

Acompanhamento da expansão do município de Rio Grande (RS) entre os anos de 2008 e 2013 através da análise pelo vetor de mudanças no domínio polar

Daniel Capella Zanotta¹
Andressa da Rosa de Vasconcellos¹
Mariana dos Santos Domingues¹
Fabiano Soares Dias¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *campus* Rio Grande – IFRS-RG
Rua Eng. Alfredo Huch, 475 - 96201-460 – Rio Grande - RS, Brasil
daniel.zanotta@riogrande.ifrs.edu.br
{andressa_d_v, ma_ri_ana_domingues, fabiano.soares.dias}@hotmail.com

Abstract. This work aims at testing a methodology directed to detect changes in urban environments like the city of Rio Grande (RS). This city has been hardly changed since 2008 due to the naval pole settlement. To this end, a well-known technique called Change Vector Analysis was applied. One improvement made in this technique by using polar coordinates was inserted in the formulation in order to use both magnitude and direction variables of each spectral change vector. This analysis considers two image of a same area but acquired in different times. After computing the change detection map, a filtering process was also applied in order to reduce the salt and pepper noise. The strategy involved at first the application of morphological operators and then thresholding the size of change resulting blocks. One experiment was conducted with two Landsat images acquired in 2008 and 2013. The results showed that the combination of these techniques can be a valuable tool for management of urban environments

Palavras-chave: remote sensing, image processing, deforestation detection, sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de desflorestamento.

1. Introdução

Técnicas automáticas para detecção de mudanças em imagens de sensoriamento remoto têm sido largamente aplicadas para diversos tipos de estudo (Zanotta e Haertel, 2010). Monitoramentos ambientais que exigem um rápido entendimento da dinâmica do uso do solo encontram nos métodos automáticos de classificação uma valiosa ferramenta para solucionar questões críticas de maneira eficiente e custo baixo. Neste contexto, a técnica de análise pelo vetor de mudanças (*change vector analysis*) – CVA tem se mostrado um razoável ponto de partida para diversos estudos que objetivam detectar mudanças ocorridas em uma determinada região entre duas datas distintas. Essa técnica foi originalmente sugerida por Malila (1980) para detectar desmatamentos a partir de imagens de média resolução espacial. Basicamente, a técnica consiste em subtrair pixel a pixel duas imagens (\mathbf{X}_1 e \mathbf{X}_2) de uma mesma região, mas adquiridas em datas distintas (t_1 e t_2), produzindo uma imagem de diferenças (\mathbf{X}_D). Após a subtração, um limiar de magnitude (ρ_T) é necessário para separar os pixels que serão considerados como alterados dos demais pixels que não apresentam mudanças significativas. Esse limiar pode ser definido pelo usuário de maneira empírica ou automática (Bruzzone e Prieto, 2001). A premissa básica dessa técnica assume que os pixels que sofreram fortes alterações entre duas datas distintas tendem a apresentar valores (magnitudes) altos na imagem de diferenças enquanto que pixels que não sem grandes alterações, ou que possuem apenas diferenças associadas à ruídos ou erros de registro resultem em valores baixos nessa imagem. A principal desvantagem dessa técnica é que ela somente informa onde houve ou não mudanças, deixando de revelar o tipo de mudança ocorrida. Procurando contornar essa limitação, Bobolo e Bruzzone (2007) propuseram um método de análise do vetor de diferenças (vetor multidimensional resultante da subtração de cada pixel na imagem de diferenças) através de uma representação da imagem de diferenças no domínio polar. A partir

