

Detecção de alterações em Áreas de Preservação Permanentes de reservatórios de UHE: primeiros experimentos na automatização do processo

Nilton Nobuhiro Imai¹
Carlos Rodrigo Tanajura Caldeira²
Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo¹
Maurício Galo¹
Júlio Kiyoshi Hasegawa¹
Amilton Amorim¹
Eng. Cart. MSc Marcelo Solfa Pinto³

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente, SP
¹ Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
² Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
caldeiract@gmail.com, {nnimai, mlourdes, galo, hasegawa, amorim}@fct.unesp.br

³ Duke Energy Brasil
Gerência de Patrimônio
Rodovia Chavantes / Ribeirão Claro, Chavantes, SP
marcelo.pinto@duke-energy.com

Abstract. Hydroelectric dealers have as one of the main mandatory tasks to ensure the maintenance of both shores of the reservoirs due to legislation as well as due to the need to minimize erosion processes which is responsible for the shortened of reservoirs life. In this sense, Duke Energy is developing a research project which aims to have an computer system to produce, automatically, change detection information based on remote sensing images. This work presents the results of the evaluation of an algorithm modified from RCEN technique (Radiometric Rotation Controlled by Non-change Axis). This algorithm has many characteristics to be adopted in an automatic change detection system, as the approach is able to deal with multispectral images from several remote sensing systems which have different spatial and radiometric resolution. The evaluation was applied on a World View-2, 2013 February 21 and a SPOT-6, 2013 September 11, images. The results showed that the algorithm had a good performance, so that seasonal changes were partially smoothed; the main changes related to new buildings and also buildings that were removed had been enhanced and the seasonal changes of the vegetation coverage were enhanced, mostly in near infrared spectral band. The obtained performance recommends the algorithm for the automatic change detection purpose.

Palavras-chave: automatic change detection, automatic radiometric normalization, multisensor images, detecção automática de alterações, normalização radiométrica automática, imagens multissensor.

1. Introdução

Concessionárias de UHEs têm por obrigação garantir a manutenção das margens dos reservatórios tanto devido à legislação quanto devido à necessidade de minimizar processos erosivos responsáveis pela diminuição da vida útil dos reservatórios.

Nesse sentido, em respeito ao seu dever de fiscalizar as áreas sob sua concessão, a Duke Energy, através de sua Gerência de Patrimônio, verificou a possibilidade de utilizar imagens de satélite para detectar alterações nas áreas marginais aos reservatórios e utilizar essa informação para otimizar seu processo de fiscalização.

A premissa básica da utilização de dados de Sensoriamento Remoto na detecção de alterações é que as mudanças nos objetos de interesse resultam em variações nos valores de reflectância ou na textura local, mas essas podem ser separadas de mudanças causadas por

outros fatores, como diferenças nas condições atmosféricas, iluminação, ângulo de visada e umidade do solo (DEER, 1995). Considerando que a detecção de alterações é afetada por restrições espaciais, espectrais, temáticas e temporais, identificar um método ou algoritmo capaz de detectar de modo eficiente as alterações de interesse é determinante no sucesso de um projeto de pesquisa, mas essa não é uma tarefa fácil.

A necessidade de compatibilizar espacial e radiometricamente imagens multitemporais é um requisito fundamental para uma efetiva detecção de alterações na paisagem, uma vez que é necessário comparar cenas tomadas em condições diferentes. Quanto ao aspecto radiométrico, Song et al. (2001) questionam a necessidade de realizar a correção atmosférica rigorosa em cada uma das cenas multitemporais em situações de generalização da informação ou comparação dos resultados. El Hajj et al. (2008) afirmam que, uma vez que as imagens multitemporais são frequentemente adquiridas por diferentes sensores sob variadas condições atmosféricas e ângulos de iluminação e de visada, uma normalização radiométrica é necessária, seja por meios absolutos ou relativos, para remover as distorções e tornar as imagens comparáveis.

