

COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA

Comparison Between Image Digital Classification Techniques to Land Use and Land Cover Change Detection

Mateus Vidotti Ferreira¹

Paulina Setti Riedel²

Mara Lúcia Marques¹

Thaís Minatel Tinós¹

¹**Universidade Estadual Paulista – UNESP**

Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

mateusvidotti@yahoo.com.br

dmpf@terra.com.br

thaistinos@hotmail.com

²**Universidade Estadual Paulista – UNESP**

Departamento de Geologia Aplicada

psriedel@rc.unesp.br

RESUMO

Para estudos sobre o uso e cobertura da terra são imprescindíveis análises espaciais e mapeamentos. Os resultados destes estudos são de grande utilidade para o conhecimento atualizado do desenvolvimento das atividades antrópicas no espaço e constituem importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão. A utilização das técnicas de sensoriamento remoto e de processamentos digitais de imagens têm se mostrado fundamentais para o diagnóstico e monitoramento dos processos de ocupação do espaço. Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo experimentar técnicas de classificação digital de imagens de média resolução para detecção de mudanças do uso e cobertura da terra. Foram realizados três experimentos, com diferentes ferramentas de classificação, no primeiro foi utilizado o algoritmo MAXVER, de classificação pixel a pixel, do programa Spring, no segundo e terceiro foram aplicadas rotinas de classificação por região sendo, respectivamente, utilizados os programas Spring, com o algoritmo Battacharya e Envi, com o algoritmo K vizinho mais próximo. Concluiu-se que a melhor ferramenta para a finalidade desejada foi a rotina de classificação por região implementada no ENVI, pois esta apresentou melhor desempenho no processo de validação pelo índice Kappa. Com relação às mudanças no uso e cobertura, constatou-se no período de 1986 a 1995 um crescimento urbano significativo localizado a oeste do aglomerado urbano. No período seguinte, de 1995 a 2005, nota-se uma nova tendência de crescimento urbano, localizado a leste do aglomerado.

Palavras-chave: Classificação Digital de Imagens, Mapa de Uso e Cobertura da Terra, Detecção de Mudanças.

ABSTRACT

Land cover and land use studies require mapping and spatial analysis. The results are useful to improve knowledge of human activities and are important tools for the planning and management of decision making. The use of remote sensing and digital image processing techniques has been effective in the diagnostic and monitoring of spatial occupational processes. Therefore, this paper aimed to analyze medium resolution digital image classification techniques applied to land use change detection and occupational process. Throughout three experiments, using different classification tools. The, first stage applied the MAXVER algorithm based on , pixel by pixel classification from the Spring software, in the second and third ones classification routines by region were applied, using , the Spring software, with the Battacharya, and the Envi software, based on K Nearest Neighbor algorithm. It was concluded that the best tool for the desired function was the region-based classification used in ENVI, since it showed the higher value for overall accuracy and Kappa coefficient. In relation to land cover and land use changes, it was found that over the period from 1986 to 1995 there was significant urban growth located in the western of de urban agglomeration. For the next period, 1995 to 2005, a new urban growth tendency was noted, located to the east of the agglomeration.

Keywords: Digital Image Classification, Land Cover and Land Use Mapping, Change Detection.

1. INTRODUÇÃO

Para estudos sobre o uso e cobertura da terra são imprescindíveis análises espaciais e mapeamentos. Os resultados destes estudos são de grande utilidade para o conhecimento atualizado do desenvolvimento das atividades antrópicas no espaço e constituem importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão. No contexto das mudanças, os levantamentos fornecem subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais, como os provenientes de desmatamentos, da perda da biodiversidade, das mudanças climáticas, das doenças recorrentes, ou, ainda, dos inúmeros impactos gerados pelos altos índices de urbanização e pelas transformações rurais (IBGE, 2006).

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto e de processamentos digitais de imagens tem se mostrado fundamentais para o diagnóstico e monitoramento dos processos de uso e cobertura, na medida em que as imagens constituem importante fonte de informação sobre os fenômenos que ocorrem na superfície da terra e são essenciais na compreensão e modelagem das dinâmicas das mudanças.

Tendo como subsídio os estudos de Anderson (1976), Bossard, Ferenc e Otahel (2000) e IBGE (2006), que discutem metodologias para produção de mapas de uso e cobertura da terra e Singh (1989) e Lu et al. (2004), que abordam metodologias de detecção de mudanças, optou-se por utilizar o método de diferença de imagens digitalmente classificadas para detectar mudanças do uso e cobertura da terra.

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.

A classificação de imagem é uma técnica utilizada 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).

Existem diversos classificadores desenvolvidos e implementados em diversos softwares, podendo ser agrupados em dois grandes grupos, de acordo com sua unidade de análise. Os que trabalham com a menor unidade de informação de uma imagem, o pixel, são chamados de classificadores pixel a pixel, e os que operam com agrupamentos de pixels, são denominados de classificadores por regiões.

Neste contexto esse trabalho tem como objetivo experimentar técnicas de classificação digital de imagens para detecção de mudanças do uso e cobertura da terra

2. LOCALIZAÇÃO

Os municípios selecionados para esse trabalho foram Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu (fig. 1) que, segundo Abreu (1987), estão localizados na periferia intermediária e distante da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ. A existência de uma região metropolitana gera uma dinâmica acelerada de mudanças de uso da terra, desta forma, a área estudada está submetida a grandes vetores de alterações do uso e cobertura do espaço.

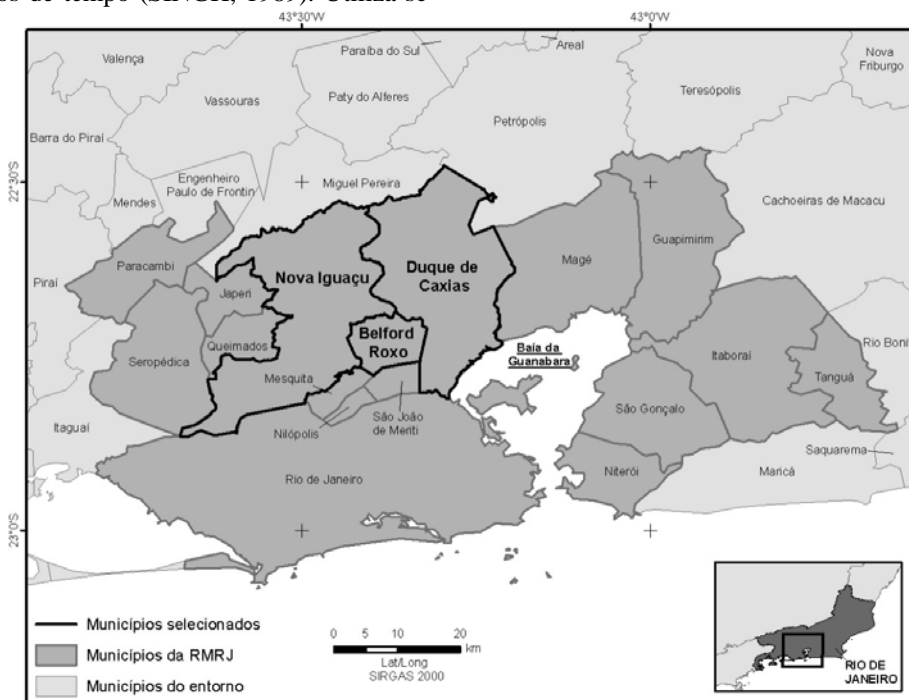


Fig. 1 – Área de estudo

3. OBJETIVO

Comparar técnicas de classificação digital de imagens para detecção de mudanças do uso e cobertura da terra, nos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu no período de 1986 a 2005.

4. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA

4.1 – Aquisição e ajustes dos dados espaciais

Foram adquiridas imagens do Landsat-5, sensor TM, do catálogo de imagens do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, com o objetivo de realizar a análise multitemporal. Para tanto, foram selecionadas cenas que atendessem os requisitos: disponibilidade, ausência de cobertura de nuvens, período de inverno e proximidade do dia de aniversário de aquisição. As datas das imagens que melhor atenderam os requisitos foram: 20/05/1986, 29/05/1995 e 09/06/2005 da órbita/ponto 217/76.