dessa representação, a magnitude ($\rho \in [0, +\infty)$) continua informando se houve ou não alteração a partir da fixação de um limiar, mas a direção dos vetores espectrais ($\theta \in [0, 2\pi)$) é também utilizada para determinar o tipo de alteração ocorrida (e.g. crescimento de vegetação, alagamento, desmatamento, construção de alguma edificação, etc.). Neste trabalho é sugerida uma análise das mudanças ocorridas no município de Rio Grande (RS) entre Set/2008 e Set/2013 a partir da metodologia proposta em Bobolo e Bruzzone (2007). Apesar de ser referente a uma zona urbana, a análise foi realizada a partir de imagens da série de satélites *Landsat* sensor TM e OLI para o ano de 2008 e 2013, respectivamente. Dadas as largas dimensões espaciais do município e a proposta do estudo, os dados provenientes desses sensores (resolução espacial de 30 m) poderiam ser considerados suficientes para representar razoavelmente as alterações ocorridas. Mesmo assim, adicionalmente, o tamanho do pixel da imagem de 2013 foi reamostrado para 15 m através de um processo de *pansharpening*, possibilitado pela existência de uma banda pancromática no sensor OLI. Como esperado por se tratar de uma área urbana (imagem com muitas feições de alta frequência), o mapa de mudanças resultante tende a apresentar grande quantidade de ruído espacial. Para contornar esse problema, uma rotina de filtragem foi também proposta e aplicada resultando em uma imagem com maior uniformidade e facilidade de interpretação.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Pré-Processamento

Para o ano de 2008 foi utilizado um recorte de uma imagem do sensor TM/*Landsat* 5 (Figura 1a) enquanto que para o ano de 2013 foi utilizado um recorte correspondente à mesma área mas adquirido pelo sensor OLI/*Landsat* 8 (Figura 1b). O sensor *Operational Land Imager* OLI a bordo do satélite *Landsat* 8 contém uma banda pancromática (0.515 – 0.896 μm), que foi aqui utilizada para reamostrar a imagem para um pixel de 15 m através de um processo de *pansharpening* pela técnica *IHS resolution merge*. A imagem de 2008, apesar de não possuir uma banda pancromática que permita o procedimento de reamostragem, foi também reamostrada para um pixel de 15 m por interpolação utilizando o vizinho mais próximo. Este procedimento se justifica neste estudo porque se assume que as mudanças que se procura detectar (edificações em áreas antes inabitadas) ocorreram, em maioria, em locais onde antes ocupadas por campo ou solo exposto. Ou seja, áreas homogêneas em termos espectrais. O procedimento inicial da metodologia envolve o registro espacial das imagens utilizadas. Para estudos sobre detecção de mudanças, sugere-se que as imagens sejam registradas com uma precisão menor que 0,5 pixel. As imagens passaram por correção atmosférica através da técnica de subtração do pixel escuro (*Dark Object Subtraction* - DOS). Com o objetivo de colocar as duas imagens em um mesmo referencial radiométrico, um processo de casamento de histogramas (*histogram matching*) foi aplicado com relação a imagem da segunda data (2013). Esse processo faz com que as respectivas bandas das imagens fiquem aproximadamente com o mesmo histograma. Para situações em que houve pequena quantidade de pixels com mudanças comparando-se com o número total de pixels da cena, a aplicação desse pré-processamento é vantajosa. Nesse processo, os corpos d'água (porção do oceano Atlântico e Lagoa dos Patos) foram removidos para não interferir negativamente no processo, uma vez que existe grande variabilidade temporal do aporte de vegetação/sedimentos em suspensão nessas áreas. Uma vez realizado esse procedimento, as imagens foram subtraídas, pixel a pixel, através da equação 1 dando origem a imagem de diferenças (Figura 1c).

$$\mathbf{X}_d = \mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1. \quad (1)$$

A imagem da Figura 1c tem valores variando de 0-255, onde 127,5 (cinza) significa que não houve alterações no pixel, valores acima de 127,5 significam mudanças positivas (valores claros) e valores abaixo correspondem às mudanças negativas (valores escuros).

