

## Estudo das incertezas da definição de parâmetros no processo de correção atmosférica

Maria Luisa da Fonseca Pimenta<sup>1</sup>  
Pedro Henrique Ferreira Coura<sup>1</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>1</sup>  
Eduardo Ribeiro Lacerda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 – Departamento de Geografia  
CEP: 21941-916 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
{pimenta.marialuisa, ped.coura, carlamad}@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ  
R. Dr. Francisco Portela, 1470 – Departamento de Geografia  
CEP: 24435-005 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
eduardolacerdageo@gmail.com

**Abstract.** The objective of this study is to evaluate the various usual parameters in atmospheric correction algorithms applied to remote sensing products in applications for digital image processing. Given the uncertainty of their choice and the difficulty of validation, we sought to examine the importance they have to the result images, as well as the acuity of the spectral response of features such as the vegetation cover to the real world. To this end, it was processed four scenes of the RapidEye sensor in ATCOR2 module of ERDAS IMAGINE 2011, where several tests were prepared with variation of the input data that characterize the sensor and the atmosphere at the time of its passage. As a result, significant differences were found between the original image and the atmospherically corrected ones - especially in the red-edge bands and near infrared - the latter having the spectral curves closer to that expected for the studied features. Regarding targets, those that showed major differences in the several test images were the ones of grass-plot and bare soil. As for the parameters, the greatest inequalities obtained were the fluctuations on the optical depth, especially when it deviates too much from that estimated by the SPECTRA submodule, which ultimately produces noise and is, therefore, the one that needs greater attention.

**Palavras-chave:** interferência atmosférica, processamento digital de imagens, modelo de transferência radiativa, profundidade óptica, topografia, atmospheric interference, digital image processing, radiation transfer model,, depth optics, topography.

### 1. Introdução

As interações da radiação solar e da radiação refletida por alvos da superfície terrestre com constituintes da atmosfera interferem no processo de sensoriamento remoto, já que o espalhamento e a absorção ocasionam mudanças na direção de propagação ou perda de energia para outros constituintes atmosféricos (Kaufman, 1989). Estas interferências dependem do comprimento de onda eletromagnética – quanto menor, maior será a intensidade do efeito que provoca a redução do contraste da imagem – sem, contudo, alterar a sua dimensão, em um processo conhecido como atenuação atmosférica (Zullo, 1994).

Segundo Idso *et al.* (1966), em dias de céu limpo e seco, a maior parte da radiância incidente nos sistemas-sensores é proveniente da radiação direta, aquela que não sofre desvios no percurso Sol-Terra-Sensor. Já em dias completamente encobertos, como as imagens de sensoriamento remoto do meio ambiente são usualmente captadas a grande distância da superfície da Terra, neste percurso atmosférico substancial que a energia eletromagnética precisa atravessar antes de chegar ao sensor, o incremento da participação da radiação difusa pode chegar próximo a 40% da radiação direta.

A correção desta interferência atmosférica em imagens multiespectrais pode ser realizada através de modelos alternativos que, em virtude da indisponibilidade de medidas reais, estimam as condições atmosféricas e de iluminação no momento da passagem do satélite. Já

nos métodos físicos, fundamentados na teoria da transferência radiativa a fim de retratar a complexidade da atmosfera, é necessário o conhecimento de suas propriedades ópticas bem como do processo de interação da radiação com a atmosfera e com a superfície, variando de acordo com o modelo utilizado e o resultado a que se propõe (Chandrasekhar, 1960).

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), os procedimentos aplicados às imagens visando minorar o efeito da atmosfera acarretam alterações nos atributos espectrais e radiométricos de diferentes objetos, o que por sua vez pode interferir em processos de classificação digital, ora facilitando, ora dificultando a separabilidade de diferentes classes de interesse. Esta rotina, contudo, tem a sua importância ressaltada em virtude de análises com produtos de satélites diversos em diferentes datas e condições atmosféricas.

Diante do reconhecimento dos efeitos causados pela interferência atmosférica, e da possibilidade de subtraí-los para obter parâmetros físicos da superfície terrestre que melhor retratem a resposta de seus alvos, o objetivo do presente trabalho é avaliar as diferenças obtidas no processo de correção atmosférica a partir da estimativa dos parâmetros usuais exigidos nos módulos de correção atmosférica dos programas de Processamento Digital de Imagens, visando identificar os melhores resultados para a correção de imagens.

