

## Correção de distorções geométricas e radiométricas de imagens RapidEye para detecção de mudanças

Rômulo Weckmüller<sup>1</sup>  
Raúl Sánchez Vicens<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense – UFF  
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO)  
Av. Litorânea s/n – CEP: 24.210-340 – Niterói – RJ, Brasil  
weckmuller@gmail.com  
rsvicens@id.uff.br

**Abstract.** The remote sensing images are subject to various sources of errors that cause geometric and radiometric distortions. These distortions may represent false changes, which affect the accuracy of the process of change detection. Moreover, RapidEye® is a constellation of five satellites with five different sensors that can have distortions between them or the same sensor temporally. This paper aims to propose and evaluate methodologies of preprocessing to fix three RapidEye images (dated 2009, 2010 and 2011), preparing them for the process of change detection. For this the group of tools called Auto Synk, from Erdas®, were used to register the images of 2010 and 2011, with 2009 image serving as base. A subpixel error was found for both (0.5). The radiometric correction was made in two parts. Firstly, image of 2009 was submitted to the process of subtraction of dark pixels (DOS), using tools from Envi® e ArcGis®. After DOS process, pseudo-invariant points (PIFs) were collected in the other images (2010 and 2011), to generate a scatter plot of these same points in the base image (2009). The linear equations generated by these graphs were used for the process of radiometric normalization of images. The approximation of the trend lines in the charts of normalized images with the base image proved the effectiveness of this method.

**Palavras-chave:** preprocessing, image registration, radiometric normalization, pré-processamento, registro de imagens, normalização radiométrica.

### 1. Introdução

A aquisição de imagens por sensoriamento remoto está sujeita a erros de variadas fontes. A maioria devido aos defeitos que os sensores possam apresentar ao longo de sua vida útil, e por perdas de estabilidade da plataforma que aloja o sensor. Mas há também erros originários de fatores externos que, de acordo com Meneses e Almeida (2012), formam um conjunto composto por deformações de escala, incorreções nas posições espaciais dos pixels, perda de contraste entre os alvos ou registros incorretos dos valores digitais dos pixels. Os autores ressaltam que quando o pesquisador utiliza uma imagem, é necessário corrigi-la, ou compensá-la dos erros que apresenta. Algumas dessas correções são realizadas antecipadamente à distribuição das imagens, pelas empresas ou órgãos fornecedores, enquanto outras cabem, exclusivamente, à decisão do usuário.

As correções destas distorções fazem parte do conjunto de funções de processamento que se denomina pré-processamento. São várias as técnicas de pré-processamento, pois as mesmas se ajustam ao tipo de estrutura do erro, sabendo-se previamente sua fonte de distorção. Constitui uma importante etapa de processamento, pois suaviza o efeito dos erros nos processamentos subsequentes (Meneses e Almeida, 2012).

Para a detecção de mudanças na paisagem, o pré-processamento é de fundamental importância, pois minimiza diferenças geométricas e radiométricas entre as imagens que podem resultar em falsas mudanças (Mas, 1999). De acordo com Coppin e Bauer (1996), estas falsas mudanças podem ser resultantes das diferenças de absorção e espalhamento atmosféricos devido a variações no vapor de água e/ou concentrações de aerossóis na atmosfera em momentos distintos no tempo, diferentes ângulos do posicionamento solar no momento de aquisição, problemas de calibração dos sensores, entre outros problemas já previamente citados.

Lu et al. (2004) destacam que antes de implementar a detecção de mudanças, as seguintes condições devem ser atendidas: (1) um registro preciso das imagens multitemporais; (2) correção atmosférica ou normalização radiométrica entre as imagens; (3) estados fenológicos semelhantes entre as imagens; e (4) seleção de imagens com mesma resolução espacial e espectral, se possível. Coppin e Bauer (1996) consideram as correções geométricas e radiométricas como as mais importantes técnicas de pré-processamento para a detecção de mudanças. Desta maneira, pretende-se aprofundar mais estes tipos de correções neste artigo, destacando suas premissas e os resultados obtidos para as imagens RapidEye na área de estudo, localizada na Figura 1.