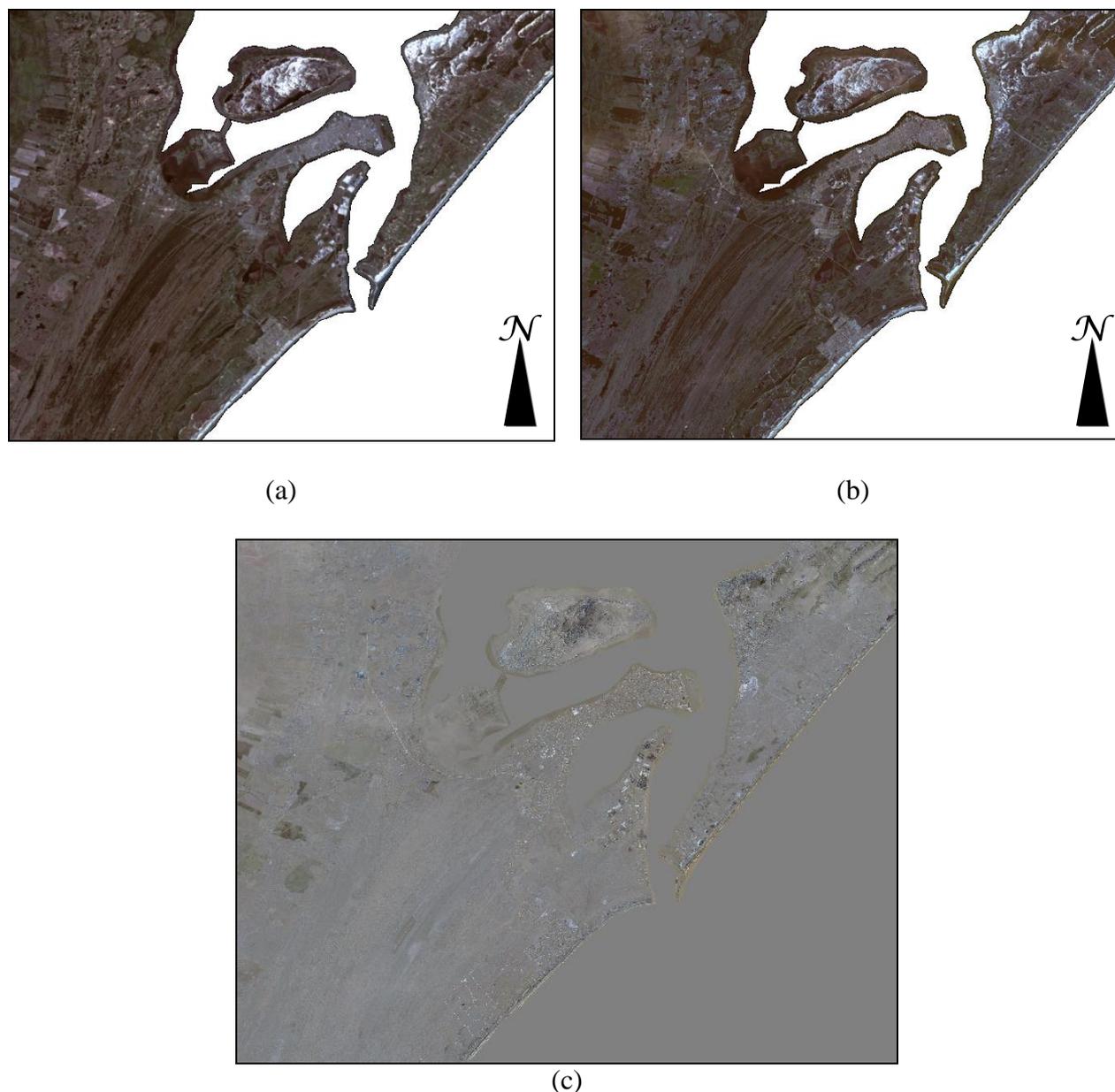


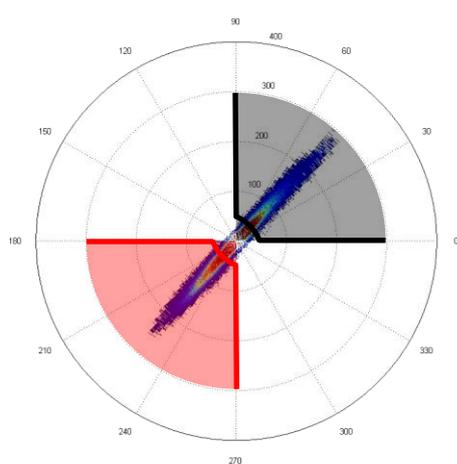
Figura 1. Dados imagem utilizados no estudo. (a) Imagem TM/*Landsat* 5 de Set/2008 (X_1), composição 3(R)2(G)1(B), sem realce (resultado após operação de casamento de histogramas); (b) Imagem OLI/*Landsat* 8 de Set/2013 (X_2), composição 3(R)2(G)1(B), sem realce; (c) Imagem de diferenças resultante da subtração $X_D = X_2 - X_1$, sem realce.