## 2. Materiais e Métodos

Para se trabalhar com valores de reflectância aparente selecionou-se a técnica ATCOR (*Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery*) criada na DLR (*German Aerospace Center*), a qual necessita ser alimentada por dados sobre as condições atmosféricas no momento da aquisição do imageamento. O mecanismo é o de simular os principais efeitos nas respostas espectrais dos alvos resultantes da absorção de gases e dispersão por moléculas e aerossóis em função da visibilidade horizontal, eliminando a dispersão da luz e representando, portanto, importante etapa para avaliação das feições da superfície terrestre (Richter, 2000).

Tal técnica é baseada em um modelo de transferência radiativa do tipo MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Transmission*), algoritmo rigoroso desenvolvido pela AFRL (*Air Force Research Labs*) em colaboração com (SSI) (*Spectral Sciences Inc*). Seu código com ajuste não linear por mínimos quadrados proporciona o cálculo da transmitância da atmosfera em condições climáticas e ângulos solares específicos manipulados pelo usuário, com a vantagem da aplicação direta sobre as imagens (Richter, 2000).

O programa ERDAS IMAGINE 2011 incorpora o módulo ATCOR2, o qual converte os valores digitais para radiância espectral no sensor – com calibração através da Equação 1, uma relação linear descrita entre a intensidade de luz registrada em cada canal espectral do sensor, ou números digitais (DN), e a radiância no sensor, sendo realizada para cada banda – e então para reflectância aparente a fim de pois realizar a remoção dos efeitos da atmosfera.

$$L_{\lambda} = c_0 + c_1 \cdot DN_{\lambda} \quad (1)$$

Os valores de  $c_0$  (“bias” ou “offset”) e  $c_1$  (“gain”) são os coeficientes de calibração radiométrica, que representam a intersecção e declividade da relação linear entre os valores de DN (x) e a radiância (y). Esses valores são obtidos através dos dados contidos nos metadados das imagens, e variam de acordo com o sensor utilizado e seu tempo de vida (Richter, 2000). Para os testes desenvolvidos nesta pesquisa, foram utilizadas imagens do sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*), nível 3A, descritas na Tabela 1, o qual possui arquivo de calibração no ERDAS  $c_0 = 0$  e  $c_1 = 0.001 \text{ W/cm}^2 \text{ sr mícron}$ .

As cenas escolhidas para este estudo abrangem a bacia de drenagem do alto rio São João, localizada nas Baixas Litorâneas do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), área selecionada em função da geodiversidade e da heterogeneidade radiométrica nítida entre as imagens

necessárias ao seu recobrimento, oferecendo, portanto, boa base para comparação entre os resultados. A dita região geográfica apresenta amplitudes altimétricas por volta de 2.000m em clima tropical úmido a sub-úmido, tendo o terreno coberto em sua maior parte por floresta secundária ombrófila densa nas encostas de morros e serras, além de gramíneas que servem à pastagem extensiva nas colinas e planícies; alvos diversos que foram utilizados nos testes que serão apresentados em seguida.

Tabela 1. Características das imagens *RapidEye* utilizadas no estudo.

Cena	Satélite	Resolução espacial*	Resolução Espectral*	Resolução radiométrica*	Resolução temporal*	Data	Hora
7061885	TACHYS	5m	Blue: 440-510 $\mu\text{m}$	12 bits	24 horas (off-nadir) e 5,5 dias (nadir)	13/09/2012	13:58:23
7062405	CHOROS		Green: 520-590 $\mu\text{m}$			30/07/2012	13:50:24
7062180	CHOMA		Red: 630-685 $\mu\text{m}$			19/08/2012	13:51:29
7061878	CHOMA		Red Edge: 690-730 $\mu\text{m}$			31/07/2012	13:52:19
			NIR: 760-850 $\mu\text{m}$				

\*Fonte: Felix *et al.*, 2009.