Para comparar imagens multissensor tomadas em duas datas diferentes, Maldonato et al. (2007) apresentam uma técnica baseada em uma rotação controlada dos eixos ortogonais do espaço de atributos radiométricos das imagens (mesma banda espectral em diferentes datas), em relação ao eixo formado a partir de pontos de não-mudança. Essa técnica, denominada rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança (RCEN) é bastante flexível e dispensa a correção dos efeitos atmosféricos ou de diferenças entre os sensores (ARASATO et al., 2011).

Essa maior flexibilidade é importante quando se coloca a necessidade de automação no processo de detecção de alterações. Apesar da disponibilidade de imagens multiespectrais de alta resolução espacial, seu custo pode inviabilizar o uso no monitoramento de alterações de áreas marginais dos reservatórios de UHEs. Desta forma, o uso combinado de imagens de Sensoriamento Remoto de alta e média resolução, mesmo considerando as limitações inerentes às imagens de média resolução, pode constituir uma abordagem de maior interesse para esse tipo de monitoramento.

Por conveniência, conforme relatam Lu et al. (2004), os métodos de detecção de mudança podem ser agrupados em sete categorias, baseados em: álgebra, transformações, classificação, modelos avançados, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), análise visual e outras abordagens. Entretanto, os processos de detecção de mudanças geralmente envolvem a atividade intensiva de um analista preparado para esse tipo de tarefa. Esse tipo de atividade poderia ser minimizado com a adoção de um sistema computacional projetado para realizar a maioria dos processamentos automaticamente.

Nesse contexto, com o objetivo de contribuir para a especificação de algoritmos adequados para uma abordagem automática de detecção de alterações, este trabalho apresenta um algoritmo modificado do RCEN (MALDONADO et al., 2007; ARASATO et al., 2011), cuja avaliação dos resultados indicará a possibilidade de incorporá-lo na especificação do sistema computacional de detecção automática de mudanças.

2. Materiais e Métodos

As imagens adotadas nesse trabalho são do SPOT-6 com GSD (*Ground Spatial Dimension*) igual a 6 m e do WorldView-2 (GSD de 2 m), sendo a cena tomada em 11/09/2013 pelo sistema SPOT-6 e a segunda, uma imagem WorldView-2 de 21/04/2013. A partir das imagens originais, foi recortada uma área teste comum a ambas, as quais são mostradas na Figura 1, na forma de composições coloridas falsa-cor das imagens de cada uma das datas. Nesta primeira avaliação do algoritmo proposto procurou-se verificar a

possibilidade de detectar as alterações que ocorreram ao longo de um mesmo ano, por isso as cenas são de estações do ano distintas. Espera-se que alterações decorrentes de mudanças sazonais também sejam realçadas devido à grande sensibilidade das bandas espectrais adotadas à mudança da resposta espectral da cobertura vegetal.

