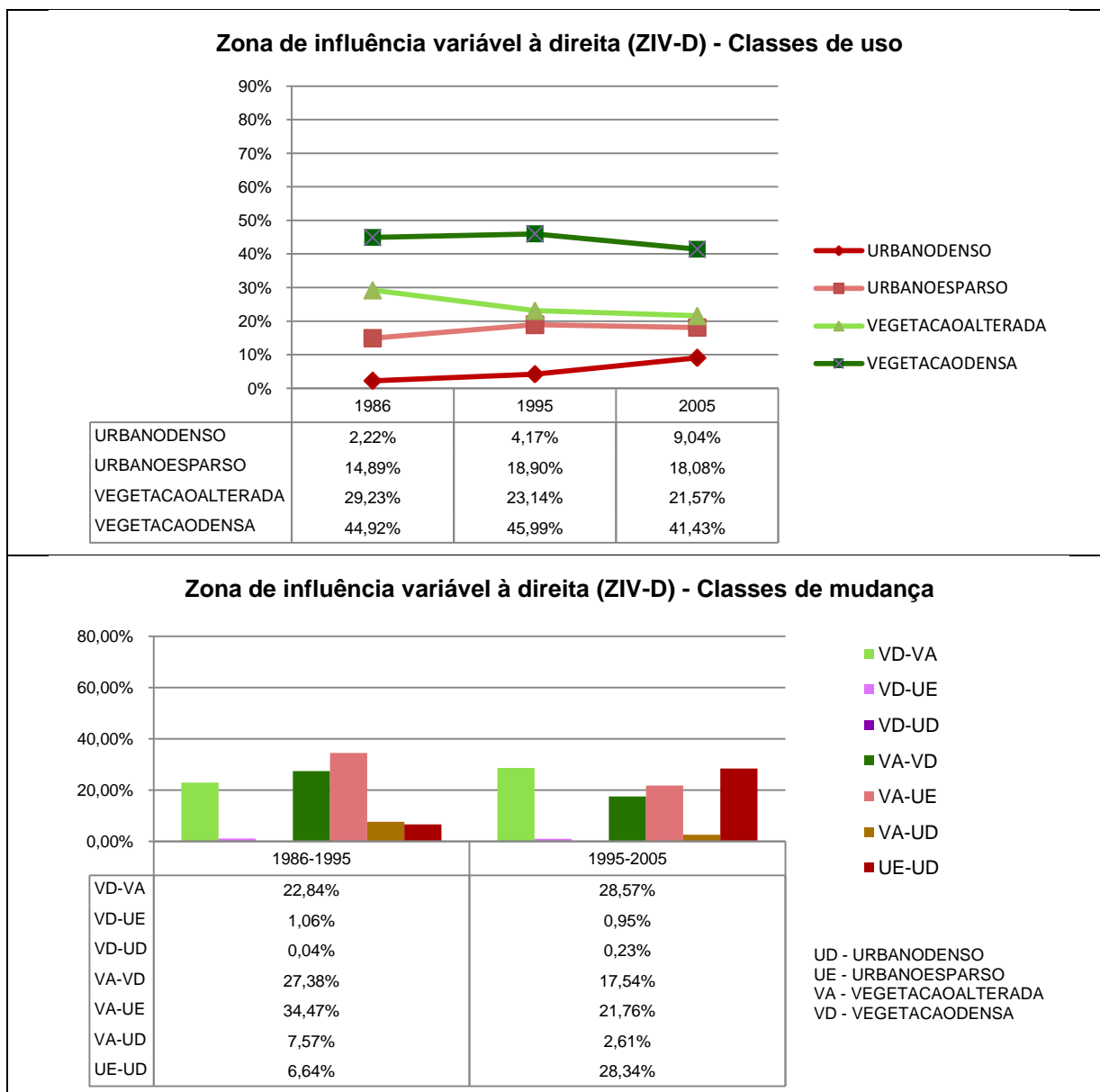


Figura 59 – Gráficos correspondentes a zona de influência variável à direita da faixa (ZIV-D)

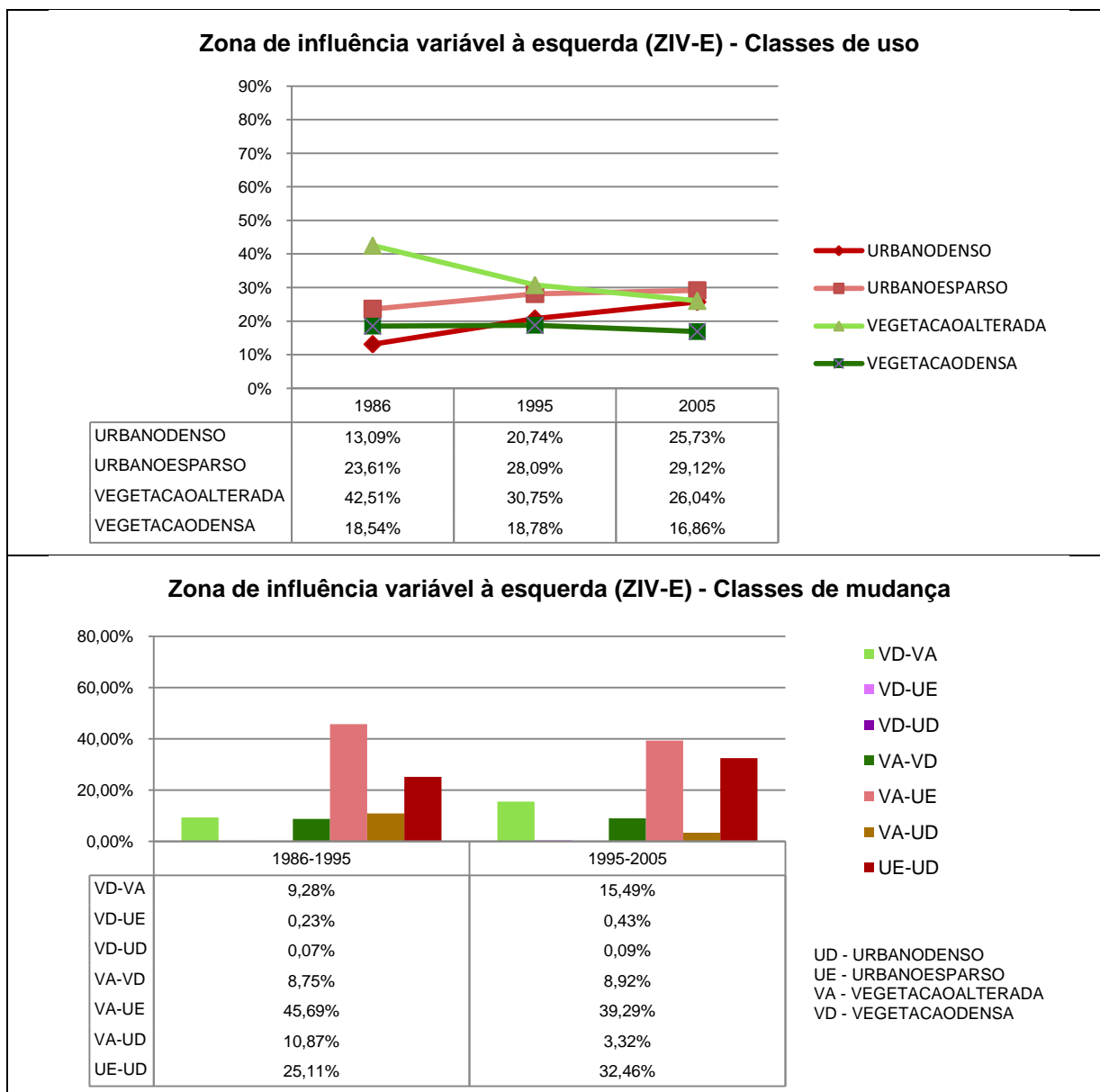


Figura 60 – Gráficos correspondentes a zona de influência variável à esquerda da faixa (ZIV-E)

As zonas de influência variável – ZIV localizadas à direita e à esquerda da faixa de duto correspondem a 64,56% do total da área de estudo. Verifica-se uma distribuição de uso bastante diferente entre a direita e a esquerda. No ZIV-E é observado um grande crescimento das classes de urbano, sendo que em 2005, as classes URBANODENSO e URBANOESPARSO correspondem juntas a 54,85% da área total da zona. Já a ZIV-D apresenta, em 2005, uma apenas 27,12% da área total correspondendo às classes de urbano. Isso ocorre porque os centros urbanos estão localizados principalmente na ZIV-E.

Em termos de mudanças é possível perceber que no primeiro período, para ambos os lados, predominam as mudanças de VEGETACAOALTERADA para URBANOESPARSO, significando que nesse período predominou o processo de expansão urbana. No período de

1995 a 2005 ocorre um equilíbrio entre as mudanças para a classe de URBANOESPARSO e para a classe URBANODENSO, significando que além da expansão urbana, ocorreu também um adensamento das áreas já urbanizadas.

