

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N° 66/1, p. 105-113
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO ESPECTRAL E GEOMÉTRICA DAS IMAGENS RAPIDEYE E SEU POTENCIAL PARA O MAPEAMENTO E MONITORAMENTO AGRÍCOLA E AMBIENTAL

*Spectral and geometric evaluation of RapidEye images and its potential for
agricultural and environmental mapping and monitoring*

**Mauro Antonio Homem Antunes¹, Paula Debiasi¹,
Jéssica Caroline dos Santos Siqueira¹**

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia
BR 465, km 7, CEP: 23.897-000 – Seropédica – RJ, Brasil
{mauroantunes, paula, jcassiqueira}@ufrj.br

Recebido em 30 de Março, 2013/ Aceito em 15 de Agosto, 2013
Received on March 30, 2013/ Accepted on August 15, 2013

RESUMO

A acurácia geométrica e as resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal são aspectos importantes para a seleção de imagens para o monitoramento agrícola e ambiental. O objetivo deste trabalho é avaliar a acurácia geométrica e as características de resolução das imagens RapidEye (nível de processamento 3A). Foram utilizadas imagens de três épocas distintas. Estas imagens foram corrigidas dos efeitos da atmosfera e armazenadas em 16-bit, sendo a reflectância de superfície escalonada de 0 a 10.000. A geometria das imagens ortorretificadas foi avaliada a partir de oito pontos extraídos de um ortofotomosaico. As imagens foram também registradas com polinômio de primeiro grau utilizando dez pontos extraídos deste ortofotomosaico para se obter amostras homólogas nas três imagens. Para a caracterização espectral da reflectância de superfície foram selecionados quatro pixels de áreas de plantação de eucalipto, pasto cultivado, solo exposto e água de cavas de extração de areia e foz de rio. Os resultados mostraram que a média posicional dos erros foi de 3,66 m e 10,07 m nas coordenadas E e N, respectivamente, compatível com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A na escala 1:20.000. A reflectância de superfície dos alvos selecionados se apresentou de acordo com as encontradas na literatura. Conclui-se que as imagens do satélite RapidEye são adequadas para o monitoramento de áreas agrícolas, pastagens, áreas florestais e para o monitoramento ambiental em geral. A resolução radiométrica de 12-bit é interessante para estas aplicações pela possibilidade de representar uma grande variedade de radiâncias da superfície.

Palavras chaves: Reflectância de Superfície, Monitoramento Ambiental, Acurácia Geométrica, Correção Atmosférica.

ABSTRACT

Image geometric accuracy and spatial, spectral, radiometric and temporal resolutions are important aspects for selecting satellite imagery for agricultural and environmental monitoring. The objective of this paper is to evaluate the geometrical and resolution characteristics of RapidEye images (processing level: 3A). Three images were used in this study. These images were corrected for the atmospheric effects and stored in 16-bit radiometric resolution, where the surface reflectance was determined and rescaled from 0 to 10,000. Eight points extracted from the orthophoto mosaic

were used to evaluate the geometric characteristics of the orthorectified images. Ten points extracted from these ortho-photo mosaics were used to register the images using first-degree equations, in order to obtain homologous samples of pixels. Four pixels from Eucalyptus plantation, cultivated pasture, bare soil and water from a sand extraction pit and a river mouth were used to characterize spectrally the surface reflectance derived from the RapidEye images. Results showed that average positional errors were 3.66 m and 10.07 m respectively for E and N coordinates, compliant with Cartographic Accuracy Standards (PEC) of class A at the scale of 1:20,000. Surface reflectance of the selected targets were consistent with the typical reflectance curves available in the literature. It is concluded that the RapidEye images are suitable for monitoring agricultural areas, pastures, forested areas and for environmental monitoring in general. The 12-bit quantization is interesting for these applications as it can represent a large variety of radiances coming from the surface.

Keywords: Surface Reflectance, Environmental Monitoring, Geometric Accuracy, Atmospheric Correction.