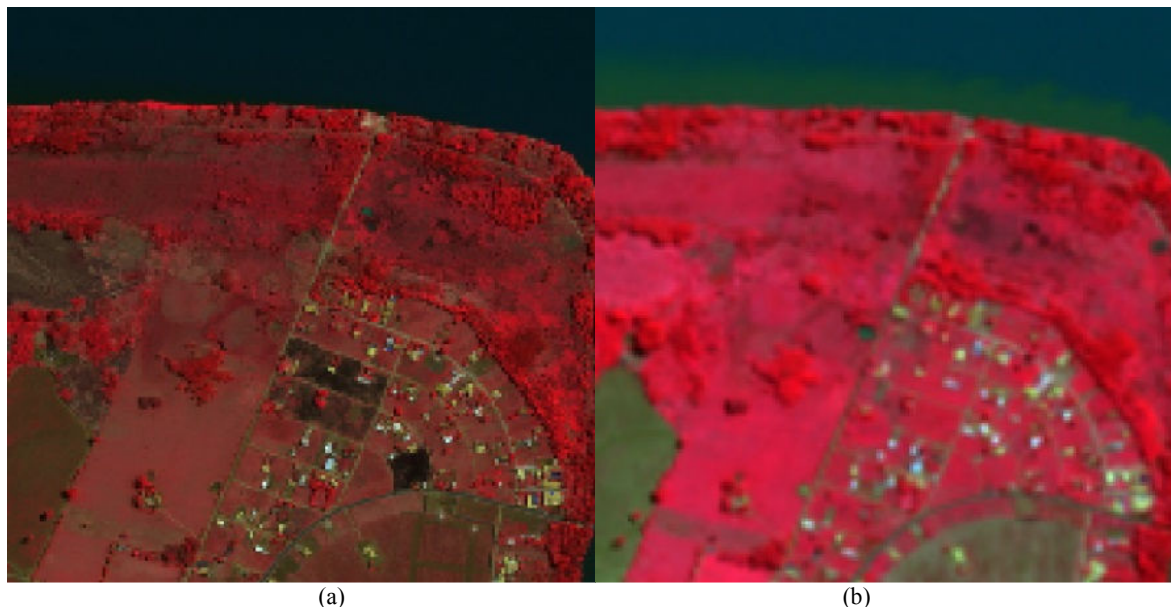


Figura 1 - Recorte da área de estudo, na forma de composições coloridas falsa-cor (bandas do IVP, Vermelho e Verde associados ao R, G e B, respectivamente): (a) Wordview-2 de 11/09/2013 (data 2), reamostrada para GSD de 6 m, e (b) Spot-6 de 21/04/2013 (data 1).

Alterações no tipo de cobertura da terra, catalogadas como intervenções e registradas pela empresa Duke Energy, constituem os alvos que devem ser detectados pela aplicação do algoritmo nos pares de cena envolvidos.

Os pares de cenas, referentes às bandas correspondentes nas duas datas, foram inicialmente co-registradas geometricamente para serem submetidas ao processamento de análise de alterações. A cena de alta resolução de 2 m de GSD foi reamostrada para compatibilizá-la à cena Spot-6 de média resolução espacial, de modo que ambas ficaram com GSD de 6 m.

O algoritmo de detecção de mudanças adotado baseia-se na transformação de rotação em torno de um eixo, que representa a relação entre a resposta espectral de pixels de duas datas, que não sofreram alteração (a exemplo da implementação de Madonato et al., 2007), com base nas seguintes premissas:

- Maioria dos pixels de duas imagens numa banda espectral de uma única região não se altera num curto período de tempo, principalmente em regiões monitoradas;
- Forma um ângulo θ que indica posição relativa de não-mudança;
- Bandas espectrais adequadas devem ser escolhidas de acordo com o alvo de interesse;
- Garante compatibilidade radiométrica entre as bandas envolvidas;
- Robusto para comparações entre dados de diferentes sensores.

O ângulo de rotação é obtido pela aplicação de uma regressão linear nos valores de ND de bandas espectrais quase correspondentes (no caso de sensores diferentes), sendo que pequenas variações decorrentes de variações de largura de banda ou da sensibilidade podem ser assimiladas por essa abordagem. Para que a reta obtida pela regressão linear passe pela origem e não hajam valores de coordenadas negativos, são aplicadas translações em um ou em ambos os eixos, conforme a distribuição dos valores de ND das imagens das duas datas. Finalmente, aplica-se a Equação 1 que projeta os valores de ND de cada data sobre o eixo de

não mudança. Caso os valores de NDs das duas datas estiverem sobre a reta, produzirão diferença igual a zero.

$$I_{intermediária} = |(\cos \theta)^{-1} * I_{data1} - (\sin \theta)^{-1} * I_{data2}| \quad (1)$$

sendo: $I_{intermediária}$ a imagem transformada; I_{data1} e I_{data2} os valores de ND das imagens de cada uma das datas. A operação produz a rotação dos eixos ortogonais do espaço bidimensional dos valores radiométricos das imagens, na mesma banda espectral nas duas datas. O resultado dessa operação produz a imagem intermediária, de acordo com o esquema representado na Figura 2.