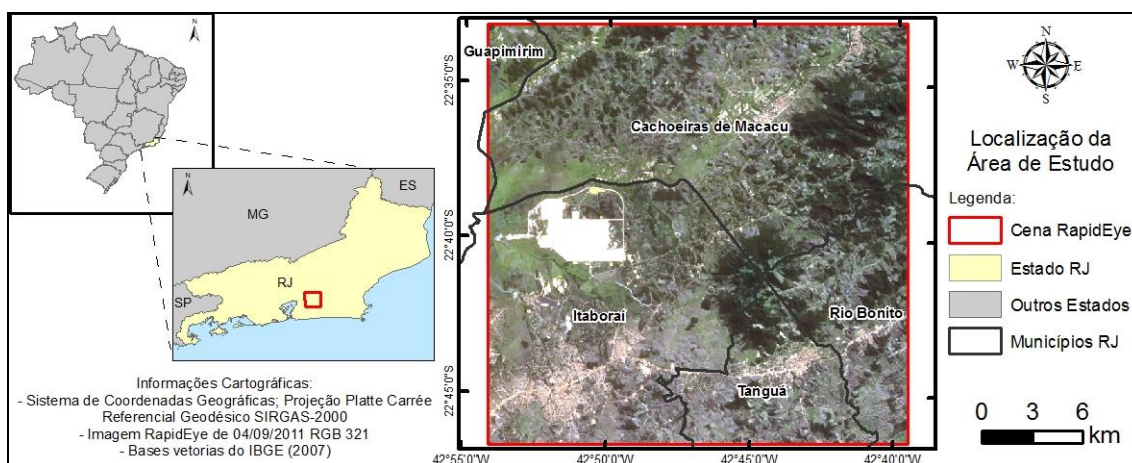


Figura 1. Localização da área de estudo.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Aquisição das imagens RapidEye

O RapidEye corresponde a uma constelação de cinco satélites e começou a operar em agosto de 2008. Lu et al. (2014) acrescentam que o RapidEye representa novas oportunidades e boas perspectivas nos estudos de mudanças, especialmente nas detecções de alterações na cobertura terrestre.

As imagens RapidEye utilizadas neste trabalho fazem parte do banco de dados do Laboratório de Geografia Física (LAGEF) da UFF. Elas foram adquiridas com um nível de processamento 3A. Neste nível, as imagens já vem ortorretificadas, com os pixels reamostrados para  $5 \times 5 \text{ m}^2$  e formatados em imagens com tamanho de  $25 \times 25 \text{ km}^2$  ( $625 \text{ km}^2$  de área). De acordo com Machado e Silva et al. (2013), o processo de correção geométrica do nível 3A faz uso dos dados de efemérides e atitude do satélite, do modelo de visada da câmera, além de pontos de controle e modelo digital de elevação. Mais informações sobre as imagens utilizadas estão na Tabela 1.

Tabela 1. Informações das imagens RapidEye utilizadas na pesquisa

<i>Data</i>	<i>Sensor</i>	<i>Res. Espacial</i>	<i>Nível processamento</i>
19/04/2009	RE4 - Choros	5 m	3A
19/08/2010	RE5 - Trochia	5 m	3A
04/09/2011	RE4 - Choros	5 m	3A

### 2.2 Correção Geométrica

O registro das imagens foi realizado no software Erdas 2013, através da extensão de ferramentas *AutoSync* (Figura 2), que permite o registro de imagens de maneira semiautomática, pois possui um algoritmo matemático que busca similaridades espectrais e

texturais entre as imagens, para definir pontos homólogos entre elas. O usuário deve informar ao software pelo menos entre quatro e cinco pontos comuns entre a imagem base e a imagem a ser registrada. Após isso, configura-se a porcentagem de similaridade desejada e o algoritmo de reamostragem. Assim, o *AutoSync* gera novos pontos de controle, com exatidão sub-píxel, sendo bem mais eficiente e rápido que o método tradicional de registro manual, que é totalmente dependente da precisão visual do pesquisador.