1. INTRODUÇÃO

As imagens obtidas por sensores remotos têm sido amplamente utilizadas em diversas áreas de estudo, como na atualização da cartografia, avaliação de cobertura vegetal, estudos em áreas urbanas e monitoramento de áreas agrícolas e do meio ambiente. As características de resolução dos sensores remotos são determinantes para que se tenha a capacidade de extrair informações da superfície. A resolução espacial juntamente com a acurácia geométrica das imagens determina a escala de trabalho para a produção de mapas a partir da interpretação das imagens. A resolução temporal determina a possibilidade de monitoramento da superfície e de análise de séries temporais de dados. Para a maioria das culturas agrícolas de verão, esta resolução é de grande importância, visto que esta é a época em que a cobertura de nuvens é muito grande em regiões tropicais. A resolução espectral do sensor com bandas posicionadas em faixas do espectro de importância para o monitoramento agrícola e ambiental é essencial para a obtenção de informações da superfície. A resolução radiométrica do sistema sensor é também um recurso de grande importância, pois permite a distribuição de uma gama de valores de radiância que chega ao sensor em uma faixa de níveis de cinza maior.

Além das características de resolução do sensor, a calibração é essencial para permitir a transformação dos níveis de cinza gravados em grandezas físicas que podem ser utilizadas para obter informações da superfície. A reflectância é uma grandeza física de interesse e é definida pela razão entre a energia refletida por um objeto pela energia incidente sobre o mesmo alvo. A reflectância obtida no nível do sensor é

denominada reflectância aparente ou planetária, mas contém interferências da atmosfera. A situação ideal é a remoção dos efeitos da atmosfera com a determinação da reflectância da superfície através da correção atmosférica (KAUFMAN, 1985; MORAN *et al.*, 1992; ANTUNES *et al.*, 2012a). Mesmo quando se utiliza transformações espectrais como os índices de vegetação, é essencial que se faça a correção atmosférica, pois os efeitos atmosféricos afetam diferentemente as bandas espectrais utilizadas nestes índices (MYNENI e ASRAR, 1994; ANTUNES *et al.*, 2012b).

A correção atmosférica pode ser aplicada através de métodos empíricos e modelos de transferência radiativa. O modelo empírico mais utilizado é o desenvolvido por Chavez (1988), que se baseia no pixel mais escuro da imagem. A correção atmosférica através de modelos de transferência radiativa consiste na solução da equação da transferência radiativa para a situação da atmosfera em que a imagem foi obtida. Estes utilizam as características da atmosfera para obter o fluxo de radiação solar que chega à superfície, bem como o que sai da superfície, com base na radiância obtida através do sensor. Os métodos que utilizam os modelos de transferência radiativa são os mais adequados para correção atmosférica (MORAN *et al.*, 1992).

O modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) foi originalmente desenvolvido para a simulação de radiância no nível de satélite (VERMONTE *et al.*, 1997) e foi adaptado para a correção atmosférica de imagens (ANTUNES *et al.*, 2012a).

Em algumas aplicações de mapeamento

e monitoramento agrícola e ambiental, as imagens obtidas por sensores remotos necessitam de correção geométrica. O processo de ortorretificação requer o uso de um modelo matemático, um conjunto de pontos de apoio e um Modelo Digital de Elevação (MDE). O levantamento de pontos de apoio, além de apresentar alto custo, pode ser impraticável pela dificuldade de acesso a algumas áreas ou pela inexistência de pontos fotoidentificáveis.

As imagens do satélite RapidEye apresentam a vantagem de fornecer informação multiespectral em um pequeno intervalo de tempo devido a constelação de cinco satélites em mesma órbita. Além disso, a configuração do sensor viabiliza que os parâmetros de atitude sejam determinados com alta precisão, possibilitando a geração de ortoimagens sem a necessidade de pontos de apoio do terreno (CHENG e SUSTERA, 2009).

Imagens RapidEye têm sido adquiridas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) para todo o país com vistas à sua utilização para o Cadastro Ambiental Rural - CAR (MMA, 2013). No entanto, para a efetiva utilização destas imagens é necessária uma avaliação não só das características posicionais, mas também das características espectrais do sensor.

O objetivo deste trabalho é analisar as características das ortoimagens do satélite RapidEye em nível 3A de processamento para o mapeamento e monitoramento da superfície. Ortoimagens do município de Seropédica - RJ de três épocas distintas foram analisadas quanto às suas características espectrais e posicionais.