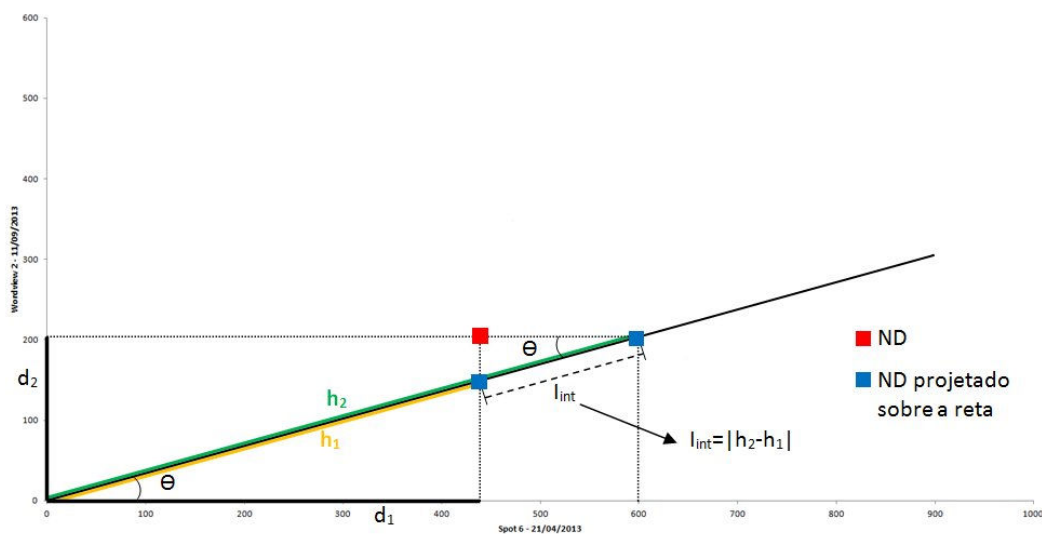


Figura 2 – Representação gráfica da linha de não-mudança e do valor de $I_{intermediária}$.

Com base nos valores intermediários calculados para cada banda espectral é calculado o valor que deve indicar possíveis alterações (2).

$$I_{detec} = I_{inter11} + I_{inter12} \quad (2)$$

sendo I_{detec} a imagem da detecção de alterações; $I_{inter11}$ e $I_{inter12}$ as imagens transformadas nas bandas l_1 e l_2 .

Aplicou-se o algoritmo em cada par de cenas e realizou-se uma avaliação da qualidade dos resultados com base no conhecimento prévio a respeito das alterações ocorridas, bem como na análise visual das cenas. Para realizar essas operações, utilizou-se o *software* Matlab e uma planilha de cálculo.

3. Resultados e Discussões

Na Figura 1 é apresentada a imagem WorldView-2 reamostrada para a resolução espacial compatível com a imagem de média resolução espacial. Devido a indisponibilidade da MTF da imagem multiespectral SPOT-6, a imagem reamostrada não foi submetida a uma filtragem passa-baixa para torná-la equivalente em termos de suavização. Entretanto, não se espera prejuízo na aplicação do algoritmo, pois a resposta espectral não sofre alterações elevadas devido ao maior borramento da imagem de média resolução. As maiores alterações da resposta espectral devem estar relacionadas com a variação dessa resposta espectral em virtude da variação temporal da cobertura vegetal.

O espalhamento dos valores correspondentes aos NDs de cada pixel para as duas datas e sensores distintos, mas na mesma banda espectral, estão apresentados nos diagramas de dispersão da Figura 3. Nessa figura, no eixo das abcissas foram plotados os NDs extraídos da cena Spot-6, de 21/04/2013, enquanto que no eixo das ordenadas estão os NDs extraídos da imagem WorldView-2, adquirida em 11/09/2013.