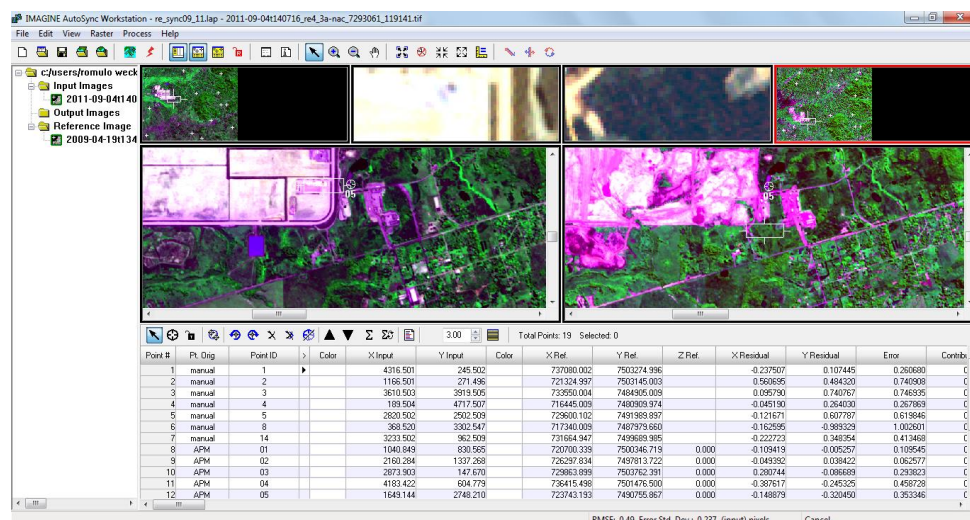


Figura 2. Tela principal de um projeto no *AutoSync*, com a imagem base à direita e tabela de pontos manuais e automáticos (APM). RapidEye composição RGB 352.

As cenas de 2010 e 2011 foram registradas com base na de 2009. Para tal, até oito pontos de controle foram inseridos manualmente na imagem a ser registrada, de uma maneira bem dispersa e espaçada. Os pontos automáticos foram gerados com mais de 90% de similaridade. Foi utilizada a equação polinomial de 1ª ordem, que permite um maior ajuste na imagem, e o método de reamostragem pelo vizinho mais próximo (Figura 3).

### 2.3 Correção Radiométrica

Um fator fundamental numa detecção de mudanças é a correção radiométrica das imagens. De acordo com Song et al. (2001), esta correção pode ocorrer de duas formas: absoluta e relativa.

A correção absoluta é aquela que utiliza parâmetros de calibração do sensor e da atmosfera. Segundo Pimenta et al. (2013), estes parâmetros podem ser estimados, caso o modelo adotado seja alternativo, ou medido, caso o método usado seja o físico, que tenta retratar a complexidade da atmosfera e sua complexa interação com a radiação. Este último requer muito conhecimento acerca dessas interações por parte do pesquisador.

A correção relativa utiliza somente dados da própria imagem, não exigindo parâmetros atmosféricos. Dos diversos métodos existentes, dois foram escolhidos: a subtração dos objetos escuros e a normalização radiométrica. A associação destes é uma proposta de Cronemberger (2014), adaptada para este trabalho, como uma tentativa de aproximação espectral das imagens com a realidade, permitindo o uso de índices de vegetação, e uma aproximação espectral das imagens entre si, otimizando a detecção de mudanças.