Foi adquirido um modelo de elevação do terreno elaborado por Miranda (2005) a partir do SRTM - Shuttle Radar Topography Mission – disponível no site da EMPRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

As cartas topográficas do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - e DSG - Diretoria de Serviço Geográfico – com escala de 1:50.000 foram utilizadas no georreferenciamento das imagens adquiridas. Devido à resolução espacial das imagens (30m), a escala cartográfica compatível é 1:150.000, portanto esta foi a escala utilizada na pesquisa.

As imagens foram georreferenciadas utilizando seis pontos de controle, polinômio do 1º grau e com erros médios quadráticos inferiores a 15 metros.

4.2 – Ferramentas para classificação

Neste estudo foram avaliadas três ferramentas de classificação de imagens para uso e cobertura da terra.

(a) - Classificação pixel a pixel utilizando o algoritmo MAXVER (máxima verossimilhança), implementado no software SPRING 5.0 (INPE, 2008) (Experimento 1).

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);

(b) - Classificação por regiões através do algoritmo *Battacharya*, implementado no software SPRING 5.0 (INPE, 2008) (Experimento 2);

A medida da distância de *Battacharya* é usada neste classificador por regiões, para medir a separabilidade estatística entre um par de classes

espectrais. Ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (MATHER, 1987).

(c) - Classificação por região através do algoritmo K vizinho mais próximo, implementado no software Envi 4.6 (ITT, 2009) (Experimento 3).

O algoritmo K vizinho mais próximo considera a distância euclidiana em um espaço multidimensional do alvo para as amostras de treinamento. Esta ferramenta de classificação permite ao usuário trabalhar com atributos espaciais (forma, tamanho, área, etc) e textura das regiões extraídas (ITT, 2008).

4.3 – Classes de uso e cobertura da terra

As classes de uso e cobertura da terra foram elaboradas tendo como referência as metodologias propostas por Anderson et al. (1976), Bossard Feranec e Otahel (2000) e IBGE (2006). A fig. 2 apresenta o desdobramento do esquema teórico, utilizado pelo IBGE (2006), para as classes de uso e cobertura da terra adaptado para esse trabalho.

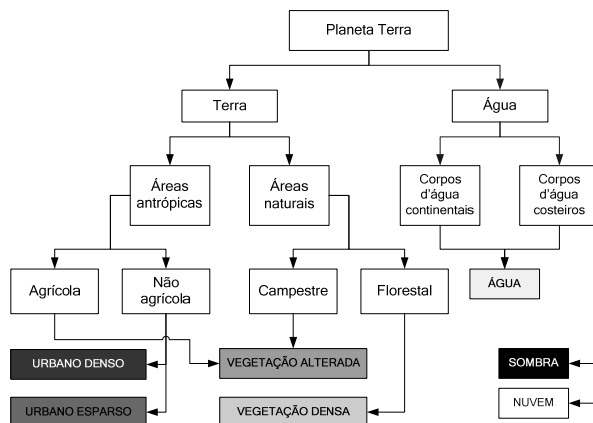


Fig 2. - Esquema teórico das classes de uso e cobertura da terra. Fonte: adaptado do IBGE (2006)

As classes de uso e cobertura da terra apresentam as seguintes características:

(a) - duas classes de uso urbano: a primeira denominada URBANO DENSO, caracteriza-se por um uso urbano mais consolidado e denso, em que predominam a pavimentação, edificações e pouca vegetação. A segunda denominada URBANO ESPARSO, 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 VEGETAÇÃO ALTERADA;

(b) - duas classes de vegetação: a primeira denominada VEGETAÇÃO DENSE, 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 VEGETAÇÃO ALTERADA, 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 ÁGUA;

(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.

4.4 – Validação e análise da classificação

Para avaliação do desempenho das classificações foram amostrados 130 pontos aleatórios 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 dado de referência. A tabela 1 apresenta o número de amostras adquiridas para cada classe

TABELA 1 – NÚMERO DE AMOSTRAS VERDADE ADQUIRIDAS PARA VALIDAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES

Classe	Nº de Amostras 1986	Nº de Amostras 1995	Nº de Amostras 2005
ÁGUA	1	1	1
NUVEM	0	0	0
SOMBRA	6	5	5
URBANO DENSO	16	18	26
URBANO ESPARSO	16	20	15
VEGETAÇÃO ALTERADA	58	52	49
VEGETAÇÃO DENSA	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 de referência. A tabela 2 apresenta a escala de concordância Kappa.

TABELA 2 – 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 cobertura da terra, foram estabelecidas algumas premissas relacionadas ao comportamento esperado das classes de vegetação e urbano para auxiliar a análise dos resultados.

1ª premissa - uma vez que uma área é classificada como URBANO DENSO 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 URBANO DENSO, pois esse fato indicaria um adensamento de edificações naquele local. Sendo assim, pode-se admitir pequenas reduções de área ao longo tempo para esta classe.

3ª premissa - Para VEGETAÇÃO ALTERADA 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 VEGETAÇÃO DENSA é coerente a alteração para qualquer uma das três classes, no entanto não se espera mudanças significativas de área ao longo dos períodos.

4.5 – Experimento 1

Neste experimento foi utilizado um classificador pixel a pixel empregando o algoritmo MAXVER (máxima verossimilhança), para as datas de 1986 e 1995. As amostras foram obtidas de duas formas, na primeira, denominada Maxver 1, utilizaram-se amostras diferentes para cada data e na segunda, denominada Maxver 2, buscou-se obter amostras multitemporais, ou seja, as mesmas amostras para as duas datas.

No teste Maxver 2 as imagens originais foram convertidas para imagens de reflectância de superfície através dos parâmetros de aquisição das cenas e pela técnica de correção atmosférica de subtração dos objetos escuros (CHAVEZ, 1988).

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.

4.6 – Experimento 2

A principal 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 algoritmo 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 definição 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.

4.7 – Experimento 3

Neste experimento utilizou-se o módulo “Feature Extration” presente no software 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 URBANO DENSO ou URBANO ESPARSO em área da Serra do Mar.

Os melhores parâmetros encontrados para realização desse experimento foram:

(a) - Para segmentação da imagem é necessário dois parâmetros arbitrários, 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 e intensidade baseado na composição 7R4G3B) e razão entre bandas (divisão da banda 4 pela banda 3);

(c) - Na aquisição das amostras, o número de amostras variou muito entre as classes e a data da classificação, como se observa na tabela 3;

TABELA 3 – NÚMERO DE AMOSTRAS ADQUIRIDAS NO EXPERIMENTO 3

	1986	1995	2005
ÁGUA	5	5	2
NUVEM	20	0	7
SOMBRA	17	4	10
URBANO DENSO	432	246	286
URBANO ESPARSO	303	145	218
VEGETAÇÃO ALTERADA	790	384	526
VEGETAÇÃO DENSA	117	63	85
TOTAL	1684	847	1134

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

4.8 – Mapa uso e cobertura da terra e mapa de mudanças

Os mapas de uso e cobertura da terra e de mudanças foram produzidos de acordo com o fluxograma apresentado pela fig. 3.