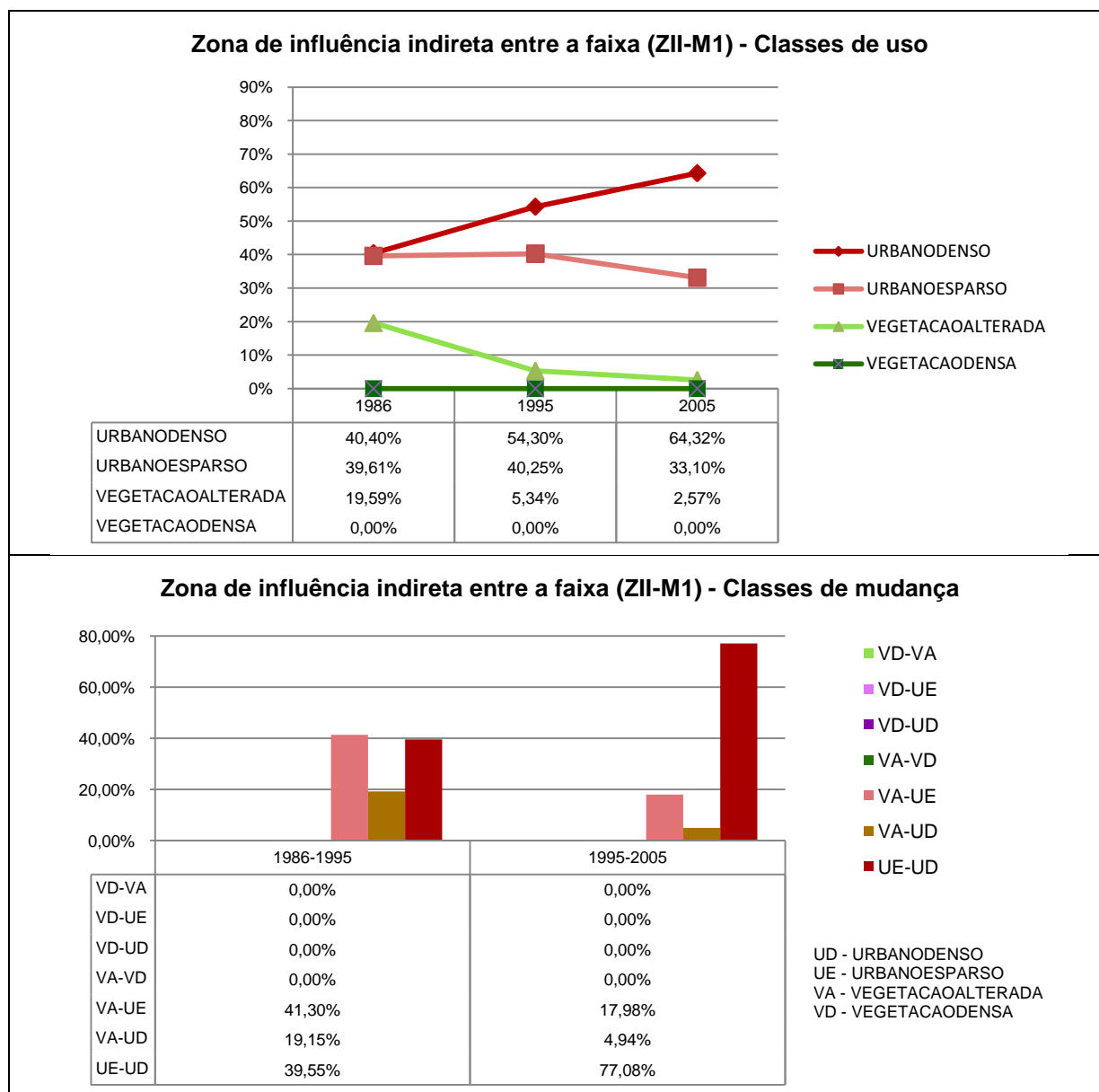


Figura 61 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta entre a faixa (ZII-M1)

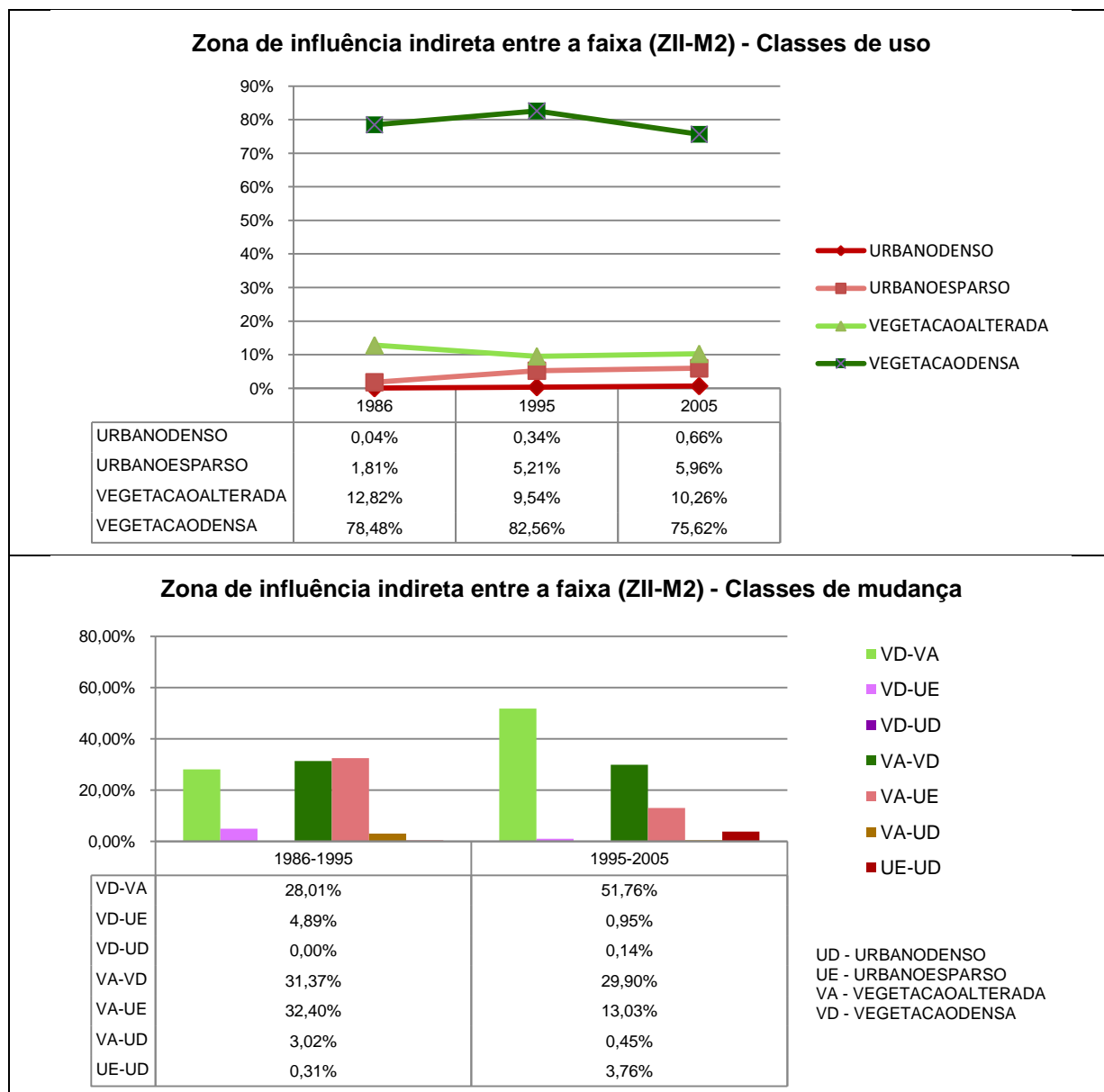


Figura 62 – Gráficos correspondentes a zona de influência indireta entre a faixa (ZII-M2)

As zonas de influência indireta localizadas entre a faixa de duto correspondem a apenas 3,47% do total da área de estudo. Estas áreas devem ser analisadas de forma diferente, pois não se estendem de sul a norte, estando a ZII-M1 restrita a uma pequena área ao sul, próxima a REDUC, e a ZII-M2 a uma área ao norte. Desta forma na ZII-M1 predominam as classes do urbano, com um constante crescimento da classe do URBANODENSO, enquanto que na ZII-M2 prevalece a classe do URBANODENSO, por se tratar de uma área localizada em meio das Escarpas serranas.

As mudanças refletem essa relação. Na ZII-M1 ocorrem apenas mudanças para URBANOESPARSO e URBANODENSO, enquanto que na ZII-M2, prevalecem as mudanças entre as classes de vegetação.

A proporção das classes de uso e ocupação sobre as zonas de influência podem ser sintetizadas através do IPA_d . As figuras 63, 64 e 65 apresentam o IPA_d para zonas de influência, nos três anos analisados.