#### *Object Dark Subtraction*

A subtração de objetos escuros, na literatura vista como *object dark subtraction* (DOS), talvez seja, de acordo com Song et al. (2001), a mais simples técnica de correção atmosférica. Estes autores realizaram um extenso trabalho comparando nove técnicas de correção

atmosférica, das mais simples às mais complexas, analisando sua influência na acurácia de uma detecção de mudanças. Embora os mais simples algoritmos de correção atmosférica não sejam tão precisos quanto os mais complicados, na estimativa de reflectância de superfície, eles fazem um trabalho melhor de reduzir as diferenças entre as imagens multitemporais. Dentre eles, o DOS foi o que apresentou os melhores resultados.

O DOS, proposto por Chavez Jr. (1988), defende que em toda cena e em qualquer banda espectral, existem pixels que deveriam assumir o valor zero, uma vez que estes pixels não poderiam receber e refletir radiação, ou ainda absorvê-la por completo (sombras na região do visível ou corpos d'água límpidos na região do infravermelho próximo, por exemplo). Caso estes pixels apresentem valores maiores que zero, o valor excedente deve ser explicado pela interferência aditiva do espalhamento atmosférico (Ponzoni e Shimabukuro, 2009). Após a identificação destes valores excedentes em cada banda, o mesmo é subtraído dos pixels, considerando a interferência atmosférica como sendo uniforme em toda a cena.

A ferramenta *Dark Subtraction*, do *software* Envi 5, foi utilizada para definir o número de pixels que deveria ser subtraído de cada banda. Após efetuar a operação, esta ferramenta gera uma imagem DOS. Este processo foi aplicado somente na imagem de 2009, que mais uma vez servirá de base, porém agora para o processo de normalização radiométrica.

### *Normalização Radiométrica*

Para a maioria das séries históricas de imagens de satélites não existem informações associadas às condições atmosféricas, iluminação, entre outras. Em função disso, Canty et al. (2004) acreditam que a normalização baseada na informação radiométrica intrínseca às imagens é uma alternativa sempre que a radiância absoluta da superfície não é necessária, como, na detecção de mudanças e classificação da cobertura da terra.

Normalizar radiometricamente duas imagens de datas distintas tem como objetivo compatibilizar as amplitudes dos níveis de cinza (NC) dos elementos de imagem em cada banda espectral de uma série multitemporal de imagens (Cronemberger, 2014). Sendo assim a normalização radiométrica pode ser considerada uma correção relativa que consiste em minimizar diferenças radiométricas entre imagens, para que as mesmas possam ser comparadas ou classificadas em conjunto.

Proposta por Hall et al. (1991), com o nome de Retificação Radiométrica, a normalização desenvolvida por estes autores consiste no uso de um conjunto de dados de controle entre a imagem base e a imagem a ser normalizada, formado por pixels claros e escuros, invariantes ao longo do tempo, para construir um gráfico de correlação linear para cada banda entre as cenas. A equação deste gráfico é então utilizada no processo de normalização.

Acredita-se que ao invés de utilizar um conjunto de dados de controle, seria mais efetivo utilizar formas pseudo invariantes, o que a literatura chama de PIFs (*pseudo-invariant features*), o que de acordo com Song et al. (2001), representam formas bem definidas espacialmente e espectralmente estáveis ao longo do tempo.

A coleta destes PIFs pode ser feita de várias maneiras. Uma delas seria a geração de pontos aleatórios, sendo escolhidos aqueles que possuem menor diferença entre si, o que aponta para possíveis áreas estáveis. Porém, este método é questionável no sentido de talvez não atender a heterogeneidade das classes de uma imagem, pois os pontos resultantes desta filtragem podem estar predominantemente em corpos d'água, por exemplo. Sendo assim, a obtenção dos PIFs neste trabalho foi adaptada do trabalho de Cronemberger (2014), que consiste na coleta de pelo menos trinta pontos invariantes por classe, manualmente, que represente toda a heterogeneidade da classe e da cena.