2. SISTEMA SENSOR DO RAPIDEYE

O RapidEye é um sistema composto por cinco satélites de Sensoriamento Remoto idênticos e em mesma órbita. A faixa da abrangência de coleta de imagens é de 77 km de largura e 1500 km de extensão (RAPIDEYE, 2012). A Tabela 1 e a Fig. 1 mostram as características do satélite e do sensor, bem como as funções de filtro que caracterizam a resolução espectral.

O sensor multiespectral possui cinco bandas espectrais, sendo este o primeiro satélite comercial a prover informação espectral na banda da borda do vermelho (*red edge* entre

690 e 730nm), considerada adequada para análises e monitoramento de vegetação. Esta particularidade, em conjunto com a alta resolução espacial e temporal do sensor, impulsiona a sua aplicação no monitoramento de áreas de cultivo agrícola (CHENG e SUSTERA, 2009; JUPOVA *et al.*, 2009).

3. METODOLOGIA

Três imagens RapidEye em nível 3A de processamento (Tabela 2), ortorretificadas sem pontos de apoio, referentes ao município de Seropédica - RJ, foram utilizadas neste trabalho. Estas imagens configuram episódios temporais diferentes, o que possibilita uma análise das variações na resposta espectral de componentes de cena. A Fig. 2 mostra a localização da área de estudo.

Nas imagens RapidEye, a quantização é realizada em números digitais de 12-bit, que no entanto são gravados em arquivos de 16-bit para serem disponibilizadas para os usuários. Estas imagens são fornecidas com a calibração do sensor aplicada e representam a radiância ao nível de satélite em unidades de $W/m^2/sr/\mu m$ multiplicados por 100 (RAPIDEYE, 2012). As imagens foram transformadas para o formato RAW através do SPRING 5.2.1 (CÂMARA *et al.*, 1996) para serem corrigidas para os efeitos da atmosfera.

O modelo 6S foi adaptado para a correção atmosférica de imagens em 16-bit e com as funções de resposta normalizada do sensor RapidEye (Fig. 1). Os parâmetros utilizados nas correções atmosféricas são mostrados na Tabela 2. A reflectância da superfície obtida entre valores de 0 a 1 foi multiplicada por 10.000 e armazenada em imagens de 16-bit a fim de se aproveitar melhor a capacidade radiométrica do sensor, que utiliza 12-bit de quantização.

As imagens corrigidas para a atmosfera no formato RAW foram importadas para o SPRING 5.2.1 e posteriormente exportadas para o formato TIFF afim de serem georreferenciadas no *software* PCI Geomatica 9.0. Este georreferenciamento teve por objetivo registrar as imagens das três datas para que as amostras de alvos específicos sejam da mesma área da superfície. Foi utilizado um modelo de correção polinomial linear com dez pontos de apoio utilizando a projeção

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DOS SENSORES DOS SATÉLITES RAPIDEYE

Características	Informações
Número de satélites	5
Órbita	Heliossíncrona a 630 km de altitude
Passagem pelo Equador	+/- 11:00 h em hora local
Tipo do sensor	Imageador multiespectral <i>pushbroom</i>
Bandas espectrais	Azul, verde, vermelho, <i>red edge</i> , IVP*
Espaçamento de pixel	6,5 m no nadir
Tamanho do pixel (ortorretificada)	5,0 m
Tamanho da imagem	Aproximadamente 77 km de largura com comprimento entre 50 e 300 km, 462 MB/25 km ao longo da órbita para 5 bandas
Expectativa de tempo de vida do satélite	7 anos
Tempo de revisita	Diariamente fora do nadir 5,5 dias (no nadir)
Datum Horizontal	WGS84
Bits de quantização	12-bit

Fonte: Adaptado de RapidEye (2012).

*Infravermelho próximo.

Universal Transversa de Mercator (UTM) e sistema de referência *World Geodetic System 84* (WGS84). Os pontos de apoio foram obtidos em um ortofotomosaico produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com resolução espacial de 1 metro, produzidos a partir de fotografias aéreas na escala 1:30.000. A Tabela 3 mostra os resíduos médios do georreferenciamento. As imagens georreferenciadas foram importadas no SPRING 5.2.1 para a análise e as transformações em índices de vegetação.