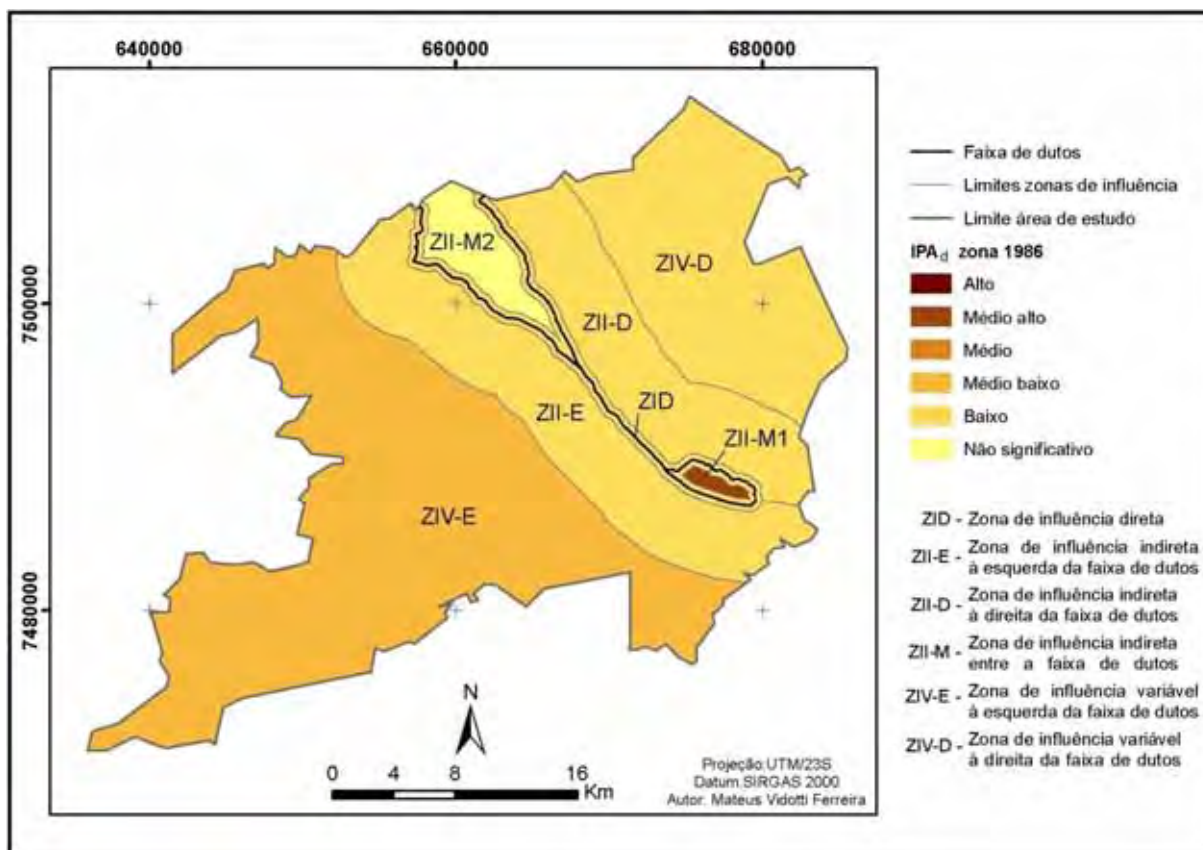


Figura 63 – IPA_d 1986 para as zonas de influência da faixa de dutos

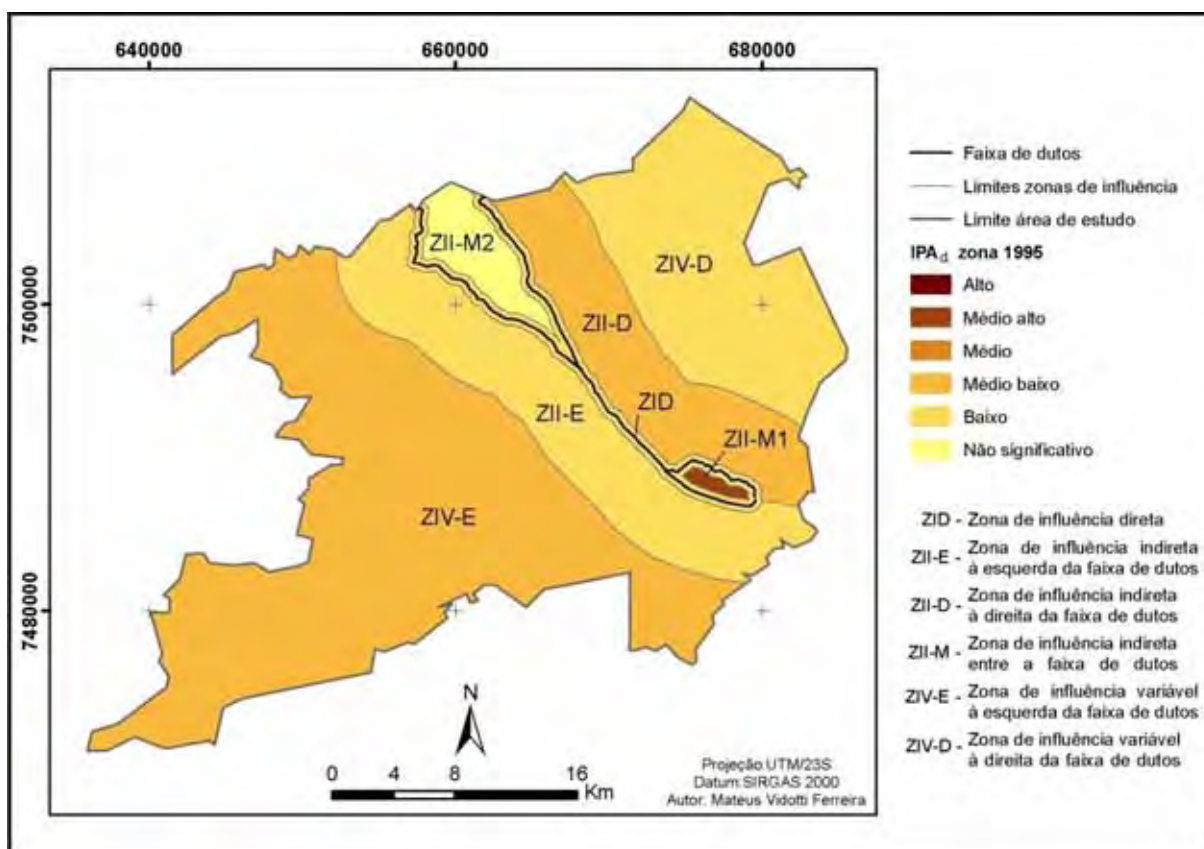


Figura 64 – IPA_d 1995 para as zonas de influência da faixa de dutos

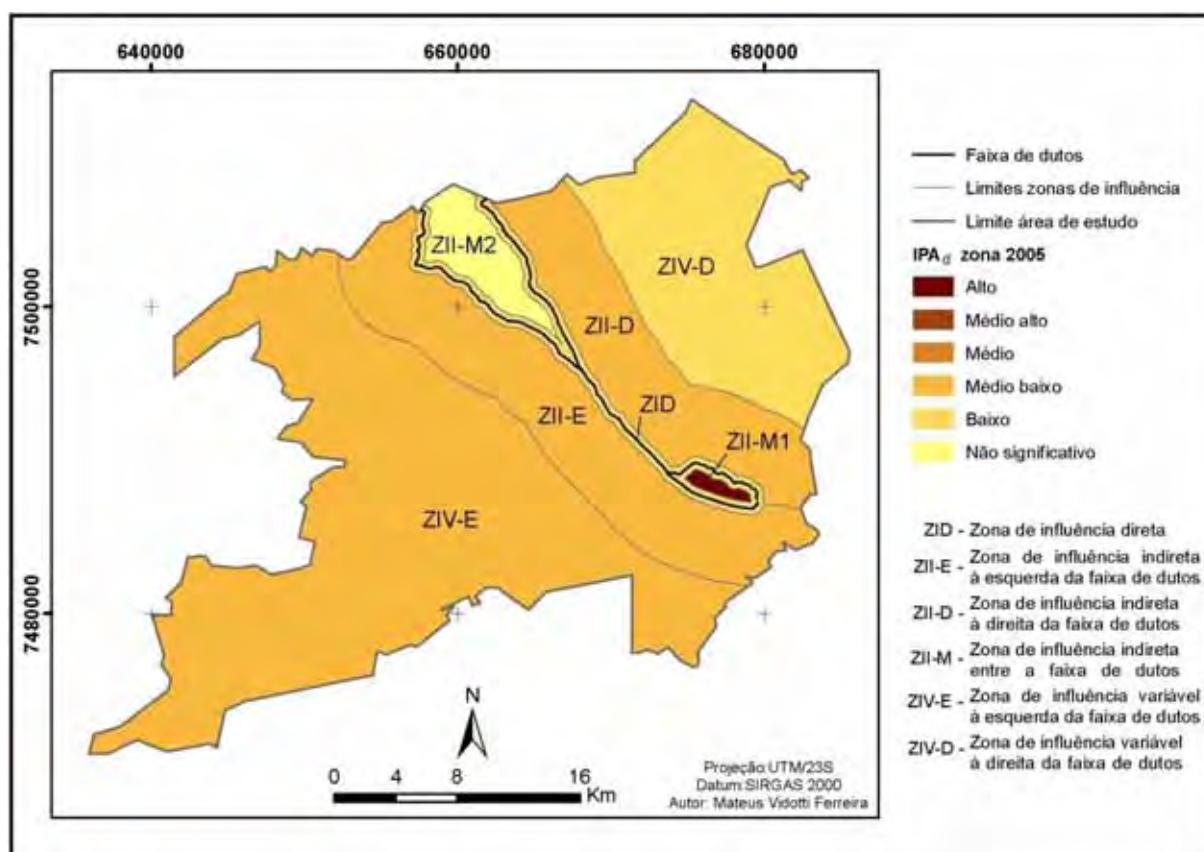


Figura 65 – IPA_d 2005 para as zonas de influência da faixa de dutos

A tabela 42 apresenta os valores de IPA_d e suas variações nos períodos para cada zona de influência da faixa de dutos.