Foram coletados cerca de 300 PIFs representativos das classes observadas na imagem, considerados invariantes de 2009 a 2011, portanto aptos ao processo de normalização. Após a extração dos números digitais destes pontos, em cada banda de cada imagem, os gráficos de

dispersão, com as respectivas equações lineares foram gerados. A coluna Y é composta pela imagem base e a coluna X pela imagem a ser normalizada.

Em seguida, foi utilizada a ferramenta *Raster Calculator*, do *software* ArcGis 10.1, para a aplicação dos números obtidos através das equações lineares nas imagens de 2010 e 2011, gerando imagens normalizadas radiometricamente. Em seguida, novos gráficos foram gerados, desta vez entre a imagem de 2009 e as imagens normalizadas, com o objetivo de avaliar a qualidade do processo (Figura 3).

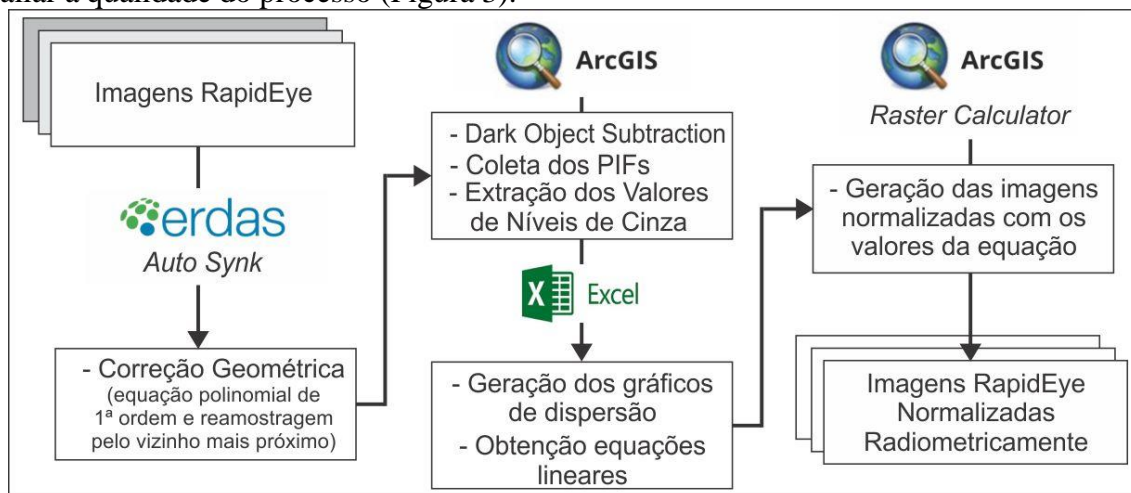


Figura 3. Fluxograma metodológico das correções nas imagens.

### 3. Resultados e Discussão

O registro das imagens no Auto Synk possibilitou uma maneira mais rápida. A Tabela 2 apresenta mais informações sobre o processo de registro, como o RMS obtido em cada cena, a quantidade de pontos manuais e automáticos, entre outros. Pode-se perceber resultados parecidos entre as imagens, com precisão sub-pixel, o que certamente é importante para a aplicação de uma detecção de mudanças.

Tabela 2. RMS e desvio-padrão resultantes do processo de registro no *AutoSynk*.

Data cena	Pontos manuais	Pontos automáticos	Similaridade (%)	RMS	Desvio-padrão	Ordem equação polinomial
2010	8	6	97	0.45	0.25	1 <sup>a</sup>
2011	7	11	96	0.49	0.24	1 <sup>a</sup>

A subtração dos pixels escuros foi realizada por banda, com base na Tabela 3. Estes números foram obtidos observando o comportamento espectral dos objetos, que juntamente com a ferramenta *Dark Subtraction*, geraram uma imagem DOS, corrigida relativamente dos efeitos de espalhamento da atmosfera. Analisando a Figura 4, que compara a imagem DOS com a original, percebe-se um escurecimento na primeira, ressaltando feições na classe antrópica, que na imagem original se confundem devido aos altos valores dos níveis de cinza.

Tabela 3. Números de pixels a serem subtraídos por banda.