2.2 Pós-processamento

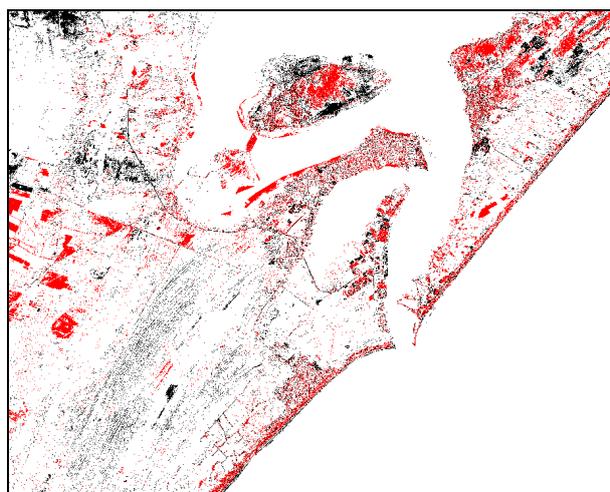
A técnica proposta em Bobolo e Bruzzone (2007) pode ser facilmente estendida para um domínio hipersférico. No entanto, além de não haver ganhos significativos na utilização de três ou mais feições, a visualização e entendimento do problema por parte do usuário fica comprometida. Assim, para este trabalho foram utilizadas as subtrações das bandas 1 e 2 para

a representação do CVA no domínio polar. O gráfico de espalhamento da Figura 2a contém a diferença na banda 1 representado no eixo horizontal e a diferença na banda 2 representado na vertical. É possível observar que existe uma forte correlação entre uma alteração espectral na banda 1 com a alteração na banda 2. Outro aspecto que pode ser verificado é que a situação analisada contém tanto mudanças positivas (parte superior direita do gráfico) quanto mudanças negativas (parte inferior esquerda). Cada um dos setores circulares representados na figura estão associados com algum tipo específico de mudança (e.g. campo para edificação, solo para edificação, alterações de cultivo, alagamentos, etc.)

Como explicado anteriormente, a técnica de CVA produz a imagem de diferenças variando entre (0,255). O limiar de magnitude (ρ_T) aplicado a esta imagem para separar os pixels com alguma mudança dos pixel sem mudança foi definido empiricamente como 30. A escolha do setor circular (Figura 2a) utilizado para representar as mudanças de interesse (edificações em geral) foi definida com base no que se segue. A maior parte das mudanças ocorridas entre 2008 e 2013 na cidade de Rio Grande são devidas a novas edificações construídas em locais antes inabitados. A cidade de Rio Grande passou recentemente por algumas transformações abruptas devido a instalação do polo naval na região estuarina. Esse fato, além de fazer com que o distrito industrial passasse a ser ocupado por grandes empresas da indústria naval e estaleiros, fez com que pessoas vindas de diversas regiões do país migrassem temporariamente para a cidade em busca das novas vagas de trabalho, e assim, impulsionando o mercado imobiliário. Como resultado, a partir do ano de 2008 a cidade de Rio Grande registrou um grande aumento no mercado da construção civil, com a construção de diversas moradias populares, loteamento de novos bairros, empreendimentos imobiliários, construção de *shoppings centers*, etc. Assim, o setor circular superior direito da Figura 2a (que está relacionado com mudanças positivas) foi o setor selecionado para representar as mudanças acima citadas ocorridas entre 2008 e 2013. A seleção de apenas elementos que se encontram na área do gráfico demarcada em preto na Figura 2a isola todos os pixels que aparecem em preto na Figura 2b, retirando os representados em vermelho da análise. Essa seleção faz com que áreas alagadas, zonas de cultivo sazonal, mudanças naturais na morfologia de dunas e outras alterações sem interesse prático sejam filtradas do mapa de mudanças, restando apenas mudanças associadas a construções de novas moradias, prédios, vias pavimentadas e outros elementos com alta resposta espectral.