Os resultados da classificação do experimento 4 foram selecionados para a produção do mapa de mudanças, pois apresentaram melhor desempenho no processo de validação. Aplicaram-se sobre os resultados as regras propostas pela 1ª e 2ª premissas. A implementação ocorreu de acordo com o procedimento descrito a seguir:

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

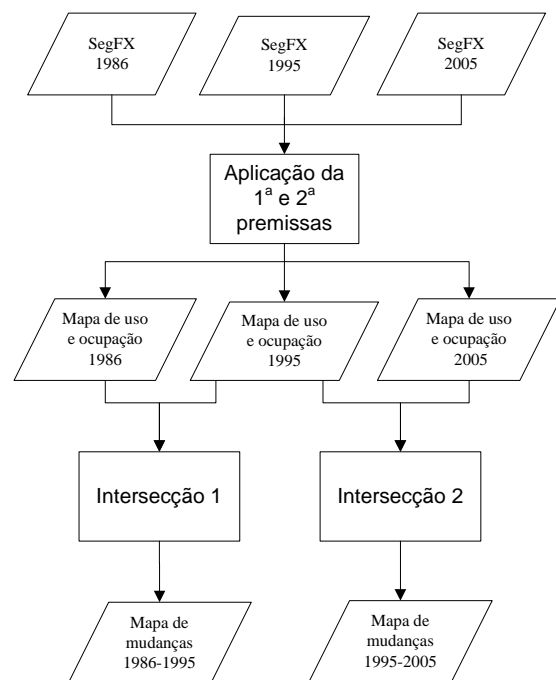


Fig. 3 - Fluxograma de trabalho dos mapas uso e cobertura da terra e de mudanças

(b) - Os polígonos do URBANO ESPARSO de 1986 foram cruzados com os polígonos do URBANO DENSO modificado de 1995, de forma que as áreas de intersecção fossem apagadas do URBANO ESPARSO de 1986. Os polígonos do URBANO ESPARSO de 1986 modificados foram então sobrepostos a classificação SegFX 1995 modificada. Aplicou-se o mesmo procedimento para somar o URBANO ESPARSO 1995 à classificação SegFX 2005 (2ª premissa).

Com esse procedimento, foram gerados os

mapas de uso e cobertura 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 URBANO DENSO, URBANO ESPARSO, VEGETAÇÃO DENSA e VEGETAÇÃO ALTERADA, ficando excluídas as classes de SOMBRA, ÁGUA e NUVEM.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da tabela 4 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 5.1, 5.2 e 5.3 deste trabalho.

TABELA 4 – ACERTO GERAL E COEFICIENTE KAPPA DAS CLASSIFICAÇÕES

	Acerto geral	Coefficiente 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

5.1 – Experimento 1

Os resultados do experimento 1 são apresentados de forma numérica nas tabelas 5 e 6 e sua representação espacial na fig. 4. As classificações apresentadas e discutidas a seguir são apenas as consideradas de melhor resultado e obtidas após muitos testes. 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.

Analisando a tabela 5, destaca-se que o teste Maxver 1 identificou um crescimento geral de 10,79% da área da classe URBANO ESPARSO e um decréscimo de 12,42% da área da classe VEGETAÇÃO ALTERADA, enquanto que, para o teste Maxver 2, a oscilação de ambas as classes foi inferior a 2% em relação a área total dos municípios.

Os resultados se mostraram satisfatórios para classes com menor variabilidade espectral, como ÁGUA, SOMBRA, NUVEM, VEGETAÇÃO DENSA e URBANO DENSO, e muito insatisfatórios para classes com maior variabilidade espectral como, URBANO ESPARSO e VEGETAÇÃO ALTERADA.

Optou-se então por realizar o experimento 2,

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 com respostas espectrais heterogêneas.

TABELA 5 - ÁREA TOTAL RELATIVA DAS CLASSES PARA OS MUNICÍPIOS (EXP. 1)

	Maxver1 1986	Maxver 1 1995	Maxver 2 1986	Maxver 2 1995
ÁGUA	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%
URBANO DENSO	11,01%	12,61%	11,22%	10,37%
URBANO ESPARSO	17,50%	28,29%	24,00%	26,77%
VEGETAÇÃO ALTERADA	35,88%	23,46%	26,41%	24,27%
VEGETAÇÃO DENSA	33,54%	33,27%	36,73%	36,21%

TABELA 6 – CRESCIMENTO RELATIVOS DAS CLASSES (EXP. 1)

	Crescimento 86-95 (Maxver1)	Crescimento 86-95 (Maxver 2)
URBANO DENSO	14,51%	-7,52%
URBANO ESPARSO	61,66%	11,52%
VEGETAÇÃO ALTERADA	-34,60%	-8,12%
VEGETAÇÃO DENSA	-0,80%	-1,42%

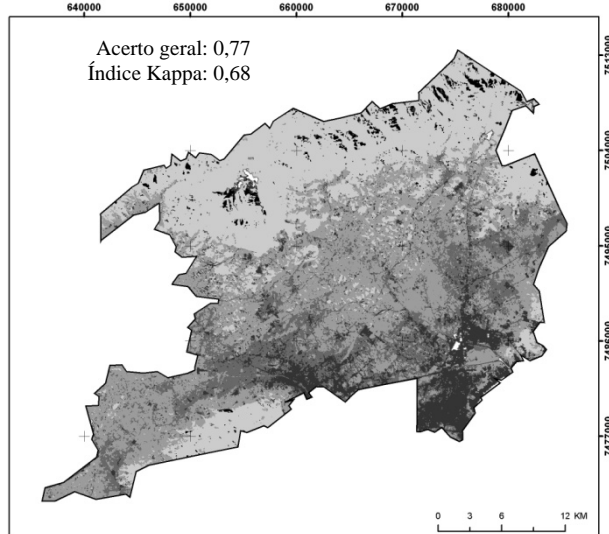
5.2 – Experimento 2

Os resultados das classificações do experimento 2 (fig. 5) serão denominados de SegSpring seguida pela correspondente data. A tabela 7 demonstra numericamente o resultado das classificações para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu e a tabela 8 apresenta o crescimento relativo, nos períodos de 1986 a -1995 e de 1995 a 2005 das classes relacionadas ao urbano e a vegetação.

Analisando as tabelas 7 e 8, pode-se afirmar que há coerência no que se refere ao crescimento da classe URBANO DENSO nos dois períodos, e certa incoerência na redução de 21,29% da classe URBANO ESPARSO no período de 1986 a 1995. Entretanto o resultado aparentemente de maior discrepância é o crescimento relativo de 17,54% da classe VEGETAÇÃO ALTERADA no período de 1986 a 1995 seguido de uma redução drástica de 41,76% no período de 1995 a 2005.

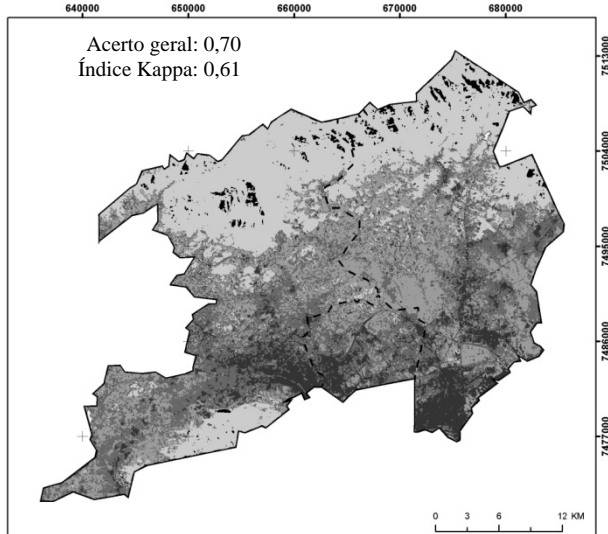
É possível notar uma fragmentação muito menor quando comparado aos resultados do experimento 1 e é bastante perceptível o crescimento da

área urbana consolidada através do aumento

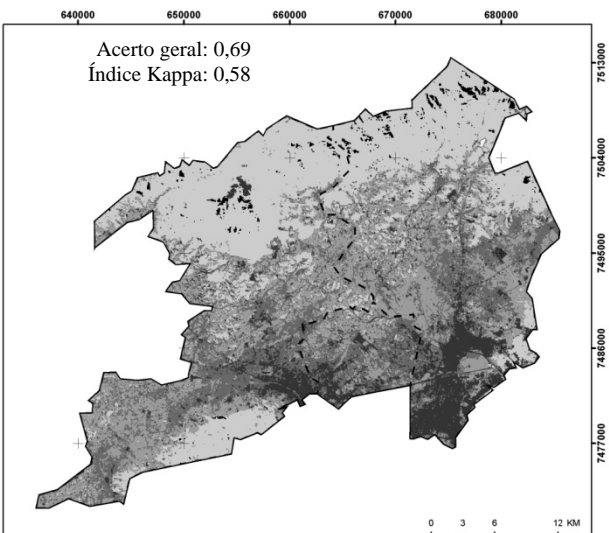


A) Maxver 1 1986

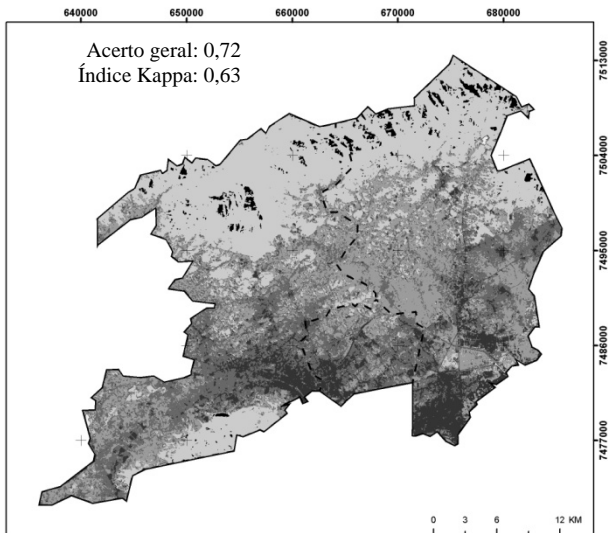
significativo da classe URBANO DENSO.