Tabela 42 – IPA_d das zonas de influência da faixa de dutos

Zonas de influência	IPA_d 1986	IPA_d 1995	IPA_d 2005	Variação 1986-1995	Variação 1995-2005	Variação 1986-2005
ZID ¹	0,436	0,472	0,499	0,036	0,027	0,063
ZII-D ²	0,480	0,515	0,553	0,035	0,038	0,072
ZII-E ³	0,458	0,484	0,511	0,026	0,026	0,052
ZII-M1 ⁴	0,802	0,873	0,904	0,070	0,032	0,102
ZII-M2 ⁴	0,084	0,092	0,111	0,009	0,019	0,027
ZIV-D ⁵	0,307	0,324	0,370	0,018	0,046	0,063
ZIV-E ⁶	0,533	0,581	0,622	0,049	0,040	0,089

¹Zona de influência direta; ² Zona de influência indireta à direita da faixa; ³ Zona de influência indireta à esquerda da faixa; ⁴ Zona de influência indireta entre a faixa; ⁵ Zona de influência variável à direita da faixa; ⁶ Zona de influência variável à esquerda da faixa

Na análise do IPA_d iremos excluir as duas zonas localizadas entre a faixa por tratar-se de zonas que não se estendem de sul a norte como as demais, limitando assim a comparação.

Através dos mapas é apenas possível constatar uma alteração da classe de IPA_d na ZII-D de Baixo para Médio baixo, no período 1986 a 1995, e outra no período 1995 a 2005, na ZII-E também de Baixo para Médio baixo.

Analisando a tabela, observa-se que a grande maioria dos valores de IPA_d estão próximos ou inferiores a 0,5. Pode-se afirmar que a zona em que houve o acréscimo mais significativo do índice foi a ZIV-E, com variação de 0,089 no período de 1986 a 2005, seguido pela ZII-D com variação de 0,072 no mesmo período. Contudo, as outras três zonas apresentaram variação que oscilaram 0,052 a 0,063.

Utilizando como referência a variação da ZID, que foi de 0,063, pode-se afirmar que para sua direita, na ZII-D houve uma variação aproximadamente +14,5% maior e na ZIV-D uma variação igual. Na esquerda, ZII-E variou -14,5% enquanto que na ZIV-E a variação foi superior em +41,5%.

Concluí-se que, o que foi observado nos gráficos de classes de uso e ocupação e classes de mudança está em total consonância com o observado através do índice de pressão antrópica às faixas de dutos (IPA_d) calculados, sendo as análises complementares.

6.9.6 – Relação entre regiões de interesse da faixa de dutos, classes de uso e ocupação da terra e classes de mudança

As figuras 66, 67 e 68 apresentam o IPA_d para as regiões de interesse, nos três anos analisados. A figura 69 representa a variação do IPA_d no período de 1986 a 1995 e a tabela 43 apresenta os valores de IPA_d e suas variações nos períodos para cada zona de interesse da faixa de dutos.

Das regiões localizadas sobre a zona de influência direta da faixa de dutos, destacam-se três regiões, que em 2005, apresentam a classe de IPA_d Alto próximas a REDUC (D.S.2.b, D.S.2.c e D.S.4.a) e uma região de classe Alto localizada ao norte da área de estudo (D.S.1.a). Observando o mapa de variação, verifica-se que a na área onde se inicia a faixa de duto, no entorno da refinaria, ocorreram grandes aumentos do IPA_d (acima de 0,086), devido ao aumento das edificações nessa área. Já a região D.S.2.a, trata-se de uma planície em que houve pouco aumento do IPA_d (0,020), apresentando em 2005 um IPA_d Médio baixo. Na área em que a faixa cruza as colinas isoladas, região D.S.4.c, há uma variação intermediária do IPA_d (0,063) e em 2005 seu IPA_d era Médio baixo. Na seqüência, a faixa cruza novamente uma região de planícies (D.S.1.c) com a variação de IPA_d intermediário (0,080), sendo em 2005 a classe do IPA_d era Médio. Ao cruzar o Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos (D.S.5.b e D.S.5.d) a variação do IPA_d de 0,072 e 0,056 respectivamente, apresentando em 2005 a classe de IPA_d Baixo. No extremo norte da área, ao cruzar o sistema de relevo das Escarpas serranas, as regiões D.S.6.a e D.S.6.b apresentaram baixíssima variação do IPA_d (0,022 e -0,001) e a classe do IPA_d em 2005 era Não significativo.

Observa-se que o IPA_d diminui progressivamente no sentido sul – norte, acompanhando o aumento de dificuldade de ocupação devido ao relevo mais acidentado e o aumento da distância dos centros urbanos.

Dentre as regiões localizadas nas zonas de influência indireta, entre 400 metros e cinco quilômetros da faixa de dutos, destacam-se por apresentar, em 2005, um IPA_d Alto, as regiões I.M.2, I.M.4.c e I.E.4.a. Tais regiões apresentaram uma variação entre 0,086 e 0,144. A região I.D.2 é relevante por abranger uma extensa área com a classe de IPA_d Médio alto no ano de 2005 e variação de 0,092. Por apresentar uma variação elevada, entre 0,145 e 0,246, as regiões I.M.1.a, I.M.1.b, I.M.5.a e I.E.4.h também merecem ênfase.

Nas zonas variáveis, com uma distância superior a cinco quilômetros da faixa de dutos, nota-se que algumas regiões correspondentes ao sistema de relevo das Colinas isoladas

(V.E.4.a, V.E.4.b, V.E.4.c, V.E.4.d e V.E.4.f), localizadas em meio aos centros urbanos, apresentam IPA_d Alto no ano de 2005 . Há também regiões correspondentes às planícies (V.E.1.c, V.E.1.d, V.D.2, V.E.2.b e V.E.3) e colinas isoladas (V.E.4.a), que destacam-se pelo IPA_d Médio Alto em 2005. Analisando a variação, as únicas regiões que apresentaram um aumento do IPA_d superior a 0,145 foram as regiões V.E.1.d e V.E.4.f, correspondendo a áreas de Colinas isoladas. As demais Colinas isoladas e a maior parte das planícies, apresentaram uma variação entre 0,086 e 0,144.

Os resultados se mostraram muito coerentes e práticos para uma avaliação da pressão antrópica em escala municipal. Sendo facilmente identificáveis as áreas em que houve maior ou menor acréscimo das atividades humanas.