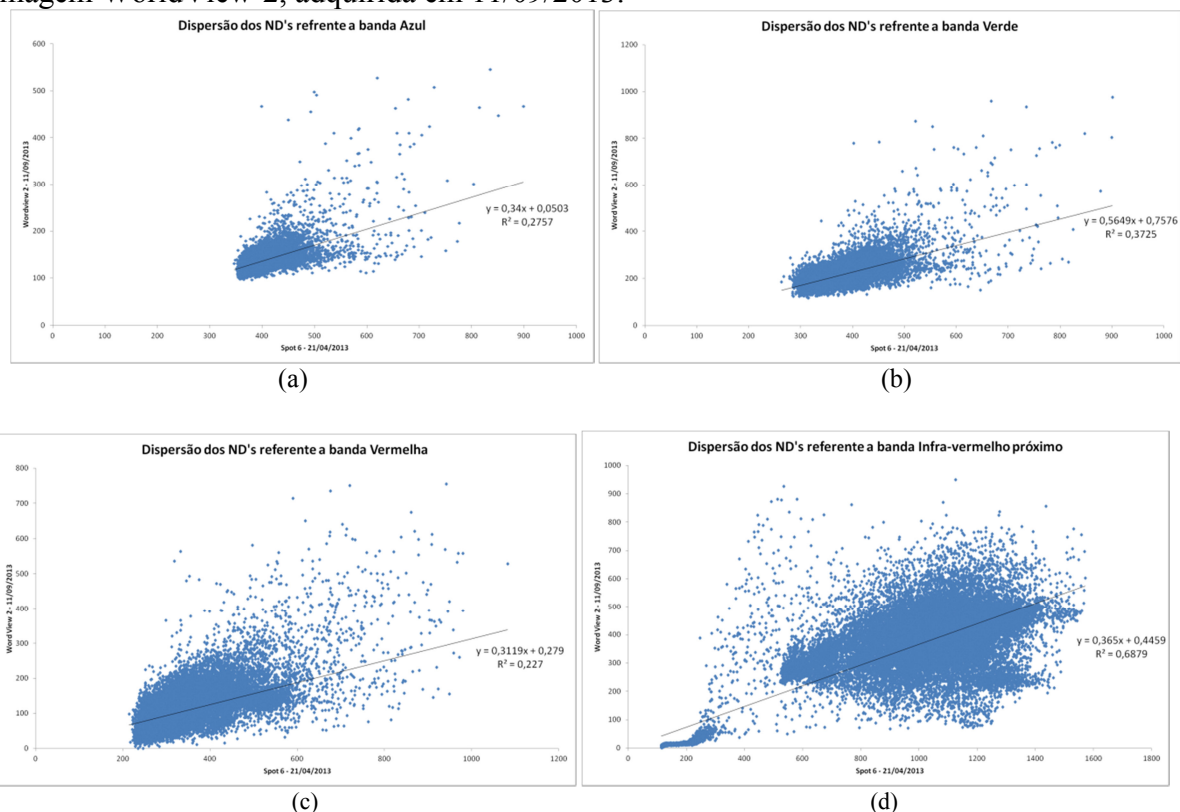


Figura 3: Gráficos da dispersão dos ND's referentes a cada par de datas de aquisição das imagens para as bandas espectrais do: (a) Azul, (b) Verde, (c) Vermelho e (d) Infravermelho próximo.

Pode-se notar que a dispersão de pixels em torno do eixo de não mudança é bastante acentuada em todas as bandas espectrais, com maior grau de dispersão na banda do infravermelho próximo, pelo fato das alterações sazonais que ocorrem na área teste estarem relacionadas à cobertura vegetal que, por sua vez, é mais sensível às diferentes estações do ano.

Nas cenas mostradas na Figura 4 são apresentadas as imagens intermediárias resultantes da aplicação da Equação 1 a cada uma das bandas espectrais. Como as mudanças detectadas em cada banda estão relacionadas com a resposta espectral dos alvos no intervalo de comprimento de onda da banda em questão, o grau de realce da alteração está condicionado ao comportamento espectral do alvo no intervalo, como é o caso de áreas queimadas e outras feições que caracterizam a cobertura vegetal que são claramente definidas na banda do infravermelho próximo e que devem aparecer na imagem intermediária dessa banda.