(a)

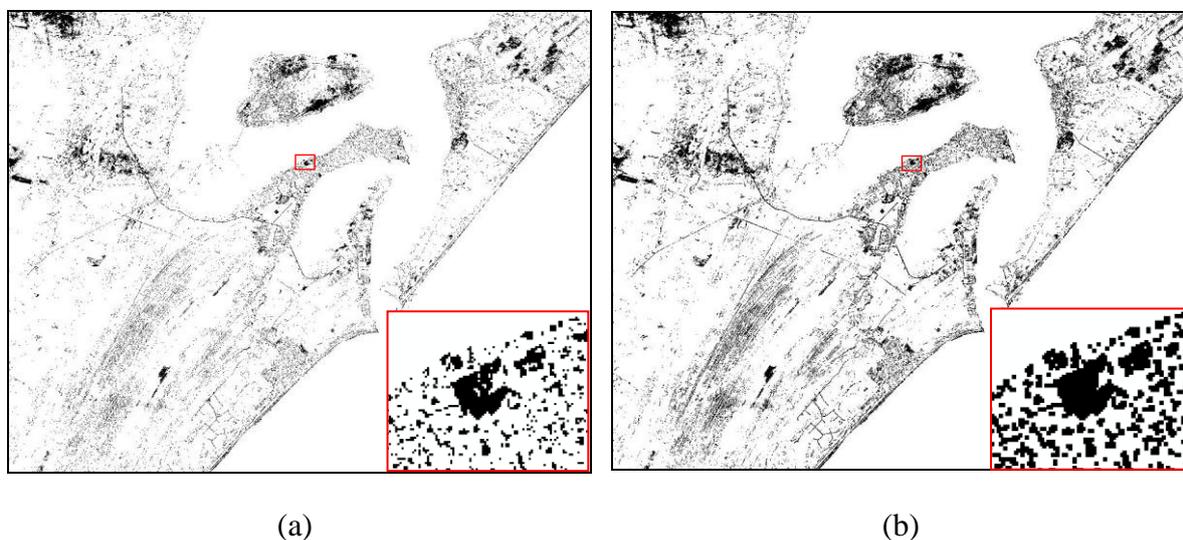


(b)

Figura 2. Representação das regiões de interesse neste estudo para a técnica AVM no sistema de coordenadas esféricas. O setor angular sólido corresponde à região onde se localizam elementos de desmatamento segundo essa representação.

Após a supressão dos pixels fora da área de interesse em Figura 2a, o mapa de mudanças preserva apenas os pixels pretos tomando a forma da Figura 3a.

A estratégia utilizada nesse estudo para otimizar o processo de detecção de novas edificações assume que a detecção pixel a pixel produz muito ruído espacial (*salt and pepper*) no mapa de mudanças. Isso é causado principalmente por desalinhamento espacial (mesmo que pequeno) nas imagens t_1 e t_2 e micro modificações ocorridas no terreno. Neste trabalho, o procedimento adotado pra atenuar esse efeito foi a aplicação de processos sequenciais de filtragem seguindo a seguinte lógica: (1) blocos¹ da imagem que sofreram modificações não precisam necessariamente apresentar pixels conectados no mapa de mudanças; apesar disso, os pixels preservam certa proximidade (correlação espacial) quando representativos de uma mesma modificação estrutural. Assim, a solução apresentada neste trabalho para mitigar esse problema foi a aplicação de um processo de dilatação morfológica binária com janela unitária de 2×2 . Neste processo, os pixels que apresentaram mudanças terão seus vizinhos de primeira ordem também marcados como mudança; O objetivo é preencher os espaços vazios entre pixels tornando os blocos mais uniformes (Figura 3b). (2) com os blocos mais concisos, uma contagem de elementos inseridos em cada bloco foi realizada. Para atenuar um pouco o ruído espacial apresentado pelo mapa, blocos com número total de elementos menor que 20 foram excluídos da análise, reduzindo consideravelmente o aspecto ruidoso do resultado (Figura 3c). (3) operação de erosão morfológica binária com janela unitária de 2×2 . Nesse processo, os blocos remanescentes na imagem têm suas bordas reduzidas por um pixel. O objetivo aqui é recuperar o tamanho inicial do bloco anteriormente ao processo de dilatação realizado na primeira etapa (Figura 3d). Todos os procedimentos listados acima foram executados com o auxílio de funções desenvolvidas em ambiente Matlab.



¹ Entende-se por blocos no mapa de mudanças, aglomerados de pixels que representam uma área que sofreu alterações. Os pixels pertencentes ao bloco não precisam necessariamente estarem totalmente conectados.