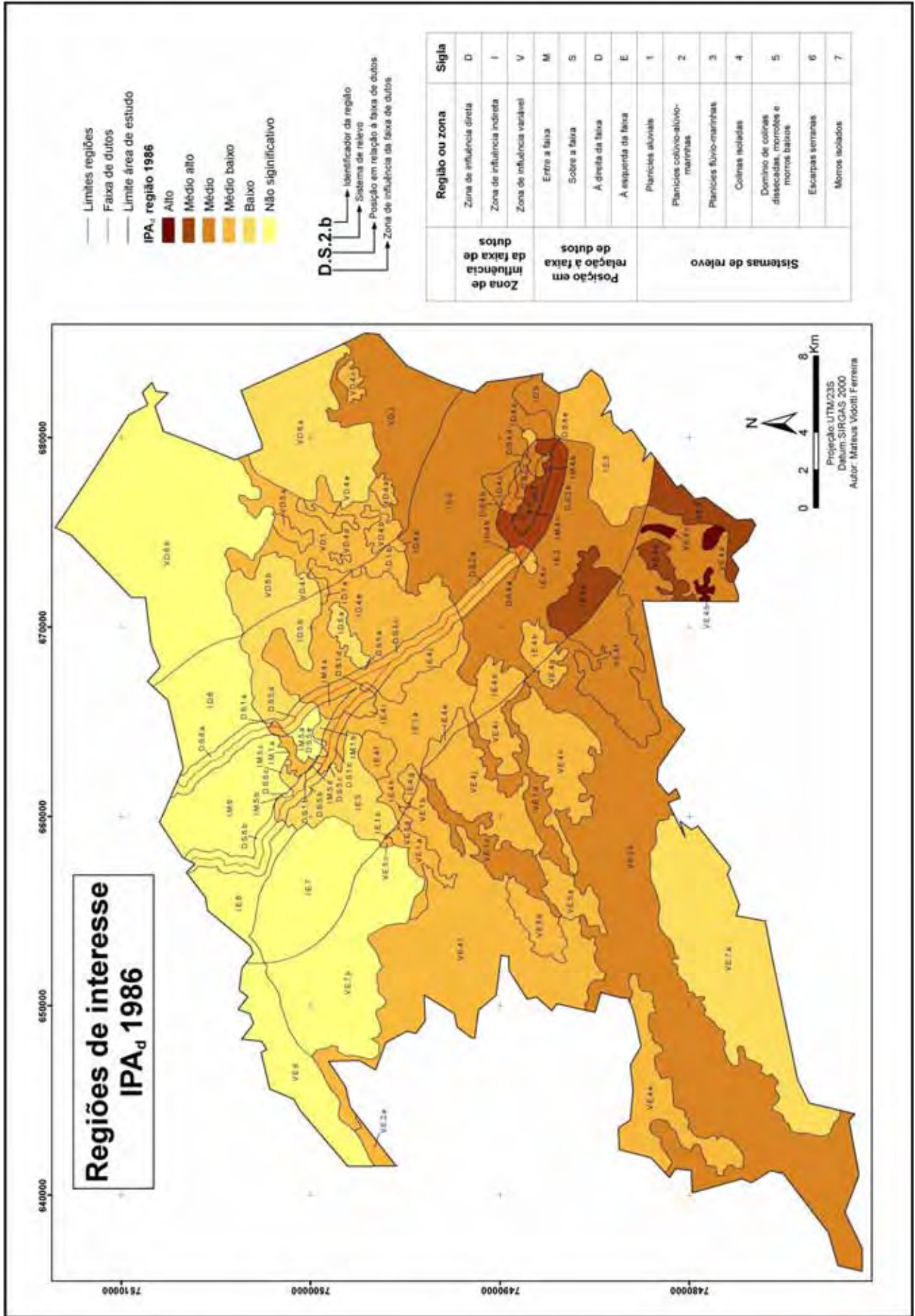


Figura 66 – IPA_d 1986 para as regiões de interesse da faixa de dutos

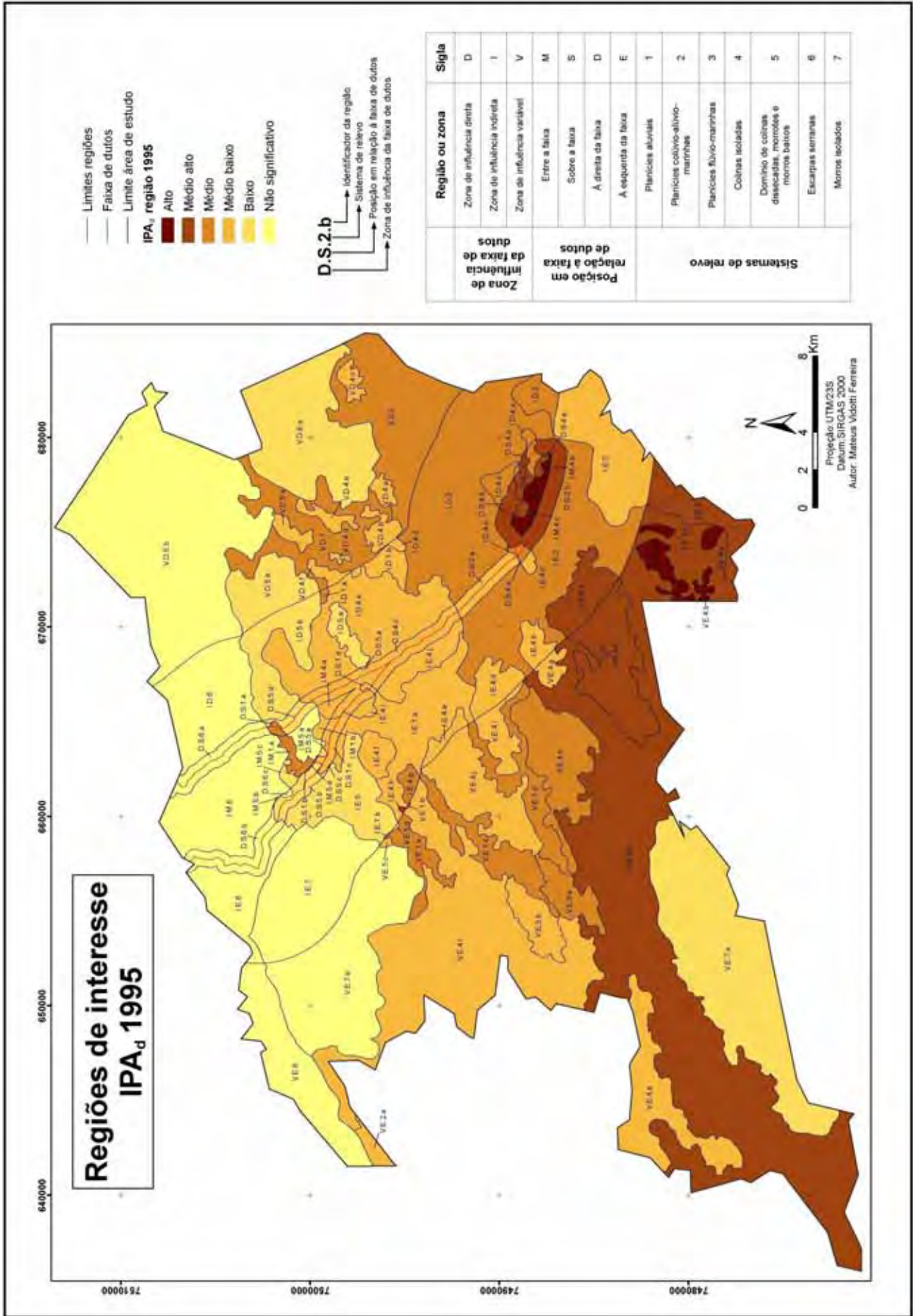


Figura 67 – IPA_d 1995 para as regiões de interesse da faixa de dutos

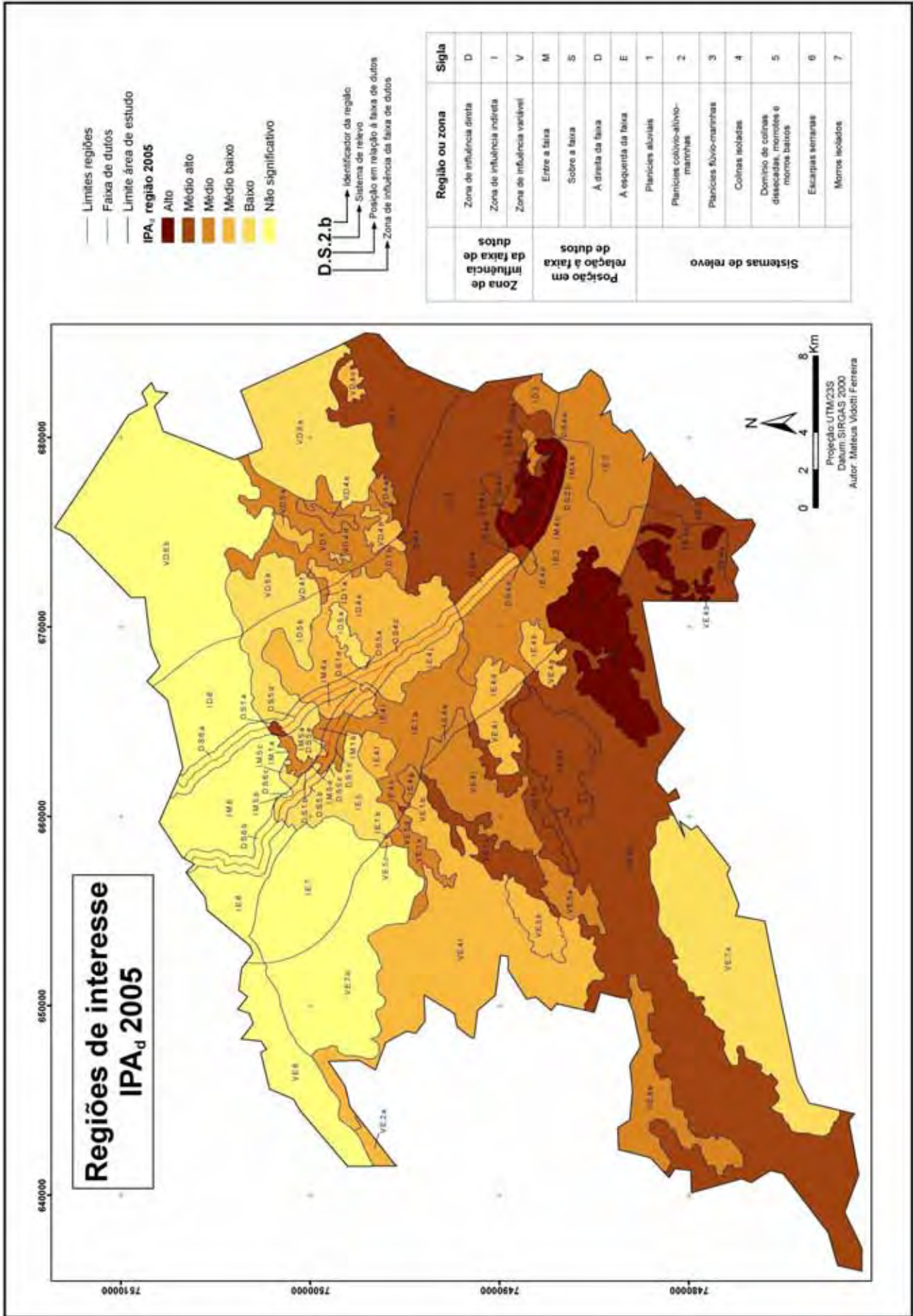


Figura 68 – IPA_d 2005 para as regiões de interesse da faixa de dutos

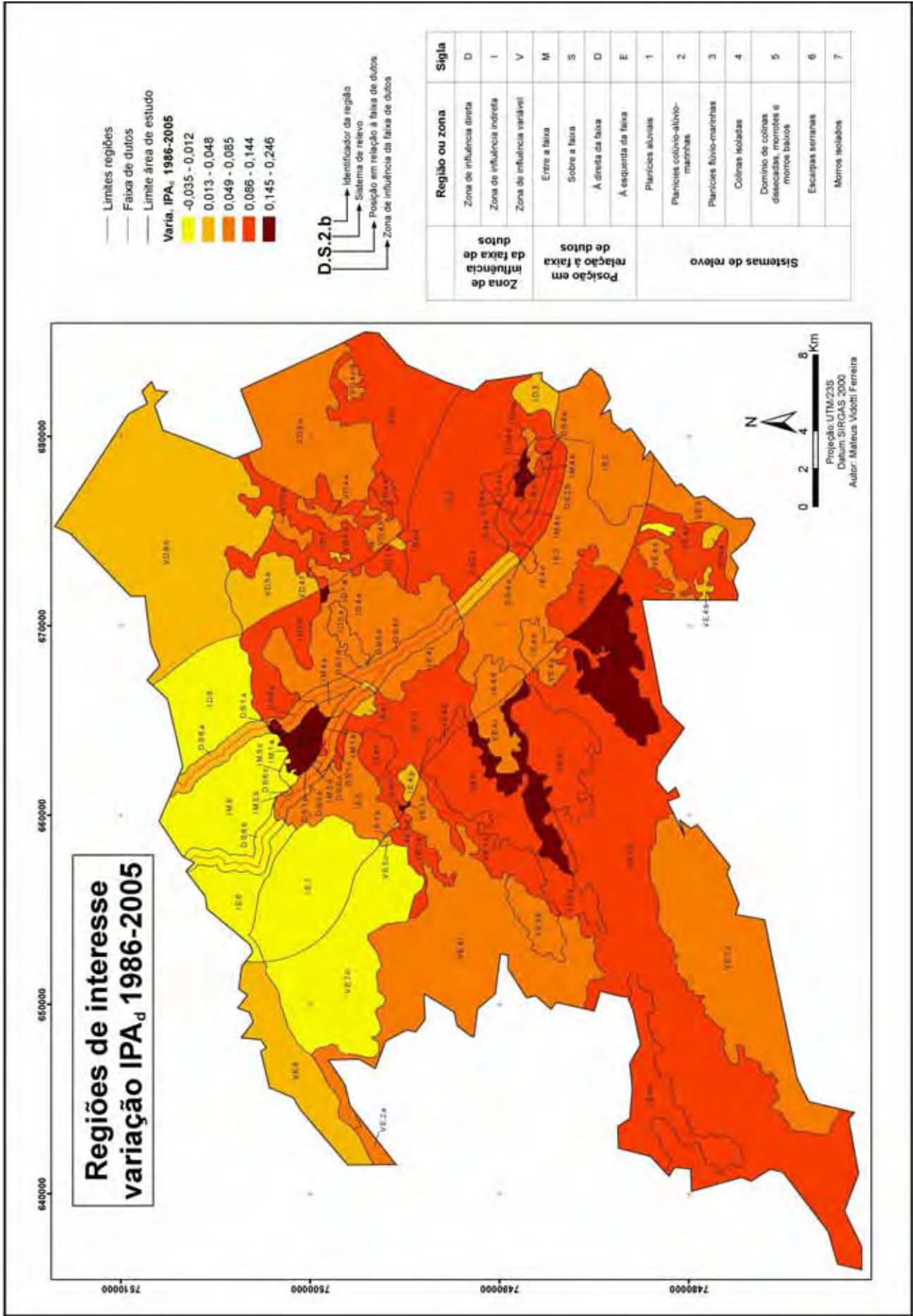


Figura 69 – Variação IPA_d 1986-2005 para as regiões de interesse

Tabela 43 – IPA_d das regiões de interesse da faixa de dutos

Regiões de interesse	IPA _d 1986	IPA _d 1995	IPA _d 2005	Variação 1986-1995	Variação 1995-2005	Variação 1986-2005
I.E.4.a	0,758	0,836	0,903	0,078	0,067	0,144
I.E.4.b	0,563	0,586	0,618	0,023	0,032	0,054
I.E.3	0,584	0,618	0,641	0,034	0,023	0,057
I.E.4.c	0,594	0,625	0,648	0,031	0,023	0,054
I.E.4.d	0,513	0,554	0,563	0,041	0,009	0,051
I.E.4.e	0,551	0,599	0,660	0,048	0,061	0,110
I.E.4.f	0,525	0,585	0,615	0,059	0,030	0,089
I.E.5	0,346	0,397	0,419	0,052	0,022	0,073
I.E.7	0,019	0,006	0,009	-0,013	0,003	-0,009
I.E.6	0,009	0,004	0,001	-0,005	-0,003	-0,008
I.E.2	0,669	0,706	0,745	0,037	0,039	0,076
I.M.5.a	0,155	0,175	0,308	0,020	0,133	0,153
I.M.6	0,012	0,011	0,010	-0,001	-0,001	-0,002
I.M.4.a	0,505	0,501	0,559	-0,004	0,058	0,055
I.M.4.b	0,692	0,774	0,786	0,082	0,012	0,093
I.M.4.c	0,799	0,857	0,908	0,058	0,051	0,109
V.D.4.a	0,509	0,539	0,626	0,030	0,087	0,117
V.D.4.b	0,548	0,562	0,605	0,014	0,043	0,057
V.D.4.c	0,537	0,528	0,620	-0,009	0,092	0,083
V.D.4.d	0,523	0,541	0,571	0,018	0,030	0,048