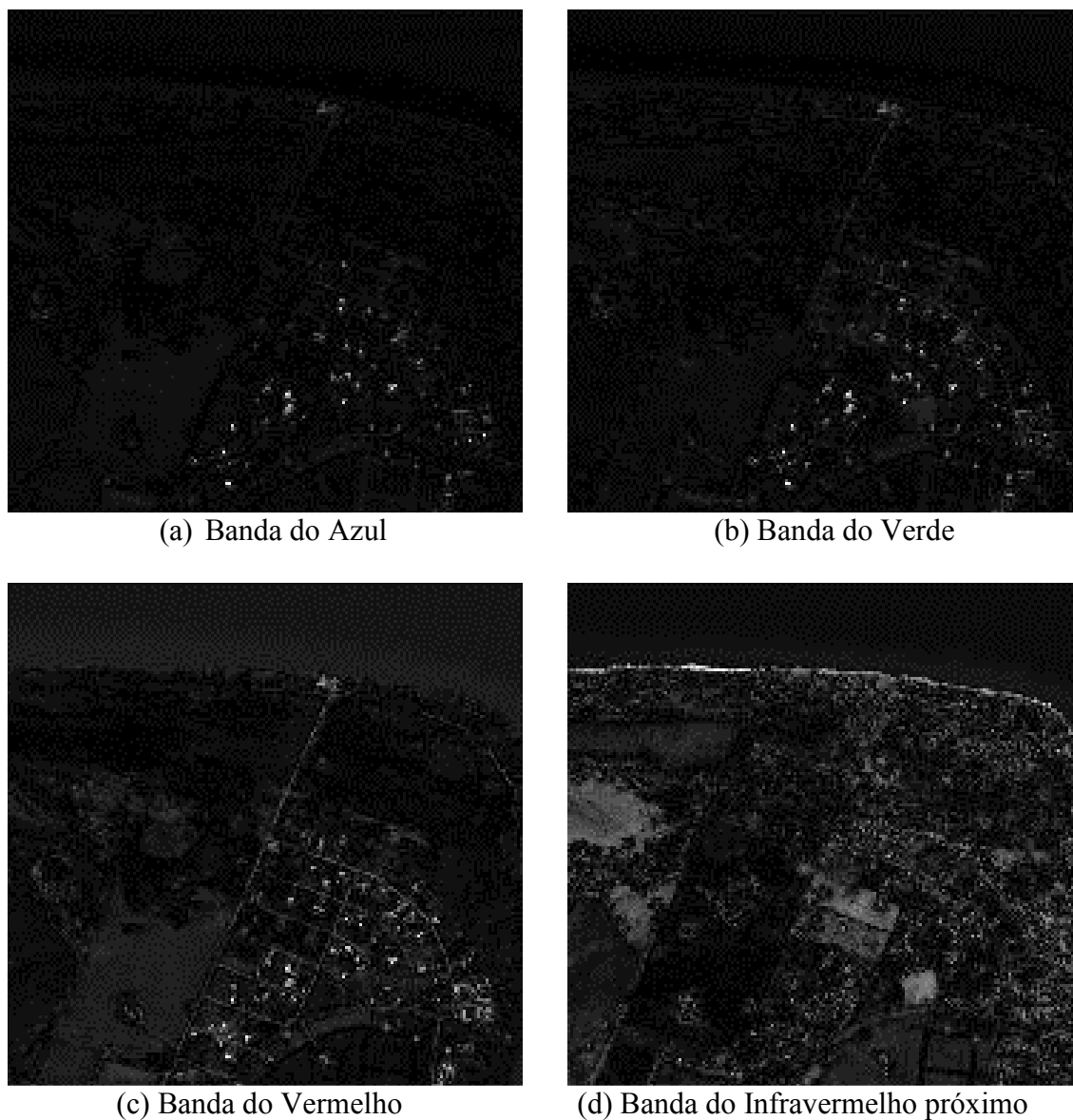


Figura 4: Imagens intermediárias resultantes da aplicação da Equação 1 às imagens multissensor nas bandas espectrais do: (a) Azul; (b) Verde; (c) Vermelho e (d) Infravermelho próximo.