B) Maxver 1 1995



C) Maxver 2 1986



D) Maxver 2 1995

-- Limite de municípios **Uso e ocupação** □ NUVEM ■ URBANO DENSO ■ VEGETAÇÃO ALTERADA
 □ ÁGUA ■ SOMBRA ■ URBANO ESPARSO ■ VEGETAÇÃO DENSA

Fig. 4 – Resultado geral das classificações do experimento 1

TABELA 7 - ÁREA TOTAL RELATIVA DAS CLASSES PARA OS MUNICÍPIOS (EXP. 2)

	SegSpring 1986	SegSpring 1995	SegSpring 2005
ÁGUA	0,57%	1,32%	0,47%
NUVEM	0,07%	0,00%	0,03%
SOMBRA	2,29%	2,51%	4,13%
URBANO DENSO	10,50%	13,27%	17,40%
URBANO ESPARSO	24,10%	18,96%	22,50%
VEGETAÇÃO ALTERADA	29,78%	35,00%	18,50%
VEGETAÇÃO DENSA	32,70%	28,95%	27,72%

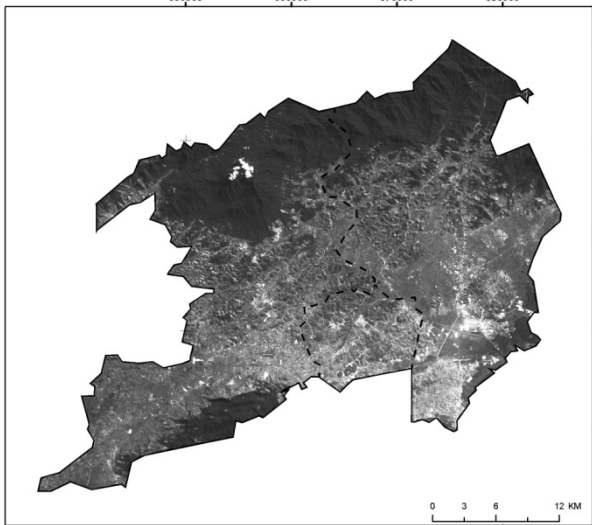
TABELA 8 – CRESCIMENTO RELATIVOS DAS CLASSES (EXP. 2)

	Crescimento 86-95	Crescimento 95-05
URBANO DENSO	26,33%	44,53%
URBANO ESPARSO	-21,29%	30,70%
VEGETAÇÃO ALTERADA	17,54%	-41,76%
VEGETAÇÃO DENSA	-11,48%	5,52%

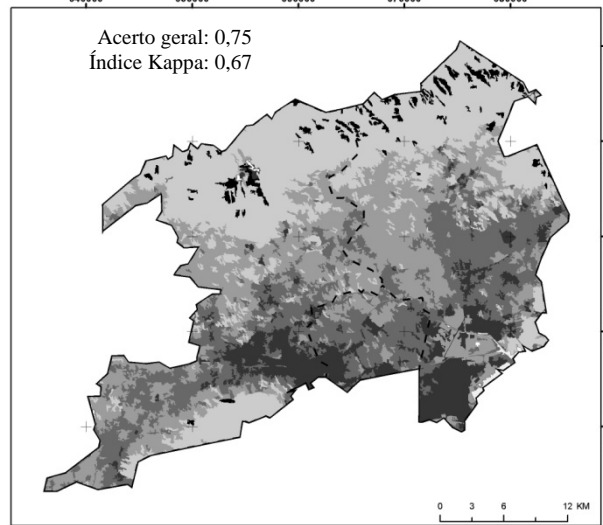
Para classe VEGETAÇÃO DENSA, os resultados também foram satisfatórios, ocorrendo alguns erros de classificação em áreas próximas à Baía da

Guanabara, onde a umidade do solo é alta e a resposta

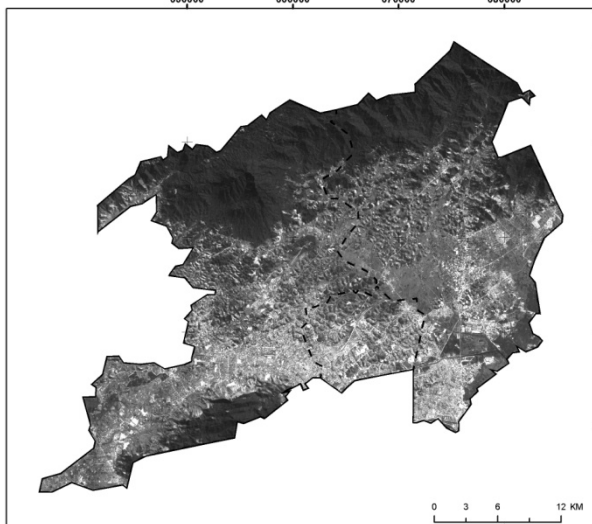
espectral confunde-se com a vegetação densa.



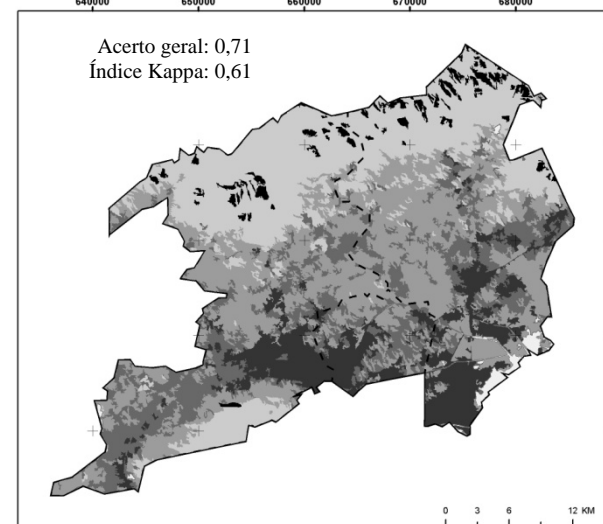
A) Imagem TM 1986 (Banda 3)