V.D.4.e	0,576	0,598	0,639	0,022	0,041	0,064
V.D.5.a	0,531	0,548	0,581	0,017	0,032	0,050
V.D.6.a	0,265	0,252	0,322	-0,013	0,070	0,057
V.D.5.b	0,311	0,324	0,343	0,013	0,019	0,032
V.D.6.b	0,056	0,061	0,073	0,005	0,013	0,018
V.D.4.f	0,519	0,537	0,577	0,018	0,040	0,058
V.E.4.a	0,971	1,000	1,000	0,029	0,000	0,029
V.E.4.b	0,970	1,000	1,000	0,030	0,000	0,030
V.E.7.a	0,273	0,303	0,338	0,030	0,035	0,065
V.E.4.c	0,993	1,000	1,000	0,007	0,000	0,007
V.E.4.d	0,861	0,914	0,932	0,054	0,018	0,071
V.E.4.e	0,540	0,605	0,633	0,065	0,028	0,093
V.E.4.f	0,731	0,831	0,878	0,100	0,047	0,148
V.E.5.a	0,597	0,667	0,730	0,069	0,063	0,132
V.E.4.g	0,540	0,572	0,613	0,032	0,041	0,073
V.E.3	0,767	0,828	0,834	0,060	0,006	0,066
V.E.4.h	0,624	0,708	0,765	0,084	0,057	0,141
V.E.5.b	0,508	0,509	0,583	0,001	0,074	0,075
V.E.4.i	0,528	0,567	0,588	0,040	0,021	0,061
V.E.4.j	0,562	0,615	0,661	0,052	0,046	0,099
V.E.2.a	0,518	0,545	0,578	0,027	0,033	0,060
V.E.4.l	0,513	0,553	0,587	0,040	0,034	0,074
V.E.7.b	0,040	0,038	0,052	-0,002	0,014	0,012
V.E.6	0,122	0,125	0,156	0,003	0,032	0,034
D.S.4.a	0,651	0,714	0,777	0,063	0,063	0,126
D.S.4.b	0,702	0,780	0,809	0,078	0,029	0,106
D.S.5.a	0,519	0,525	0,525	0,005	0,000	0,005
D.S.4.c	0,511	0,538	0,574	0,027	0,036	0,063
I.D.4.a	0,588	0,629	0,654	0,041	0,025	0,066
I.D.3	0,634	0,643	0,669	0,009	0,027	0,035
I.D.4.b	0,750	0,750	0,783	0,000	0,033	0,033
I.D.4.c	0,635	0,709	0,770	0,074	0,061	0,135
I.D.4.d	0,546	0,612	0,576	0,066	-0,036	0,029
I.D.5.a	0,426	0,449	0,484	0,024	0,035	0,059
I.D.5.b	0,286	0,335	0,384	0,049	0,049	0,098