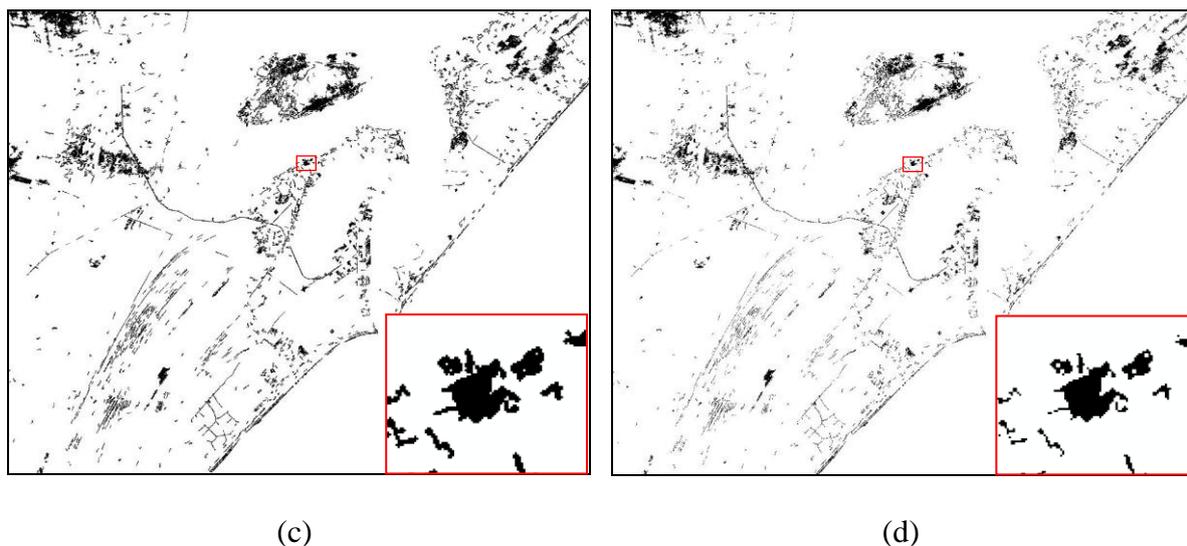


Figura 3. Mapas de mudanças. (a) Mapa de mudanças originado diretamente da seleção do setor circular de interesse no domínio polar; (b) Mapa de mudanças após a filtragem por operador morfológico de dilatação janela unitária 2×2 ; (c) Resultado de (b) com a aplicação do limiar de tamanho dos objetos (objetos com tamanho menor que 20 pixels foram subtraídos); (d) Resultado de (c) após filtragem por operador morfológico de erosão janela unitária 2×2 . Pixels em preto representam zonas que sofreram mudanças. Os detalhes estão representados nos quadros em vermelho.

3. Resultados

O resultado apresentado pela Figura 3d revela as principais alterações sofridas na cidade de Rio Grande entre os anos de 2008 e 2013. A maioria das cidades brasileiras não tem o costume de monitorar/acompanhar a expansão urbana/rural de forma sistemática. Isso gera vários problemas como a expansão desordenada e sem infraestrutura básica. O entendimento de como essa expansão ocorre é uma valiosa ferramenta de gestão e planejamento urbano. Para o exemplo específico da cidade de Rio Grande, vale a pena salientar alguns detalhes extraídos do resultado alcançado pelo mapa final de mudanças da Figura 3d comparados com as imagens multiespectrais das Figuras 1a e 1b. A análise desses resultados foi organizada por meio da Figura 4. É possível verificar (1) a expansão da Fundação Universidade do Rio Grande (FURG), impulsionada pelos programas governamentais de expansão das universidades; (2) a abertura de ruas e criação de loteamentos no balneário Cassino, causado principalmente pelo aumento populacional experimentado durante o período analisado; (3) a instalação de novos empreendimentos navais no distrito industrial (polo naval); (4) a implantação do parque eólico do Cassino e bairros adjacentes; (5) instalação de um *Shopping Center* em subúrbio e sua respectiva repercussão na região periférica.