Bandas da imagem RapidEye	Comprimento de onda (nm)	Pixels a serem subtraídos
Azul	440 – 685	3560.51262
Verde	520 – 590	1912.12465
Vermelho	630 – 685	603.09026
Vermelho-borda	690 – 730	793.00991
Infravermelho	760 – 850	716.81330

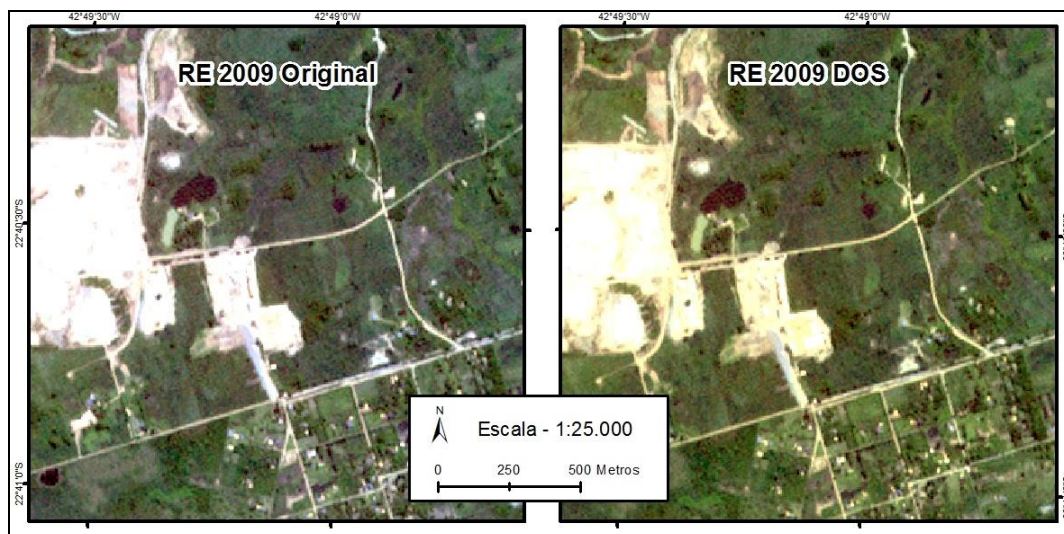


Figura 4. Contraste entre a imagem original (à esq.) e a imagem DOS (à dir.). Recorte da cena RapidEye de 2009, composição RGB 321. Mapa dos autores.

As Figuras 5 e 6 representam as imagens antes e depois da normalização. A equação em preto foi utilizada para gerar as imagens normalizadas e a equação em vermelho é resultante da correlação entre a imagem base e a normalizada. Nesta, observa-se valores de X e Y bem aproximados, com uma reta linear próxima aos 45°, o que denota um bom resultado na normalização. Os pontos azuis representam os PIFs. Pela sua proximidade com a reta linear pode-se afirmar que os mesmos representam possíveis pontos invariantes, o que nos leva a crer que o processo de coleta destes PIFs manualmente e por classe, mesmo sendo mais demorado, foi importante para a boa correlação obtida. Vale ressaltar, porém, que caso a série temporal e área de estudo sejam maiores, o uso da técnica de geração de PIFs aleatórios, seguida de uma filtragem por limiar, talvez seja a mais indicada, por demandar menos tempo.