Tabela 43 – IPA_d das regiões de interesse da faixa de dutos

Regiões de interesse	IPA_d 1986	IPA_d 1995	IPA_d 2005	Varição 1986-1995	Varição 1995-2005	Varição 1986-2005
I.D.6	0,017	0,015	0,010	-0,002	-0,005	-0,007
I.D.2	0,667	0,709	0,759	0,042	0,049	0,092
I.D.4.e	0,523	0,545	0,581	0,021	0,037	0,058
I.E.4.g	0,591	0,630	0,631	0,038	0,002	0,040
I.E.4.h	0,573	0,764	0,769	0,190	0,005	0,196
I.E.1.a	0,563	0,607	0,660	0,045	0,053	0,098
I.E.1.b	0,622	0,622	0,622	0,000	0,000	0,000
I.E.4.i	0,544	0,548	0,593	0,004	0,044	0,048
I.E.4.j	0,534	0,571	0,606	0,037	0,035	0,073
I.M.5.b	0,000	0,024	0,000	0,024	-0,024	0,000
I.M.5.c	0,398	0,383	0,363	-0,015	-0,020	-0,035
I.M.5.d	0,500	0,559	0,559	0,059	0,000	0,059
I.M.1.a	0,553	0,654	0,707	0,101	0,053	0,154
I.M.1.b	0,404	0,574	0,641	0,170	0,067	0,237
I.M.2	0,822	0,893	0,925	0,070	0,032	0,103
V.D.2	0,696	0,741	0,818	0,045	0,077	0,123
V.D.1	0,577	0,645	0,699	0,068	0,053	0,121
V.E.5.c	0,513	0,548	0,559	0,035	0,011	0,046
V.E.5.d	0,536	0,292	0,535	-0,245	0,244	-0,001
V.E.1.a	0,601	0,647	0,691	0,046	0,044	0,090
V.E.1.b	0,500	0,684	0,684	0,184	0,000	0,184
V.E.1.c	0,684	0,739	0,796	0,056	0,057	0,113
V.E.1.d	0,663	0,734	0,813	0,072	0,079	0,150
V.E.2.b	0,741	0,812	0,844	0,070	0,032	0,103
D.S.4.d	0,627	0,702	0,712	0,075	0,010	0,085
D.S.4.e	0,560	0,799	0,806	0,238	0,007	0,246
D.S.5.b	0,318	0,352	0,390	0,034	0,038	0,072
D.S.5.c	0,563	0,563	0,563	0,000	0,000	0,000
D.S.1.a	0,539	0,734	0,750	0,196	0,016	0,212
D.S.1.b	0,541	0,541	0,577	0,000	0,035	0,035
D.S.1.c	0,562	0,599	0,643	0,036	0,044	0,080
D.S.1.d	0,515	0,525	0,539	0,010	0,014	0,024
D.S.5.d	0,364	0,424	0,419	0,060	-0,005	0,056
D.S.5.e	0,407	0,474	0,521	0,067	0,047	0,114
D.S.6.a	0,008	0,018	0,029	0,010	0,011	0,022
D.S.6.b	0,004	0,003	0,003	-0,002	0,000	-0,001
D.S.6.c	0,001	0,038	0,067	0,037	0,028	0,066
D.S.2.a	0,578	0,593	0,598	0,015	0,005	0,020
D.S.2.b	0,807	0,869	0,911	0,062	0,042	0,104
D.S.2.c	0,725	0,817	0,881	0,093	0,064	0,157
I.D.1.a	0,578	0,734	0,738	0,155	0,004	0,160
I.D.1.b	0,528	0,548	0,630	0,020	0,082	0,102

7 - CONCLUSÃO

Com relação às técnicas de detecção de mudanças, conclui-se ser indispensável trabalhar com um método baseado em classificação de imagens, pois notou-se a necessidade de elaborar mapas de uso e ocupação da terra. Dentre os classificadores experimentados, o que apresentou os melhores resultados foi o método de classificação orientado ao objeto, presente no módulo *Feature Extraction* e implementado no software ENVI 4.6 (ITT, 2009).

As classes de uso e ocupação da terra definidas se mostraram coerentes com a escala de trabalho e para o objetivo de análise da pressão antrópica à faixa de dutos, visto que as classes permitiram a inferência da concentração das atividades humanas e na sequência, a proposição do IPA_d.

A proposta do IPA_d se mostrou eficiente para quantificar e sintetizar as atividades antrópicas presentes nos municípios, de acordo com a pressão oferecida à faixas de dutos, segundo a escala proposta para o trabalho. No entanto, o índice pode ser aprimorado através da determinação de parâmetros que auxiliem na ponderação da pressão antrópica entre as classes.

De acordo com os mapas de IPA_d e de variação do IPA_d para as regiões de interesse, quatro regiões destacam-se por apresentar, em 2005, a classe de IPA_d Alto, sendo elas: D.S.1.a, D.S.2.b, D.S.2.c e D.S.4.a, associadas a áreas de planície aluvionar, planície colúvio-aluvionar e de colinas isoladas. Essas áreas, localizadas na zona de influência direta da faixa de dutos, oferecem risco à integridade física dos dutos devido ao adensamento populacional e concentração de atividades urbanas. Assim, recomenda-se que seja elaborado um detalhamento das classes de uso e ocupação dessas regiões para que a pressão antrópica seja melhor avaliada, além da implantação de um monitoramento específico nestas áreas.

A análise da pressão antrópica às faixas de dutos, proposta nessa pesquisa, pode ser adaptada para estudos em outras escalas, requerendo apenas a aquisição de informação espacial em escala compatível, a compatibilização das classes de uso e ocupação da terra e adequação dos sistemas de relevo e zonas de influência da faixa de dutos.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. A. **A evolução urbana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: IPLANRIO/ZAHAR. 147 p., 1987.
- ALMEIDA, F. F. M. D. The system of continental rifts bordering the Santos Basin Brazil. in: Suplemento da Academia Brasileira de Ciências. São Paulo, 1976. **Anais** v.48, p.15-26.
- ALMEIDA, F. F. M. D. O alinhamento magmático de Cabo Frio. in: Simpósio de Geologia do Sudeste. São Paulo, 1992. **Anais** v.2, p.423-428.
- ALMEIDA, F. F. M. D. et al. The precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazon river. In: NAIRN, E. M. e STEHLI, F. G. (Ed.). **The ocean basins and margins**. New York: Plenum, v.1, 1973. p.411-416.
- ALMEIDA, F. F. M. D.; HASUI, Y.; NEVES, B. B. B. The Upper Precambrian of South America. **Boletim Instituto de Geociências**, v.7, n.1. 1976.
- ALMEIDA, F. F. M. D. et al. Brazilian structural provinces: an introduction **Earth Science Review**, v.17, n.1-2, abril. 1981.
- AMADOR, E. S. e AMADOR, A. B. Cenários paleogeográficos da Baía de Guanabara. in: V Congresso da associação brasileira de estudos do quaternário (abequa) e XI Simpósio de sedimentologia costeira, 1995. **Anais**, p.65-72.
- ANDERSON, J. R. et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. **Geological Survey Professional Paper n. 964**. 1976. Disponível em: <<http://landcover.usgs.gov/pdf/anderson.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2008.asp>. Acesso em: 15 mai. 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Glossário**. 2009. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/glossario/index.asp>>. Acesso em: 20 mai. 2009.
- ANTUNES, A. F. B. e LINGNAU, C. Uso de índices de acurácia para avaliação de mapas temáticos obtidos por meio de classificação digital. in: **III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento**. Curitiba, p.s/n, 1997.
- BASTOS, V. P. **Técnicas de segmentação de imagens para recuperação de informações visuais** 2003. Disponível em: <<http://atlas.ucpel.tche.br/~vbastos/index.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2008.
- BIE, C. A. J. M.; LEEUWEN, J. A. V.; ZUIDEMA, P. A. The land use database: a knowledge-based software program for structured storage and retrieval of user-defined land use data sets: user's reference manual. Version 1.04 for MS-DOS. Enschede, Holanda. 1996. Disponível em: <<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/LM/SUSLUP/Luse/Manual/chap2.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2009.
- BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. **European Environment Agency**. Copenhagen. 2000. Disponível em: <http://www.epa.ie/downloads/data/corinedata/EPA_Corine_technical_guide_update_2000.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2009.

BRAGA, T. M. e FREITAS, A. P. G. D. Índice de Sustentabilidade Local: uma avaliação da sustentabilidade dos municípios do entorno do Parque Estadual do Rio Doce (MG). in: **XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais**. Associação Brasileira de Estudos Populacionais - ABEP, Ouro Preto, MG, 2003.

BRASIL, D. N. D. P. M. **Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, v.32. 780 p., 1983. (Projeto RADAMBRASIL).