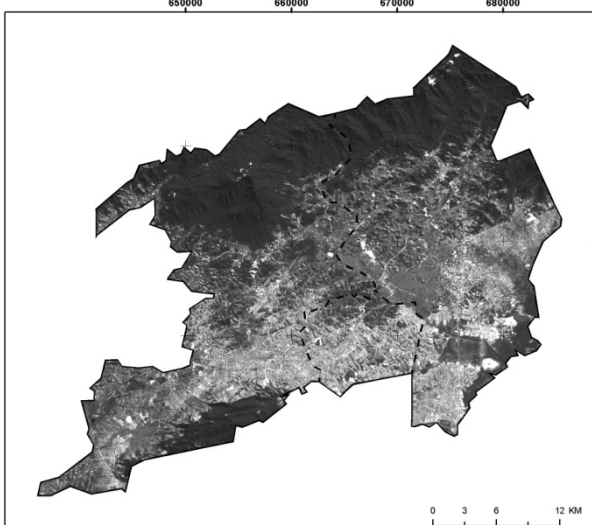
B) SegSpring 1986



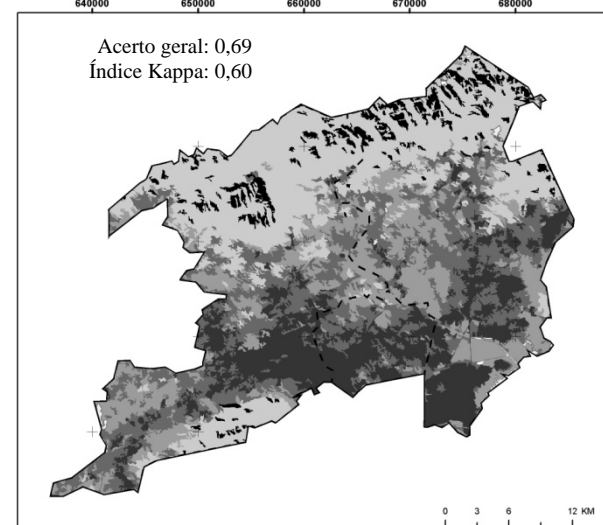
C) Imagem TM 1995 (Banda 3)



D) SegSpring 1995



E) Imagem TM 2005 (Banda 3)



F) SegSpring 2005

- - Limite de municípios **Uso e ocupação** □ NUVEM ■ URBANO DENS0 ■ VEGETAÇÃO ALTERADA
 □ ÁGUA ■ SOMBRA ■ URBANO ESPARSO ■ VEGETAÇÃO DENS0

Fig. 5 – Resultado geral das classificações do experimento 2

As confusões de classificação entre URBANO ESPARSO e VEGETAÇÃO ALTERADA continuaram a ocorrer. 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.

É 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 1.

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.

5.3- Experimento 3

A fig. 6 apresenta o resultado das classificações com e sem MDE para o ano de 1986.

Analisando as informações representadas na fig. 6 é possível notar que a fig. 6C apresenta uma melhor classificação das áreas correspondente a Serra do Mar e o seu entorno. A fig. 6B apresenta áreas de URBANO DENSO e VEGETAÇÃO ALTERADA em regiões que deveriam ser classificadas como NUVENS e VEGETAÇÃO DENSA. Devido a esses resultados optou-se por utilizar apenas as classificações realizadas com o auxílio do MDE.

Os resultados das classificações do experimento 3 (fig. 7) serão denominados de SegFX seguida pela correspondente data. A tabela 9 demonstra numericamente o resultado das classificações para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu e a tabela 10 apresenta o crescimento relativo, nos períodos de 1986 a 1995 e de 1995 a 2005 das classes relacionadas ao urbano e a vegetação.

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 URBANO ESPARSO no período de 1995 a 2005, que pode significar tanto que houve um adensamento das áreas urbanas quanto uma confusão entre as classes VEGETAÇÃO ALTERADA e URBANO ESPARSO.

De acordo com o acerto geral e o índice Kappa, esses foram os melhores resultados observados. Nominalmente, segundo o índice Kappa, as classificações obtidas ficaram entre ótimo e excelente. Visualmente também é o resultado de maior coerência. A classe URBANO DENSO cresce ao longo período. A

dinâmica de crescimento do URBANO DENSO preferencialmente em área de URBANO ESPARSO 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.

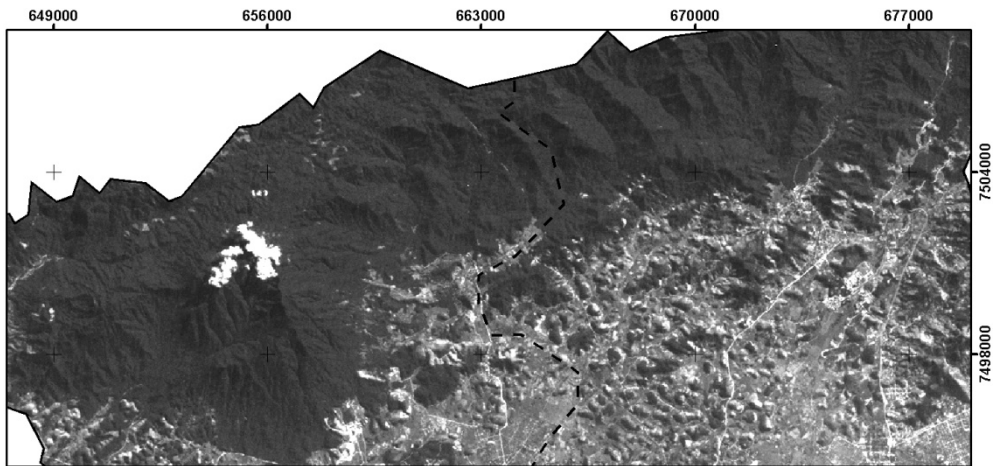
Em termos de fragmentação, não se observou tanta fragmentação quanto os resultados do experimento 1, mas também não apresentaram a homogeneidade observada nos resultados do experimento 2.

TABELA 9 - ÁREA TOTAL RELATIVA DAS CLASSES PARA OS MUNICÍPIOS (EXP. 3)

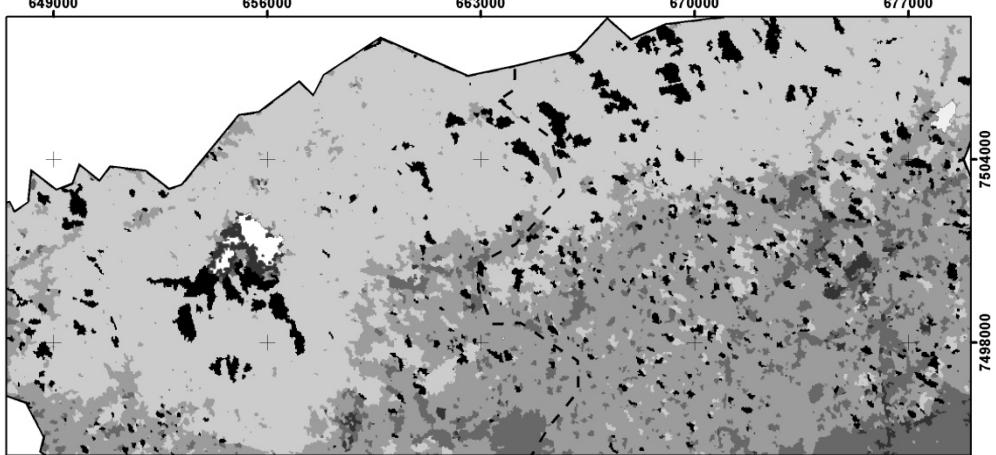
	SegFX 1986	SegFX 1995	SegFX 2005
ÁGUA	0,19%	0,22%	0,24%
NUVEM	0,24%	0,00%	0,07%
SOMBRA	3,81%	3,30%	3,74%
URBANO DENSO	8,69%	11,82%	15,03%
URBANO ESPARSO	19,66%	19,90%	17,60%
VEGETAÇÃO ALTERADA	40,85%	37,76%	38,32%
VEGETAÇÃO DENSA	26,56%	27,00%	25,00%

TABELA 10 - CRESCIMENTO RELATIVOS DAS CLASSES (EXP. 3)