As imagens de reflectância de superfície

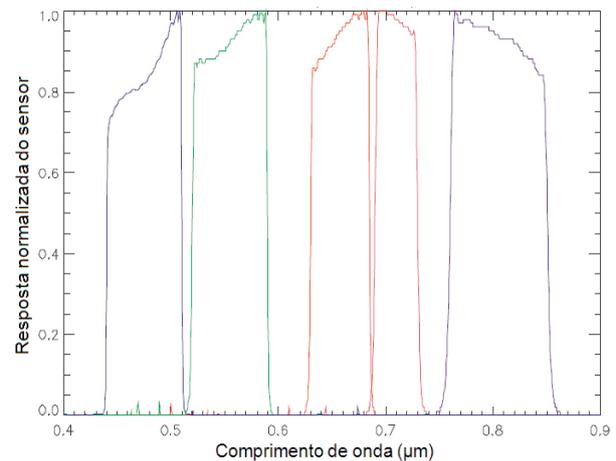


Fig. 1 - Resposta normalizada do sensor RapidEye. Fonte: Adaptado de RapidEye (2012).

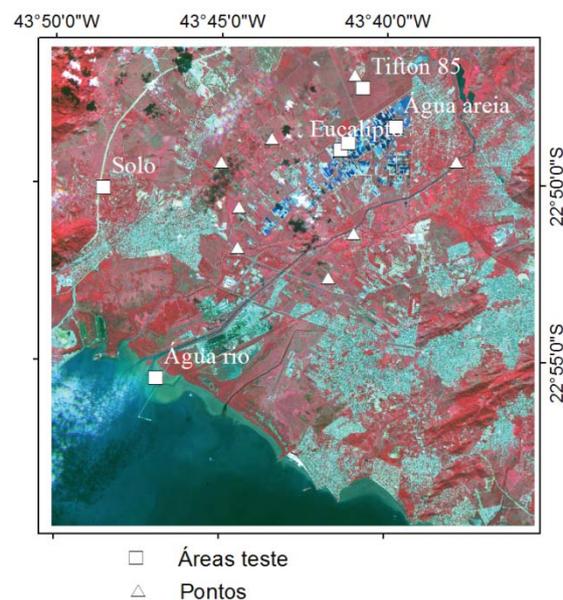


Fig. 2 - Imagem RapidEye da área de estudo com composição RGB532 de 02/10/2011 e componentes da cena (símbolos) selecionados para análise.

foram armazenadas em valores reais de 16-bit e utilizadas para o cálculo do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e do *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Foram utilizadas seis áreas conhecidas da cena, sendo duas em área de plantio de eucalipto, uma de plantio de forrageira Tifton 85, duas de água e uma de solo exposto em local de obra de rodovia (pontos sinalizados por quadrados na Fig. 2). Foram coletados quatro pixels em cada área selecionada e seus valores transformados em reflectância da superfície (em porcentagem).

A verificação da qualidade geométrica das

TABELA 2: PARÂMETROS DE ENTRADA USADOS NO MODELO 6S

Data	02/10/11	22/03/12	21/05/12
Horário UTC decimal	14,24	14,07	14,10
Modelo dos gases	Tropical		
Modelo de aerossóis	Continental		
Longitude do centro da cena	-43,71°		
Latitude do centro da cena	-22,89°		
Altitude média	50 m		
Distância Sol-Terra (UA)*	1,00	0,99	1,01
Ângulo zenital solar	15,50°	20,74°	31,45°
Ângulo de visada	-19,92°	3,36°	6,75°
Visibilidade	15 km	18 km	19 km

* Unidades Astronômicas.

TABELA 3:RAIZ DO RESÍDUO MÉDIO QUADRÁTICO (RMS) OBTIDOS NO GEORREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS. MÉDIA DE 10 PONTOS