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al (Ed.). **Bancos de dados geográficos**. São Jose dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE, 2005. Cap.1. p.1-44.

CARVALHO, C. M. e RIEDEL, P. S. Análise da suscetibilidade a escorregamentos nos entornos dos polidutos de Cubatão-SP, através de técnicas de informação geográfica. **HOLOS Environment**, v.4, n.2, p.157. 2004.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Dutos no estado de São Paulo**. 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/dutos.asp>>. Acesso em: 26 jan. 2009.

CHANDER, G. e MARKHAM, B. Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.11, nov. 2003.

CHAVEZ, P. S. J. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, n.3. 1988.

CHAVEZ, P. S. J. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.62, set. 1996.

Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro - CIDE. **Dados socioeconômicos - Banco de dados municipais**. 2009. Disponível em: <http://www.cide.rj.gov.br/cide/banco_municipais.php#16>. Acesso em: 10 mar. 2009.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Measurement**, v.XX, n.1, p.37-46. 1960.

COPPIN, P. R. e BAUER, M. E. Processing of multi temporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.32, n.4. 1994.

Companhia de Recursos Minerais - CPRM. **Projeto Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 2000. Disponível em: <<ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/>>. Acesso em: 18 set. 2007.

Companhia de Recursos Minerais - CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo, folha SF.23 Rio de Janeiro**. Brasília. 2004. 1 carta geológica. Escala: 1:1.000.000.

CRIST, E. P.; LAURIN, R.; CICONE, R. C. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. in: IGARSS 86. Zurich. ESA Publications Division, 1986. **Anais** v.ESA SP-254, p.1465-1472.

Departamento de Recursos Minerais - DRM/RJ. **Mapa geológico do estado o Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 1980. 1 mapa geológico baseado em imagens MSS Satélite Landsat-1. Ecala 1:400.000.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa/Solos. **Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro**. 2003. 1 mapa de solos. Escala 1:250.000.
- Environmental Systems Research Institute - ESRI. **ArcGIS Desktop 9.3**. Redlands, California, USA. 2008.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de vegetação do Brasil**. Brasília. 2004.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **A framework for land evaluation**. Roma, Itália. 1976. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/x5310e/x5310e00.htm>>. Acesso em: 25 mai. 2009.
- FEITOSA, R. Q. et al. Ajuste automático de parâmetros de segmentação. In: BLASCHKE, T. e KUX, H. (Ed.). **Sensoriamento remoto e SIG avançados**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. Cap.12. p.129-144.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES - GEIPOT. **Anuário estatístico dos transportes**. 2000. Disponível em: <<http://www.geipot.gov.br/>>. Acesso em: 12 mai. 2009.
- GONZALES, R. e WOODS, E. R. **Processamento de imagens digitais**. Edgard Blucher Ltda, 2000.
- GUIDICINI, G. e IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. IPT. São Paulo. 1976.
- HAIJ, M. E. et al. Relative radiometric normalization and atmospheric correction of a SPOT 5 time series. **Sensors**, v.8, n.1, abr. 2008.
- HALL, F. G. et al. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.1. 1991.
- HEILBRON, M. et al. A orogênese Brasileira no segmento central da faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.25, n.4. 1995.
- HEILBRON, M. et al. An evolutionary tectonic model for the central segment of Ribeira Belt: from the Transamazonian collage to Gondwana amalgamation. in: Simpósio Internacional de Tectônica da SBG e VII Simpósio de Estudos Tectônicos. Lençóis. 7, 1999, 1999. **Anais**, p.58-61.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25. 1988.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Manuais técnicos em geociências 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/manualusodaterra.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2009.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **IBGE Cidades@**. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 10 dez. 2008.
- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE. **Manual do SPRING**. 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/classif/classif.htm#segmenta>>. Acesso em: 10 jun. 2008.
- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE. **SPRING 5.0**. São José dos Campos, Brasil. 2008.

ITT - Visual Information Solutions. **ENVI feature extraction module user's guide**. Boulder, USA. 2008. Disponível em: <http://www.itvis.com/portals/0/pdfs/envi/Feature_Extraction_Module.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2009.

ITT - Visual Information Solutions. **Envi 4.6**. Boulder, USA. 2009.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

JORDAN, C. F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v.50, n.1. 1969.

KAUFMAN, Y. J. The atmospheric effect on remote sensing and its correction. In: ASRAR, G. (Ed.). **Theory and application of optical remote sensing**. New York, 1989. p.341-389.

KAUTH, R. J. e THOMAS, G. S. The tasseled cap - a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. in: Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette. LARS, Purdue University, 1976. **Anais**, p.41 - 51.

KOEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra** Fondo de Cultura Económica. 478 p., 1948.

LIANG, S. et al. An operational atmospheric correction algorithm for Landsat Thematic Mapper imagery over the land. **Journal of Geophysical Research**, v.102, n.D14, dez. 1997.

LOLLO, J. A. D. **Técnicas de cartografia e representação do meio**. Curso de Geoprocessamento Ambiental. Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR. São Carlos, SP. Apostila. 2008. p.47.

LU, D. et al. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.12. 2004.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. John Wiley & Sons. 352 p., 1987.

MENEZES, P. M. L. D. e NETO, A. L. C. Escala: estudo de conceitos e aplicações. in: **XIX Congresso Brasileiro de Cartografia / XVII CIPA**. Recife, PE, p.08 -14, 1999.

MEYER, P. et al. Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, v.48, n.4. 1993.

MIRANDA, E. E. **Brasil em Relevo**. Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 30 out. 2008.

MONTEIRO, M. P. e SAWYER, D. Diagnóstico demográfico, socioeconômico e de pressão antrópica na região da Amazônia Legal. In: CAPOBIANCO, J. P. R. et al (Ed.). **Biodiversidade na Amazônia brasileira**. São Paulo, SP: ISA, 2001.

MOREIRA, M. A. e SHIMABUKURO, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: FERREIRA, N. J. (Ed.). **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de textos, 2004. Cap.15. p.79-101.

NOGUEIRA JUNIOR, J. e MARQUES, A. S. Linhas de transmissão e dutovias. In: OLIVEIRA, A. M. D. S. e BRITO, S. N. A. D. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo, SP: ABGE, 1998. Cap.30. p.475-485.

OLIVEIRA, W. J. Avaliação Ambiental de projetos dutoviários. **Material divulgado em curso PRH-05**. 2008.

Petrobras Transporte SA (Transpetro) **Relatório ambiental ORBEL 1**. Rio de Janeiro. 2006.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. **Ranking decrescente do IDH-M dos municípios do Brasil**. 2000. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br>>. Acesso em: 05 jan. 2009.

PONÇANO, W. L. et al. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. in: **2º Simpósio Regional de Geologia**. SBG - nucleo de São Paulo, Rio Claro, v.2, p.253-262, 1979.

RICCOMINI, C. **O rift continental do Sudeste do Brasil**. (Tese de Doutorado). Instituto de Geociências/ USP, São Paulo. 1989.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 2ed. New York: Springer-Verlag. 340 p., 1993.

SCHOTT, J. R.; SALVAGGIO, C.; VOLCHOK, W. J. Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. **Remote Sensing of Environment**, v.26, n.1, out. 1988.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing**. San Diego: Academic Press, 1997.

SETO, K. C. et al. Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. **international Journal of Remote Sensing**, v.23, n.10, p.19. 2002.

SILVA, I. D. F. T. et al. **Apostila de noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 128 p., 1998.

SIMON, A. L. H. **A dinâmica do uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara - Pelotas (RS)**. (Dissertação de mestrado Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 187 p. 2007.

SIMPSON, P. K. **Artificial neural systems : foundations, paradigms, applications, and implementations** New York: Pergamon Press. 209 p., 1990.

SINGH, A. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data **International Journal of Remote Sensing**, v.10, n.6, jun. 1989.

SOARES-FILHO, B. S. e GARCIA, R. A. Índices de pressão antrópica dos municípios da Amazônia brasileira para estimativa de dinâmica de desflorestamento. in: **Encontro Transdisciplinar sobre Espaço e População - III Encontro Nacional sobre Migrações**. Associação Brasileira de Estudos Populacionais - ABEP, Campinas, 2003.

STRAHLER, A. **Geografia física**. Barcelona: Omega, 1975.

TEILLET, P. M.; GUINDON, B.; D. G. GOODENOUGH, D. G. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. **Journal of Remote Sensing**, v.8, n.2. 1982.

TERZIAN, R. L. **Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da Integridade da malha dutoviária**. (Dissertação de metrado em Engenharia Industrial). Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 130 p. 2005.

Petrobras Transporte SA - Transpetro **Relatório ambiental ORBEL I**. Rio de Janeiro. 409 p, 2006a.

Petrobras Transporte SA - Transpetro **Relatório ambiental ORBEL II**. Rio de Janeiro. 420 p, 2006b.

VEDOVELLO, R. e MATTOS, J. T. D. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana in: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, PR. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE, 1993. **Anais**, p.155-162.

VERMOTE, E. et al. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.35, n.3, mai, p.14. 1997.