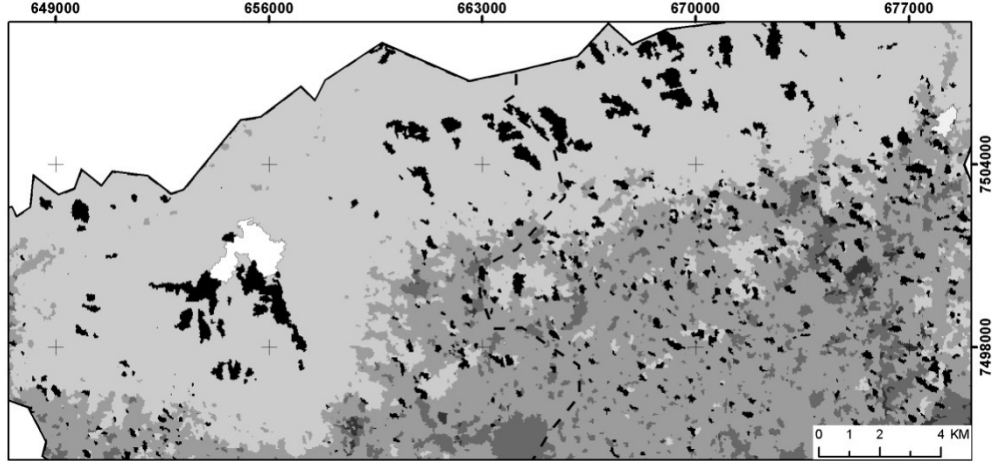
	Crescimento 86-95	Crescimento 95-05
URBANO DENSO	36,08%	27,13%
URBANO ESPARSO	1,19%	-11,53%
VEGETAÇÃO ALTERADA	-7,56%	1,49%
VEGETAÇÃO DENSA	1,66%	-7,41%



A) Imagem TM 1986 (Composição: 4R7G3B)



B) SegFX 1986 sem MDE



C) SegFX 1986 com MDE

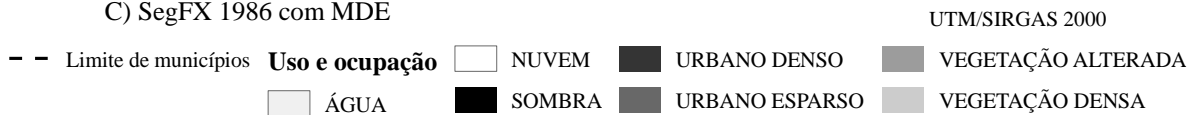


Fig 6 – Comparação das classificações de 1986, com e sem MDE

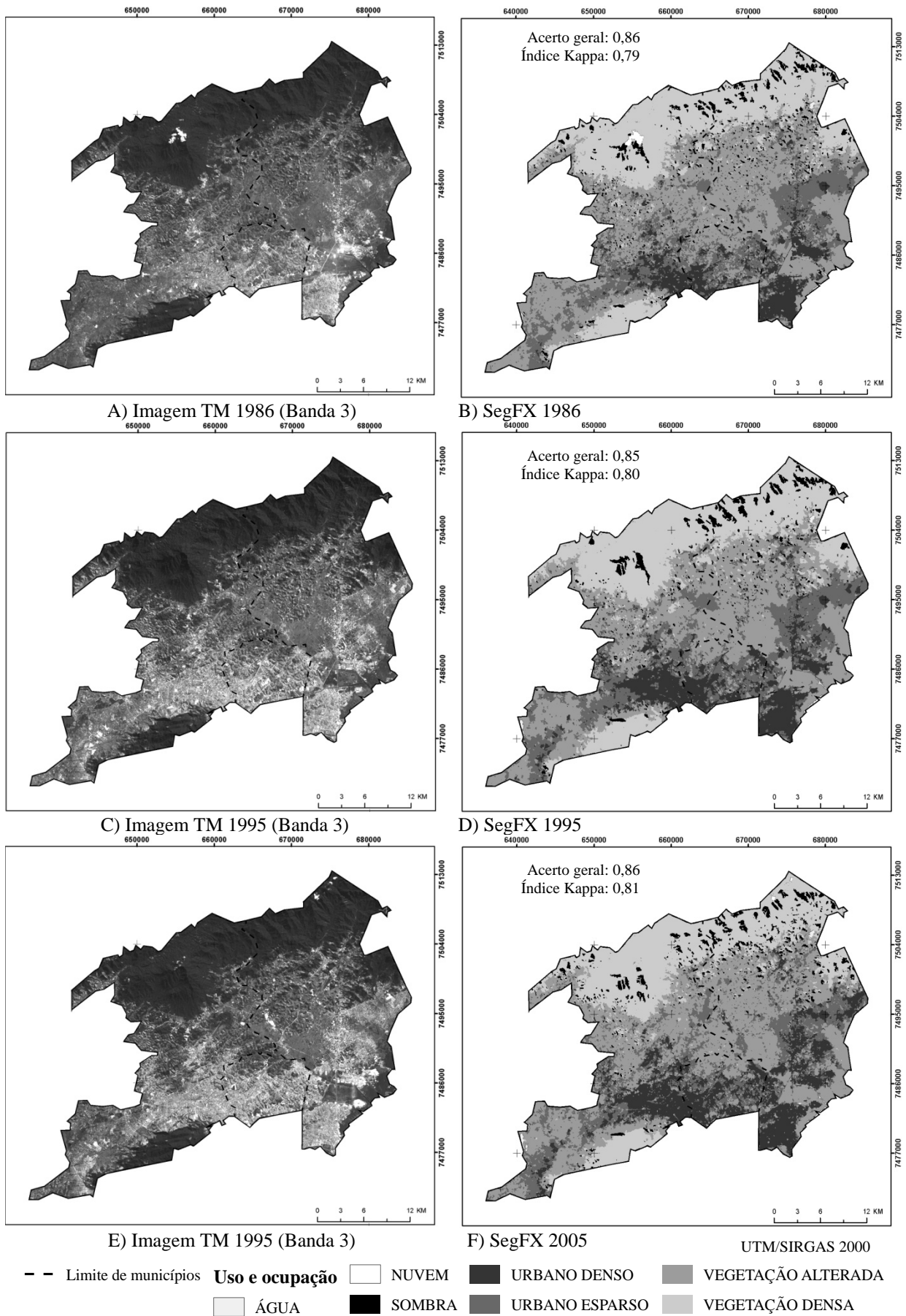


Fig. 7 – Resultado geral das classificações do experimento 3

5.4 – Mapa de uso e cobertura da terra e mapa de mudanças

A tabela 11 demonstra numericamente o resultado do mapa de uso e cobertura da terra para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu. A tabela 12 apresenta o crescimento relativo, nos períodos de 1986 a 1995 e de 1995 a 2005, das classes relacionadas ao urbano e a vegetação. A fig. 8 apresenta os mapas de uso e cobertura da terra, bem como o acerto geral e o índice Kappa.

TABELA 11 - ÁREA TOTAL RELATIVA DAS CLASSES PARA OS MUNICÍPIOS

	Uso e cobertura 1986	Uso e cobertura 1995	Uso e cobertura 2005
ÁGUA	0,19%	0,81%	0,23%
NUVEM	0,24%	0,00%	0,06%
SOMBRA	3,81%	3,25%	3,72%
URBANO DENSO	8,69%	13,69%	18,53%
URBANO ESPARSO	19,66%	24,03%	24,66%
VEGETAÇÃO ALTERADA	40,85%	31,89%	27,90%
VEGETAÇÃO DENSA	26,56%	26,93%	24,90%

TABELA 12 – CRESCIMENTO RELATIVO DA ÁREA DAS CLASSES

	Creascimento 86-95	Creascimento 95-05
URBANO DENSO	57,54%	35,39%
URBANO ESPARSO	22,23%	2,60%
VEGETAÇÃO ALTERADA	-21,93%	-12,52%
VEGETAÇÃO DENSA	1,39%	-7,52%

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

As tabelas 13 e 14, 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 cobertura de 1986, e para o período de 1995 a 2005 as classes de origem correspondem às classes de uso e cobertura de 1995. A fig. 9 apresenta os mapas de mudanças, para os períodos de 1986 a 1995 e 1995 a 2005.