Data	RMS (m)		Plani-métrico
	E	N	
02/10/11	0,35	0,19	0,39
22/03/12	0,37	0,23	0,43
21/05/12	0,32	0,33	0,46

imagens ortorretificadas sem pontos de apoio foi realizada utilizando oito pontos obtidos no ortofotomosaico com resolução de 1 m (pontos sinalizados por triângulos na Fig. 2). Para esta análise, foram calculadas as médias dos erros em E e N, a raiz do erro médio quadrático - RMSE e o vetor erro médio para cada imagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação geométrica das imagens RapidEye gerou os resultados mostrados na Tabela 4. Considerando os valores médios de erro médio e desvio padrão, as imagens ortorretificadas pela empresa fornecedora são compatíveis com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A na escala 1:20.000 (CINTRA e NERO, 2001). Esse resultado foi obtido para a área plana onde foram obtidos os pontos. No entanto, esta avaliação, para uma área com terreno acidentado, pode apresentar resultados divergentes daqueles encontrados neste trabalho. Deste modo, observa-se que as imagens do RapidEye têm uma qualidade geométrica em termos posicionais compatível para o mapeamento da superfície. A utilização de pontos obtidos em campo ou em ortofotos com maior resolução espacial possibilitaria uma melhor avaliação do produto. Contudo, verifica-se que para aplicações de análise ambiental e mapeamento agrícola, a acurácia encontrada neste trabalho é satisfatória.

As Fig. 3 a 8 mostram os valores de reflectância de superfície dos alvos selecionados para avaliar se as respostas de reflectância são comparáveis com aquelas apresentadas na literatura para os alvos em questão. As Fig. 3 e 4 mostram as curvas de reflectância para duas áreas de plantio de eucalipto. Para a data de 02/10/2011 o eucalipto na área 1 apresenta uma resposta espectral diferente da esperada para um dossel com vigor vegetativo. Analisando as imagens RapidEye e uma série temporal de imagens TM Landsat 5 verifica-se que esta área sofreu uma queimada e se recuperou em seguida, o que pode ser identificado também pela resposta espectral nas imagens RapidEye. Nas demais datas da área 1 de eucalipto e nas três datas da área 2 observa-se uma reflectância baixa nas faixas de visível com um pequeno pico na faixa do verde. No infravermelho próximo (IVP), a reflectância de superfície é bem maior, enquanto que na banda *red edge* a reflectância é intermediária entre a banda do vermelho e do IVP, como esperado. A posição do *red edge* tem sido utilizada para detectar o vigor da vegetação (MUTANGA e SKIDMORE, 2007), uma vez que deslocamentos

TABELA 4: RESULTADO DA AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS RAPIDEYE ORTORRETIFICADAS

Data	02/10/11		22/03/12		21/05/12	
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
Média dos erros	-1,28	10,83	4,27	10,05	0,67	8,02
Erro padrão	3,89	3,79	2,24	2,16	2,44	3,26
RMSE	3,86	11,40	4,75	10,25	2,38	8,58
Média dos vetores erros	11,54		11,12		8,05	

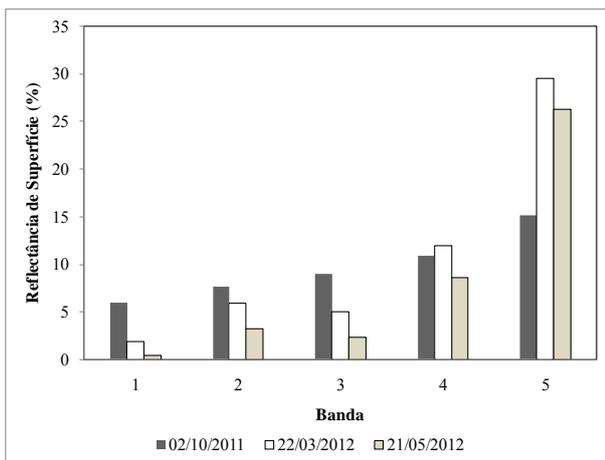


Fig. 3 - Reflectância de superfície da área 1 de plantio de eucalipto.

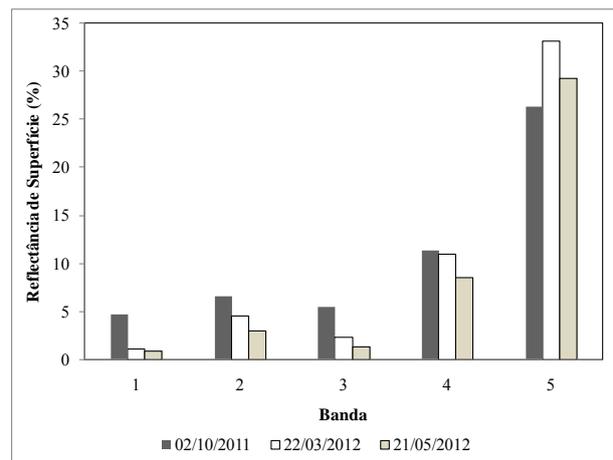


Fig. 4 - Reflectância de superfície da área 2 de plantio de eucalipto.

em pontos de inflexão de curvas de reflectância de laboratório ou campo indicam o estado vegetativo do dossel (DAWSON e CURRAN, 1998).