A visualização dos resultados mostrados na Figura 4 deixa claro que o limiar aplicado ao tamanho dos objetos analisados (apenas maiores que 20 pixels) é fundamental para que se possa realizar uma análise qualitativa facilitada. No entanto, uma eventual contagem do número total de pixels que sofreram alteração e conseqüentemente a área total em m^2 alterada deve levar em consideração as pequenas regiões rejeitadas. Apesar disso, muitas dessas pequenas áreas desconsideradas são fruto de erros no registro e imprecisão na normalização radiométrica das cenas, podendo igualmente conduzir a erros inevitáveis.

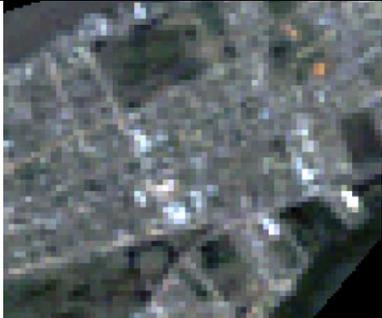
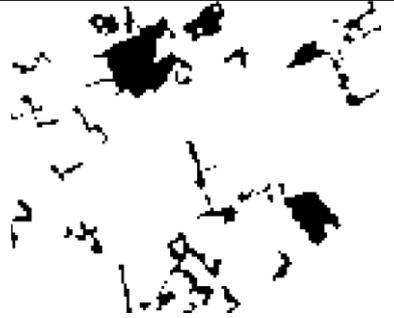
	Imagem t_1 (2008)	Imagem t_2 (2013)	Mapa de Mudanças
1 - Universidade (FRUG)			
2 - Balneário Cassino			
3 - Distrito Industrial			
4 - Parque Eólico			
5 - Zona Shopping Center			

Figura 4. Detalhes de algumas regiões selecionadas para avaliar os resultados da aplicação da metodologia. Em preto, regiões que apresentaram mudanças.

4. Conclusões e Sugestões

Neste trabalho estudou-se a aplicação do método de análise pelo vetor de mudanças (*change vector analysis*) – CVA no domínio polar para áreas urbanas e porções rurais. Neste método, duas imagens de uma mesma região, mas adquiridas em datas distintas são utilizadas para produzir uma imagem de diferenças por subtração pixel a pixel. Exige-se que as imagens estejam registradas espacialmente e corrigidas atmosféricamente. Neste trabalho, adicionalmente, optou-se por realizar um procedimento conhecido como casamento de histogramas para aproximar ainda mais os valores radiométricos das mesmas. Após a subtração, alguns procedimentos de filtragem foram aplicados para melhorar a qualidade do mapa final de mudanças. Esses procedimentos envolveram operadores morfológicos de erosão/dilatação e seleção de objetos por tamanho dos blocos. Os resultados mostraram que a utilização da moderna técnica proposta por Bovolo e Bruzzone (2007) associada com procedimentos de pós-classificação orientados para solucionar problemas específicos encontrados no mapa de mudanças resultante foram satisfatórios. Dada a carência de informação georreferenciada disponível por muitas administrações públicas, a sequência de procedimentos sugeridos neste estudo se apresenta como uma valiosa ferramenta de gestão. As maiores vantagens da aplicação da metodologia proposta são a rapidez e grau de automatização do processo, além do baixo custo associado. É importante ressaltar que o sucesso da aplicação da metodologia para imagens de média resolução espacial não significa que o mesmo resultado será alcançado com imagens de alta resolução espacial ou fotografias aéreas, dado que o aumento no grau de detalhamento dos alvos pode aumentar o problema relacionado ao ruído espacial, tornando-o difícil de ser contornado através do conjunto de procedimentos propostos nesse trabalho.

Referências Bibliográficas

Bovolo, F.; Bruzzone, L. A theoretical framework for unsupervised change detection based on change vector analysis in the polar domain, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.45, n 1, p. 218 – 236, 2007.

Bruzzone, L.; Prieto, D.F. Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38 n. 3, pp. 1171-1182, 2000.

Malila, W. A. Change vector analysis: An approach for detecting forest changes with Landsat, In: LARS Symposia, 1980, West Lafayette, Indiana, USA. *Proceedings...* West Lafayette: IEEE, 1980. p. 326–336.

Zanotta, D. C.; Haertel, V. Gradual land cover change detection based on multitemporal fraction images. **Pattern Recognition**, v. 45, p. 2927-2937, 2012.