TABELA13 – RELAÇÃO ENTRE AS CLASSES DE MUDANÇA (1986 E 1995) E AS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA (1986)

		Classes de mudanças 1986-1995 (% do total de mudança da classe)			
		p/UD ¹	p/UE ²	p/VA ³	p/VD ⁴
Classes de uso e cobertura 1986	UD ¹	-	0,00%	0,00%	0,00%
	UE ²	67,02%	-	0,00%	0,00%
	VA ³	32,33%	97,87%	-	57,28%
	VD ⁴	0,17%	1,04%	78,20%	-

¹URBANO DENSO; ²URBANO ESPARSO; ³VEGETAÇÃO ALTERADA; ⁴VEGETAÇÃO DENSA

TABELA 14 – RELAÇÃO ENTRE AS CLASSES DE MUDANÇA (1995 E 2005) E AS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA (1995)

		Classes de mudanças 1995-2005 (% do total de mudança da classe)			
		p/UD ¹	p/UE ²	p/VA ³	p/VD ⁴
Classes de uso e cobertura 1995	UD ¹	-	0,00%	0,00%	0,00%
	UE ²	86,85%	-	0,00%	0,00%
	VA ³	12,40%	97,79%	-	62,91%
	VD ⁴	0,27%	1,48%	78,98%	-

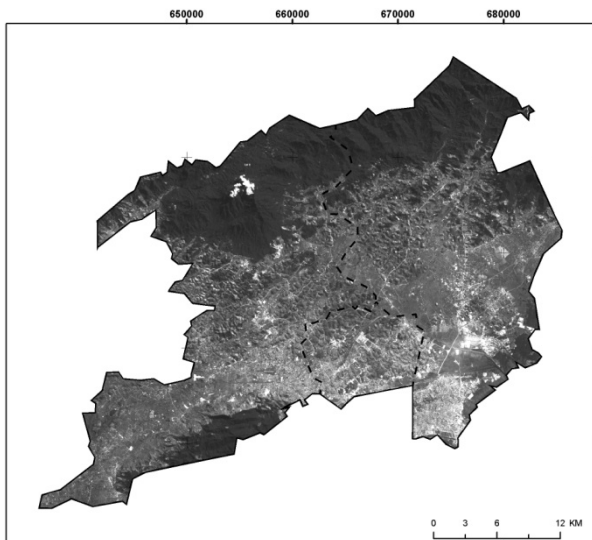
¹URBANO DENSO; ²URBANO ESPARSO; ³VEGETAÇÃO ALTERADA; ⁴VEGETAÇÃO DENSA

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

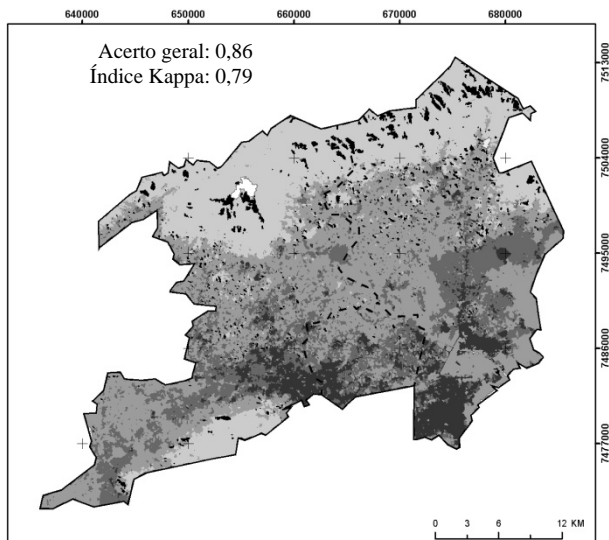
(a) - No período de 1986 a 1995 observa-se um grande crescimento da classe URBANO DENSO (57,54%), que ocorreu, em sua grande parte, a oeste do aglomerado urbano. Entretanto no período de 1995 a 2005 nota-se uma nova tendência de crescimento significativo da classe de URBANO DENSO, localizado a leste do aglomerado urbano;

(b) - No período de 1986 a 1995 a classe URBANO ESPARSO cresce 34% enquanto que no período seguinte cresce apenas 2,60%. Esse decréscimo é reflexo da expansão da classe URBANO DENSO sobre a classe URBANO ESPARSO;

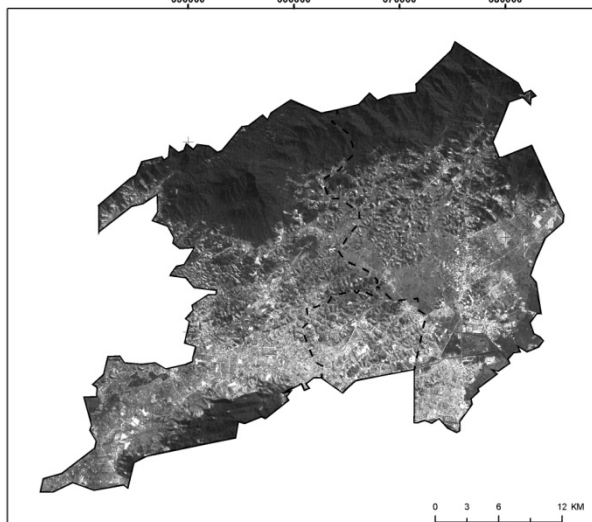
(c) - As mudanças que ocorrem entre as classes de vegetação estão localizadas, principalmente, em áreas de transição para relevos mais acidentados, onde ainda existe vegetação natural preservada.



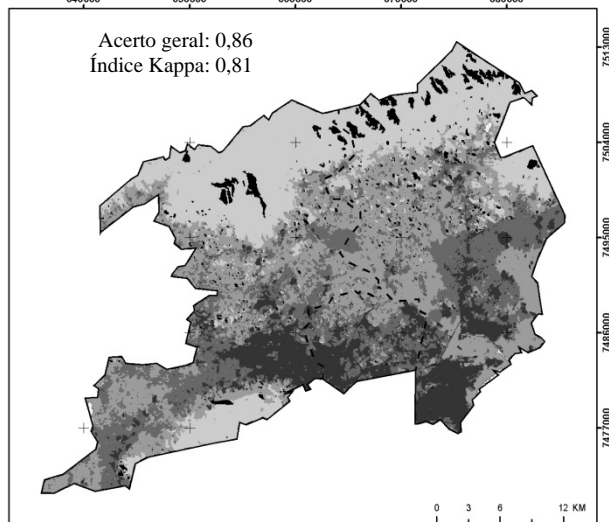
A) Imagem TM 1986 (Banda 3)



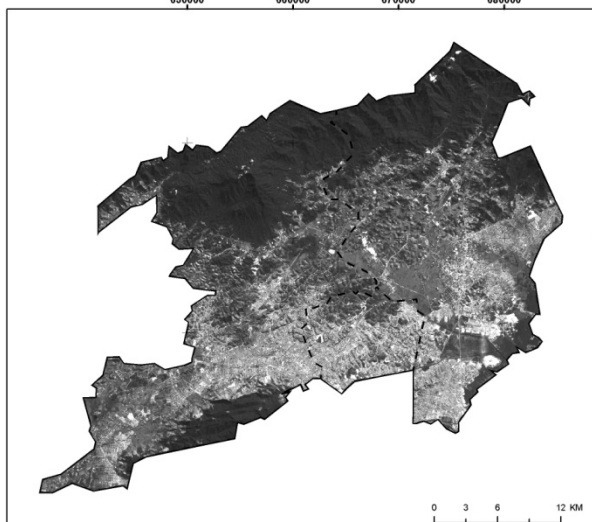
B) Uso e cobertura 1986



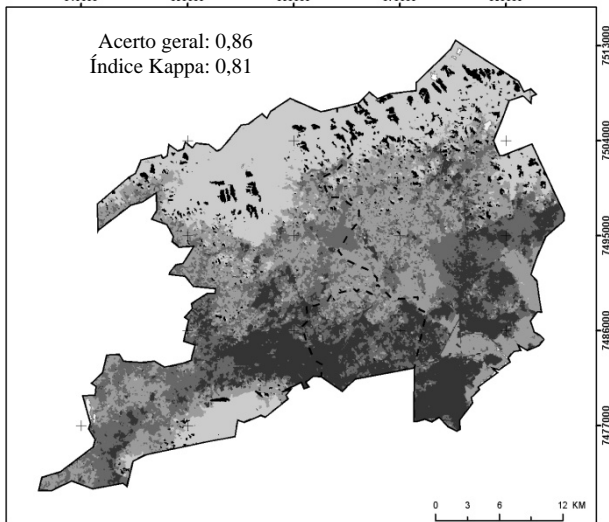
C) Imagem TM 1995 (Banda 3)