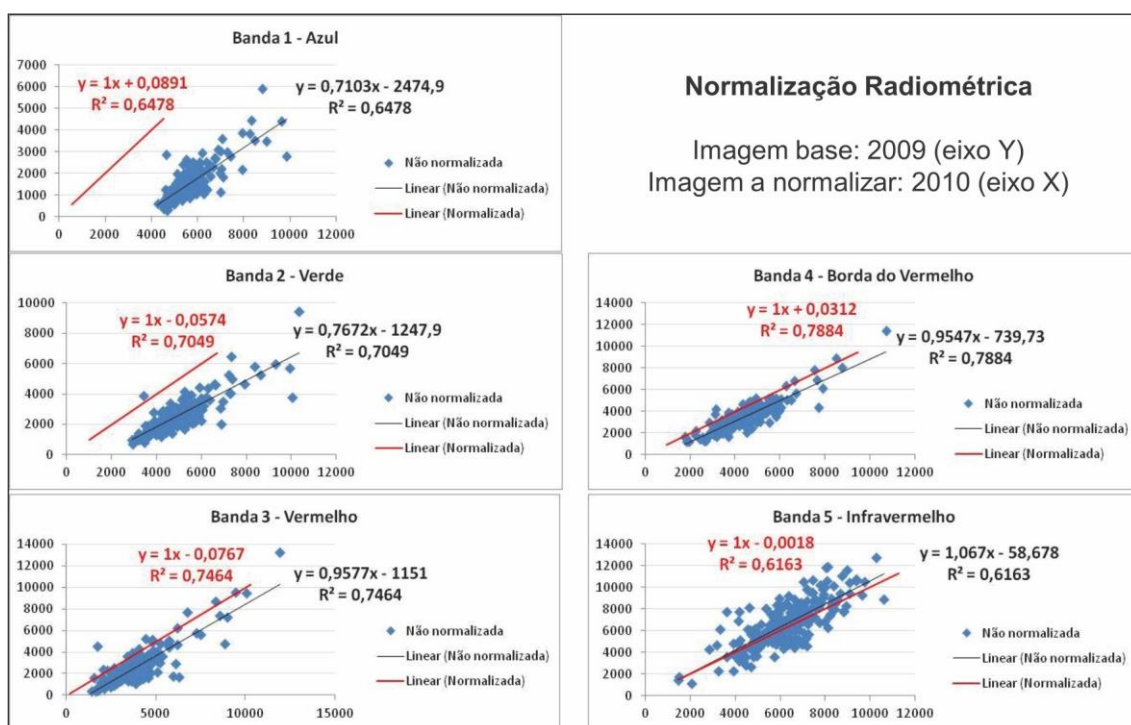


Figura 5. Normalização radiométrica da imagem de 2010 e sua avaliação.