Na Figura 5 apresenta-se o resultado da imagem final da detecção, resultante da soma das imagens intermediárias das bandas mostradas na Figura 4.

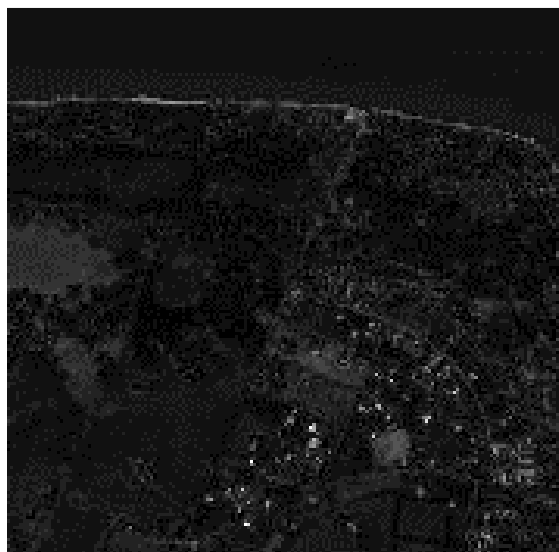


Figura 5: Imagem final da detecção.

A soma das imagens intermediárias das bandas pode destacar com maior ou menor grau as mudanças de acordo com o efeito temporal sobre as respostas espectrais dos alvos. Assim sendo, na Figura 5 são destacadas em tons mais claros as alterações mais importantes da área teste, independente de seu significado espectral.

As alterações sazonais da cobertura vegetal foram parcialmente absorvidas pelo algoritmo pois a área avaliada é constituída, em sua maioria, por cobertura vegetal. Assim, as variações menos acentuadas não são realçadas.

4. Conclusões

Pode-se concluir que esse algoritmo produz informação adequada para análise automática de detecção de alterações. A imagem de detecção final apresenta o realce combinado daquelas obtidas por cada imagem de detecção produzida pela combinação das imagens de cada uma das datas numa mesma banda espectral. Esse resultado mostra que o algoritmo foi robusto para o caso de imagens de períodos sazonais distintos.

É importante lembrar que o algoritmo não realçou pequenas mudanças sazonais da cobertura vegetal, credenciando-o para análise de detecção de cenas de diferentes períodos sazonais, onde somente pequenas áreas tenham sido alteradas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Duke Energy Brasil.

Referências Bibliográficas

ARASATO, L. S.; SANTOS, J. R.; MALDONATO, F. D.; AMARAL, S.; RENNÓ, C. D. Detecção de mudança da paisagem a partir de análise multissensor e multitemporal em associação com variáveis geomorfológicas no domínio da Floresta Atlântica. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 4, p. 475-486. 2012.

DEER, P. J. Digital **change detection techniques: civilian and military applications**. International Symposium on Spectral Sensing Research, 1995. Report (Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Center), <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/digitalc.htm>

EL HAJJ, M.; BÉGUÉ, A.; LAFRANCE, B.; HAGOLLE, O.; DEDIEU, G.; RUMEAU, M. Relative Radiometric Normalization and Atmospheric Correction of a SPOT 5 Time Series, **Sensors**, n.8, pp. 2774-2791, 2008.

LU, D.; MAUSEL P.; BRONDZIO E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, 25: 12, 2365-2401, 2004.

MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; GRAÇA, P. M. L. Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape. **International Journal of Remote Sensing**, v .28, n.8, p.1001-1016, 2007.

SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; LENNEY, M. P., MACOMBER, S. A. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? **Remote Sensing of Environment**, v.75, pp. 230-244. 2001.