D) Uso e cobertura 1995



E) Imagem TM 2005 (Banda 3)

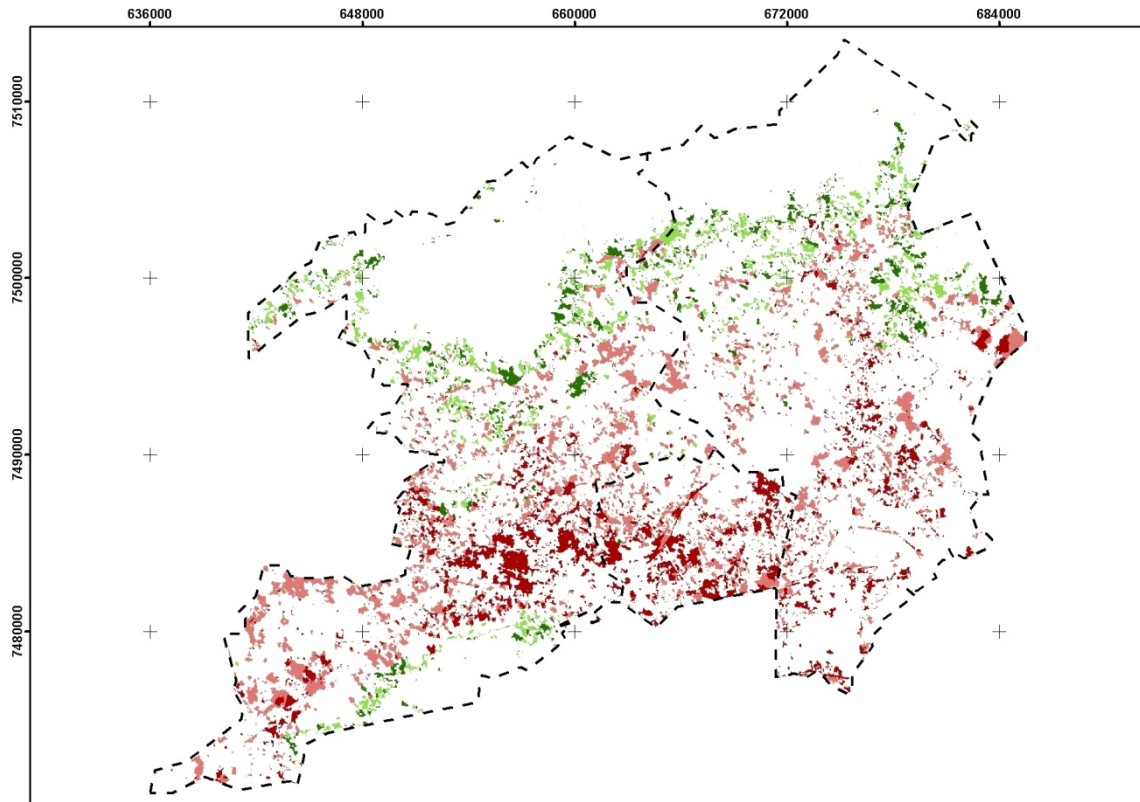


F) Uso e cobertura 2005

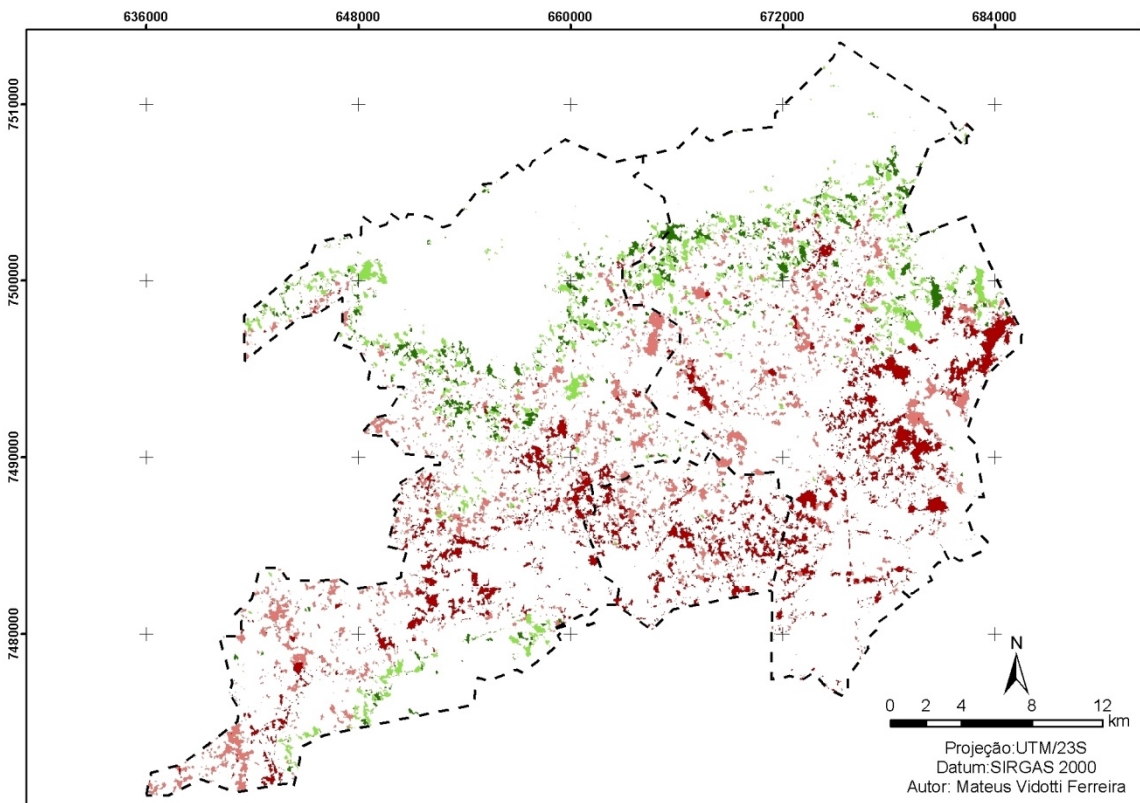
UTM/SIRGAS 2000

-- Limite de municípios **Uso e ocupação** □ NUVEM ■ URBANO DENSO ■ VEGETAÇÃO ALTERADA
 □ ÁGUA ■ SOMBRA ■ URBANO ESPARSO ■ VEGETAÇÃO DENSE

Fig. 8– Mapas de uso e cobertura da terra – 1986, 1995 e 2005



A) Mapa de mudanças 1986 – 1995



B) Mapa de mudanças 1995 – 2005

- - Limite de municípios **Classes de mudanças** ■ p/URBANO DENS0 ■ p/VEGETAÇÃO DENS0
 ■ p/URBANO SPARSO ■ p/VEGETAÇÃO ALTERADA □ Sem alteração

Fig. 9 – A) Mapa de mudanças 1986 – 1995; B) Mapa de mudanças 1995 – 2005

6. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados pelos experimentos 1 e 2 demonstraram as limitações das respectivas técnicas de classificação testadas em trabalhar com classes específicas de uso e cobertura da terra, sendo assim, optou-se por buscar outra solução de classificação (experimento 3). Desta forma, entre as rotinas de classificação experimentadas, a que apresentou melhores resultados para a finalidade desejada foi o método de classificação através de regiões, presente no módulo Feature Extraction, implementado no software ENVI 4.6 (ITT, 2009). Os mapas de mudanças elaborados comprovaram a coerência dos resultados obtidos com esse experimento.

Importante destacar que os dados de imagens orbitais utilizados em conjunto com técnicas de processamento de imagens são importantes fontes básicas para o mapeamento do tema estudado, embora por si mesmos sejam insuficientes para retratar a realidade, requerendo a agregação de informações adquiridas a partir de cartas topográficas, mapas temáticos e visitas de campo com a finalidade de refinar, calibrar e confirmar o que é observado nas imagens.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de mestrado no Programa Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente da UNESP de Rio Claro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. A. **A evolução urbana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: IPLANRIO/ZAHAR. 147 p., 1987.

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.

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.

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.

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.

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.

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://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/manualusodaterra.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

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.

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.

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

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

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.

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