Na Fig. 5, observa-se a reflectância de superfície para um dossel de pastagem de Tifton 85 que é utilizado para a produção de feno. Nas imagens de 2/10/2011 e 22/3/2012 os valores de reflectância de superfície na faixa do visível e do *red edge* são maiores do que aqueles verificados no dia 21/5/2012. Para a faixa do IVP, a situação se inverte. Isso se deve ao corte para a retirada de feno, enquanto que na imagem de 21/5/2012 as plantas estavam com um índice de área foliar

expressivo. Tanto as curvas de reflectância de eucalipto como as de Tifton 85 são típicas de dosséis de vegetação.

O solo exposto utilizado como área teste neste trabalho é de uma região onde está sendo realizada a obra de construção de uma rodovia (arco metropolitano do RJ), portanto equivale a uma área com solo exposto de aterro (Fig. 6). Observa-se também neste caso um padrão de reflectância condizente com o esperado para solos quando comparado com curvas típicas deste alvo (por exemplo, Bowker *et al.*, 1985; Bellinaso *et al.*, 2010).

As curvas de reflectância de superfície de

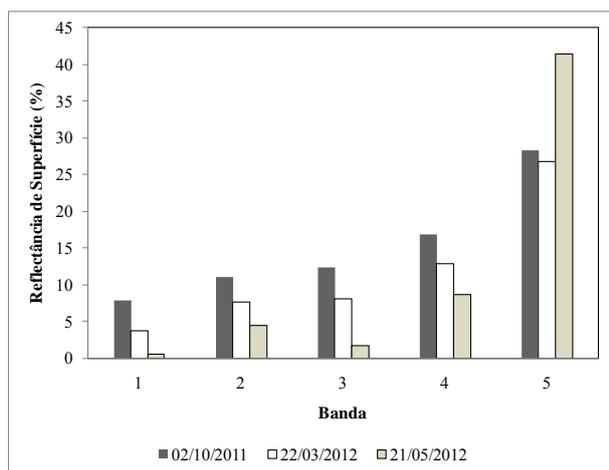


Fig. 5 - Reflectância de superfície de área de plantio de pastagem Tifton85 para produção de feno.

água amostradas da imagem podem ser vistas nas Fig. 7 e 8. Observa-se nestas curvas de reflectância de superfície que os valores mais altos são observados na banda do verde. Isso denota uma grande concentração de algas, que faz com que haja um pico devido à presença de clorofila. No caso da área de cava de extração de areia, este pico é muito mais acentuado, mostrando uma alta concentração de clorofila. O aumento na reflectância de superfície para bandas na faixa espectral do verde tem sido observado em lagos onde existe a presença de algas em suspensão na água (GALVÃO *et al.*, 2003; NOVO *et al.*, 2004).

A Tabela 5 apresenta os índices de vegetação calculados para as áreas amostradas.

Os índices de vegetação encontrados para os alvos avaliados mostram que a água e o solo exposto tiveram valores negativos entre 0,09 e

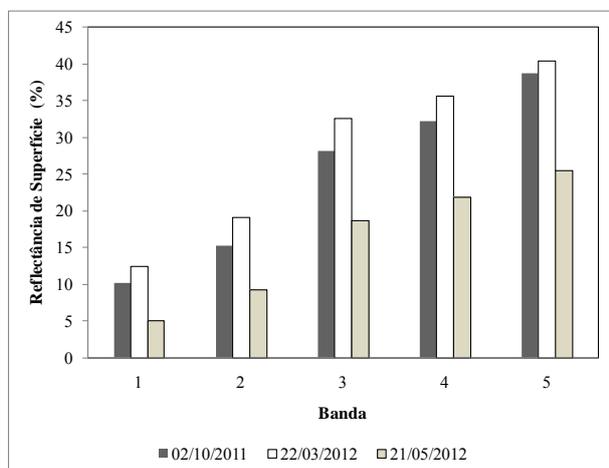


Fig. 6 - Reflectância de superfície de solo exposto em área de construção de rodovia.