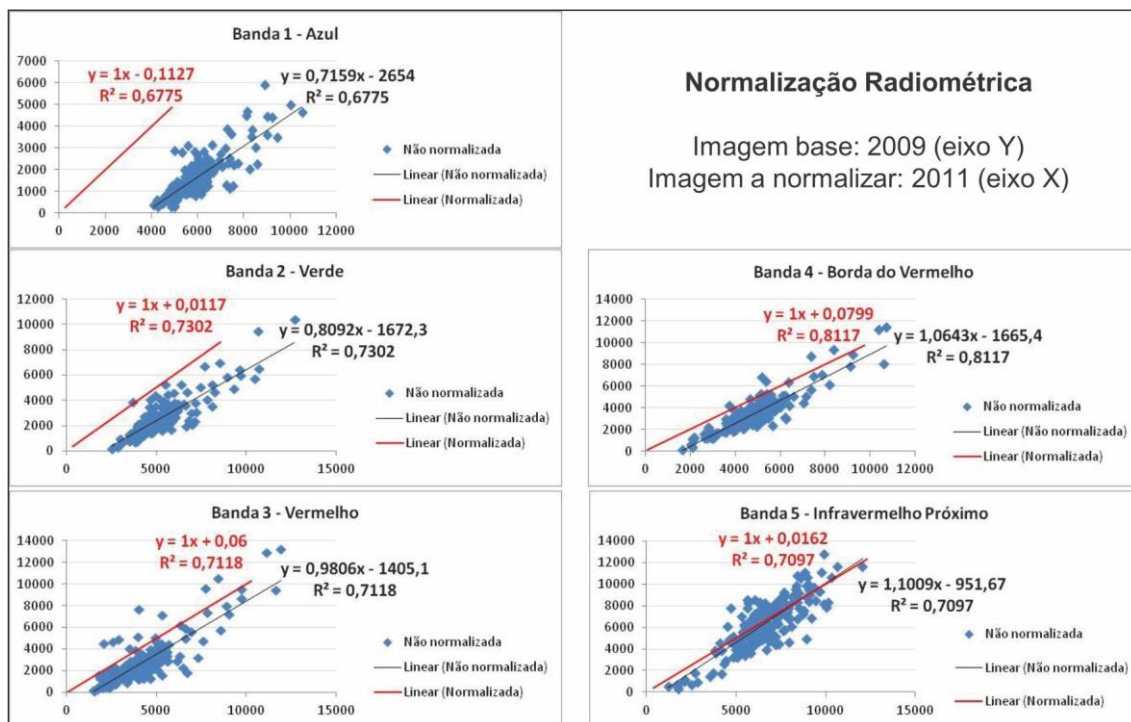


Figura 6. Normalização radiométrica da imagem de 2011 e sua avaliação.

Analisando as duas retas lineares nos gráficos, a não-normalizada (preta) e a normalizada (vermelha), observa-se um distanciamento decrescente entre elas da banda 1 a 5, ou seja, as bandas com menores comprimentos sofreram as maiores modificações no processo de normalização. O que se mostra coerente com a Tabela 3, visto que o número de pixels subtraídos destas bandas também decresceu, excetuando-se na banda do vermelho.

#### 4. Considerações Finais

O método semiautomático escolhido para a correção geométrica mostrou-se efetivo, pois alcançou erros a nível subpixel, em menor tempo que o método manual tradicional. Conclui-se que o grupo de ferramentas *Auto Synk* representa um método confiável e prático de registro de imagens de satélite.

A subtração dos objetos escuros, apesar de simples, foi considerada um bom método relativo de correção atmosférica. Sua associação com a normalização radiométrica mostrou-se capaz de diminuir as distorções radiométricas entre as imagens, o que para um processo de detecção de mudanças por análise direta ou pré-classificação é fundamental.

Fica a necessidade de aprofundar os estudos nessas metodologias de pré-processamento, testando sua aplicabilidade em séries temporais maiores e outros satélites, com distintas resoluções espaciais, espectrais e radiométricas, para entendermos como estes métodos associados se comportam em outros cenários, e se os resultados continuam otimizando uma detecção de mudanças.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Geografia Física (LAGEF), da Universidade Federal Fluminense (UFF); à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio a esta pesquisa.

## Referências Bibliográficas

Canty, M.J.; Nielsen, A.A.; Schmidt, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 441-451, 2004.

Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

Coppin, P.R.; Bauer, M.E. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. **Remote Sensing Reviews**, v. 13, p. 207-234, 1996.

Cronemberger, F.M. Paisagens da Serra do Mar: uma análise geocológica da dinâmica da paisagem. 2014. 133 p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2014.

Hall, F.G.; Strelbel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric Rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 11-27, 1991.

Lu, D.; Li, G.; Moran, E. Current situation and needs of change detection techniques. **International Journal of Image and Data Fusion**, v. 5, n. 1, pp. 13-38, 2014.

Lu D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2407, 2004.

Machado e Silva, A.; Eduardo, B.; Fazan, A. Avaliação da Qualidade Geométrica das Imagens RapidEye Ortorectificadas. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu, PR. INPE, p. 1213-1220, 2013.

Mas, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 01, p. 139-152, 1999.

Meneses, P.R.; Almeida, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília-DF: UnB, 2012. 276 p.

Pimenta, M.L.F.; Coura, P.H.F.; Cruz, C.B.M.; Lacerda, E.R. Estudo das incertezas da definição de parâmetros no processo de correção atmosférica. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu, PR. INPE, p. 1915-1922, 2013.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos-SP: Ed. Parêntese, 2ª edição, 2009. 144 p.

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, p. 230-244, 2001.