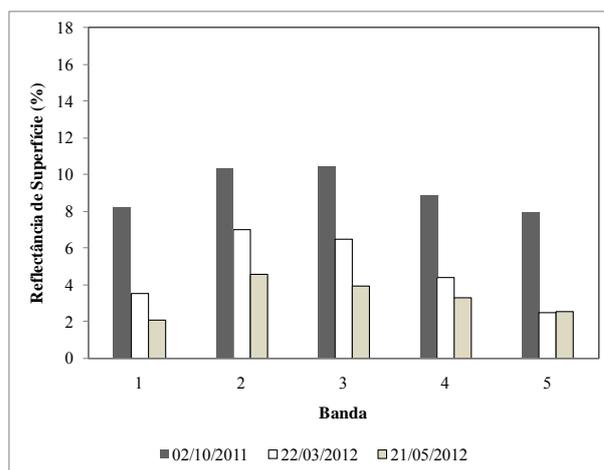


Fig. 7 - Reflectância de superfície de água na foz do Rio Guandu.

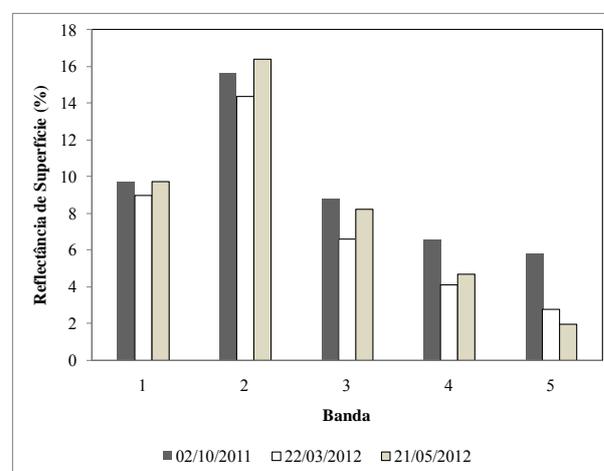


Fig. 8 - Reflectância de superfície de água na cava de extração de areia.

0,16, respectivamente. Para a vegetação, estes valores foram superiores a 0,10 e as diferenças de NDVI e SAVI entre as datas são devidas às variações de densidade e vigor vegetativo dos dosséis amostrados nas imagens. No caso do dossel de Tifton 85 as variações foram de 0,39 a 0,92 para o NDVI devido à grande variação de densidade a partir do corte da forrageira. Nas amostras de Eucalipto, houve um aumento nos valores dos índices de vegetação entre as duas primeiras datas analisadas por serem de datas entre o início e o fim da época de maior crescimento foliar no dossel. Já entre a segunda e terceira data, o incremento nos índices de vegetação foi menor por ser um período em que o aumento de área foliar é reduzido.

5. CONCLUSÕES

Imagens ortorretificadas do satélite

TABELA 5: ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Data	02/10/11		22/03/12		21/05/12	
Índices	NDVI	SAVI	NDVI	SAVI	NDVI	SAVI
Eucalipto 1	0,25	0,12	0,71	0,44	0,83	0,46
Eucalipto 2	0,66	0,38	0,87	0,54	0,92	0,52
Tifton 85	0,39	0,26	0,54	0,33	0,92	0,64
Solo	0,16	0,14	0,11	0,09	0,15	0,11
Água Rio	-0,13	-0,05	-0,44	-0,10	-0,21	-0,04
Água areia	-0,20	-0,07	-0,40	-0,10	-0,62	-0,16

RapidEye foram avaliadas quanto à geometria e utilizadas para caracterizar espectralmente alvos conhecidos. Para a área de estudo os erros posicionais nas ortoimagens permitem concluir que estas estão compatíveis com o PEC classe A na escala de 1:20.000 conforme as normas adotadas pela Comissão Nacional de Cartografia. Entretanto, os pontos de checagem utilizados nesta pesquisa foram obtidos a partir de um ortomosaico com resolução espacial de 1m. Uma avaliação mais criteriosa poderia ser obtida no caso de se utilizar imagens de maior resolução espacial ou de pontos de checagem levantados *in loco*. Além disso, a resolução espacial é adequada para o mapeamento de áreas agro-silvipastoris com precisão satisfatória.

A resolução espectral do RapidEye, com uma banda na região do *red edge*, adicionada à resolução radiométrica de 12-bit e a resolução temporal melhorada pela colocação de cinco satélites na mesma órbita, fazem desta constelação de satélites uma excelente opção para o monitoramento ambiental e de áreas de agricultura, florestais e de pastagens. Amostras de áreas de plantio de eucalipto, de pastagem de Tifton 85 cultivada para produção de feno, de solo exposto e de água em cava e mineração de areia e em foz de rio mostraram resposta espectral condizente com aquela esperada para estes tipos de alvos. A resolução radiométrica de 12-bit permitiu obter valores de reflectância de superfície com sensibilidade para detectar pequenas diferenças entre os alvos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa RapidEye

pelo fornecimento das imagens utilizadas neste estudo e ao IBGE pelo fornecimento do ortofotomosaico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; COSTA, A. R.; GLERIANI, J. M. Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, p. 531-539, 2012a.

ANTUNES, M. A. H.; GLERIANI, J. M.; DEBIASI, P. Atmospheric effects on vegetation indices of TM and ETM+ images from a tropical region using 6S model. **Anais: IGARSS-2012 - IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium**, Munich - Germany, p. 6549-6552, 2012b.

BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J. A. M.; ROMEIRO, S. A. Soil spectral library and its use in soil classification, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 861 - 870, 2010.

BOWKER, D. E.; DAVIS, R. E.; MYRICK, D. L.; STACY, K.; JONES, W. T. **Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies**, NASA Reference Publication 1139, 1985. 181 p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING, Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers and Graphics**, v.15, n. 6, p. 395-403, 1996.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering

- correction of multispectral data, **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n.34, p. 59-479, 1988.
- CHENG, P., SUSTERA, J., Using RapidEye data without ground control automated high-speed high-accuracy, **Anais: GEOInformatics**, Fairfax, p. 36- 40, 2009.
- CINTRA, J. P.; NERO, M. A. Documentos Cartográficos: Determinação do PEC. **Anais: XX Congresso Brasileiro de Cartografia**, Porto Alegre, v. 1., p. 1-6, 2001.
- DAWSON, T. P.; CURRAN, P. J. A new technique for interpolating the reflectance red edge position. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 11, p. 2133-2139, 1998.
- GALVÃO, L. S.; PEREIRAFILHO, W.; ABDON, M. M.; NOVO, E. M. L. M.; SILVA, J. S. V.; PONZONI, F. J.; Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 21, p. 4093-4112, 2003.
- JUPOVA, K., KUCERA, L., SUSTERA, J. Overview of RapidEye data processing and use within CWRS 2009 in the Czech Republic. **Anais: XV GeoCAP Annual Conference**, Taormina, p. 32 - 36, 2009.
- KAUFMAN, Y. J. The atmospheric effect on the separability of field classes measured from satellites. **Remote Sensing of Environment**, v. 18, p. 21-34, 1985.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Cadastro Ambiental Rural, Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em 27 de mar. 2013.
- MORAN, M. S.; JACKSON, R. D.; SLATER, P. N.; TEILLET, P. M. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, p. 169-184, 1992.
- MUTANGA, O.; SKIDMORE, A. K. Red edge shift and biochemical content in grass canopies. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 62, n. 1, p. 34-42, 2007.
- MYNENI, R. B.; ASRAR, G., Atmospheric effects and spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 47, p. 390-402, 1994.
- NOVO, E. M. L. M.;PEREIRA FILHO, W.;MELACK, J. M. Assessing the utility of spectral band operators to reduce the influence of total suspended solids on the relationship between chlorophyll concentration and the bidirectional reflectance factor in Amazon waters. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 22, p. 5105-5116, 2004.
- RAPIDEYE, Satellite imagery product specifications. Disponível em: <www.rapideye.com>. Acesso em 18 de nov. 2012.
- VERMOTE, E.F.;TANRÉ, D.;DEUZÉ, J. L.;HERMAN M.;MORCRETE, J.-J.; Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**,v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.