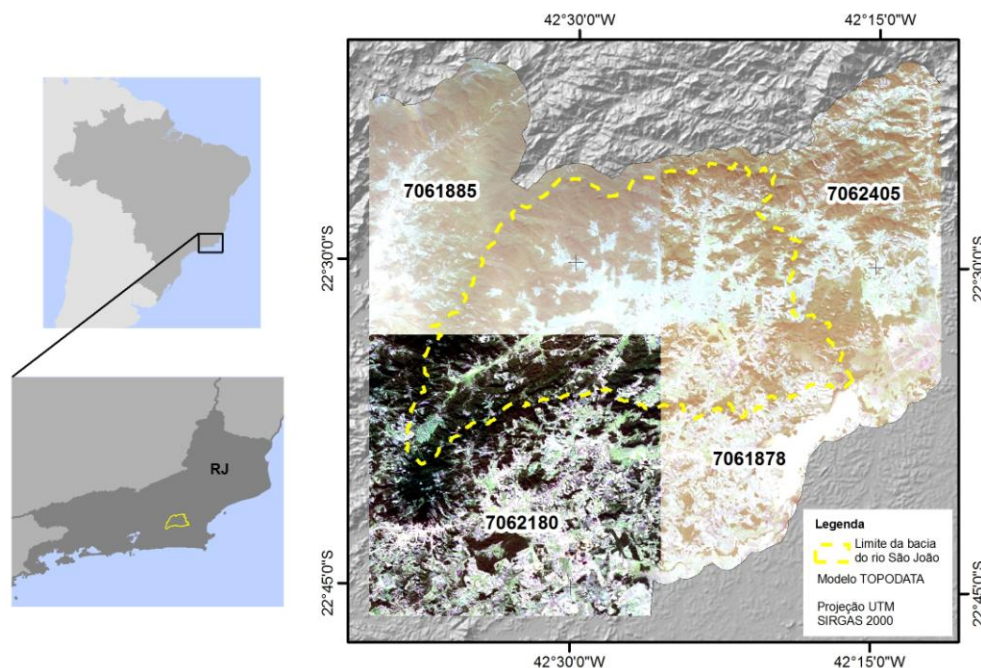


Figura 1. Imagens *RapidEye* para a área de estudo. R(1) G(2) B(3) com desvio padrão = 1.

Além dos arquivos de calibração com os valores de  $c_0$  e  $c_1$ , fornecido pelo ATCOR2, para a completa aplicação da correção atmosférica, foram necessárias informações extraídas dos metadados das imagens e de parâmetros atmosféricos referentes às condições no momento da aquisição das imagens. A Tabela 2 apresenta esta listagem, cabendo observar que os modelos de atmosfera e de aerossóis podem ser escolhidos de um grupo de modelos preestabelecidos, sendo que o primeiro foi eleito pelas referidas latitudes em função da temperatura e umidade (Geosystems, 2011) e épocas do ano - estiagem de inverno - e o segundo de acordo com o uso da terra predominante.

Em relação aos parâmetros de elevação e visibilidade, os apresentados na Tabela 2 para cada cena são aqueles definidos, respectivamente, pela média aritmética das altitudes extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE) TOPODATA, com resolução espacial de 30m – disponível por *download* em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> – e o segundo pelo submódulo SPECTRA do ERDAS, que utiliza a checagem de *pixels* escuros nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo para estimar a profundidade óptica (Geosystems, 2011). Ambos foram justamente os selecionados para serem estudados, devido à dificuldade

no Brasil da geração e disponibilidade de dados tanto meteorológicos, que abranjam seu território em distribuição espacial apropriada a tais investigações, quanto modelos topográficos de resolução espacial adequados ao processamento conjunto com produtos de sensores imageadores multiespectrais.

Tabela 2. Dados para o módulo ATCOR extraídos dos metadados *RapidEye* (\*) e inferidos pelo usuário (\*\*).

	7061885	7062405	7062180	7061878
Centróide (lat/long)*	(-22,44, -42,55)	(-22,44, -42,32)	(-22,66, -42,55)	(-22,65, -42,31)
Zênite solar (°)*	28,6	43,9	38,5	43,7
Azimute solar (°)*	25,4	22,6	24,9	22,0
Ângulo de incidência (°)*	2,41	9,87	10,27	5,27
Azimute do satélite (°)*	278,77	278,90	278,93	278,75
Modelo da atmosfera**	Médias latitudes no verão			
Modelo de aerossóis**	Rural			
Elevação média (km)	1,0	0,7	0,5	0,2
Visibilidade (km)	13	59	39	59

Neste sentido, cabe ressaltar a diversidade interna existente na região da bacia do rio São João que apresenta relevo movimentado e, assim, diferenciação quanto à distribuição da umidade, gases e aerossóis e das chuvas, pelo efeito barométrico e orográfico; por isso, os primeiros ensaios desta pesquisa foram realizados no módulo ATCOR3, do mesmo programa. Este foi desenvolvido exatamente para áreas onde a topografia apresenta grandes amplitudes, por isso necessita ademais do modelo de elevação como dado de entrada; contudo, os testes neste módulo com o MDE de célula 20m mostraram que o algoritmo rigoroso firma-se demasiado na topografia e o resultado sugere o efeito “*pixel* estourado” e superexposição das encostas sombreadas (Figura 2).

De tal modo, adotando-se o ATCOR2, são apresentados na presente pesquisa os resultados e comparações entre diferentes correções atmosféricas elaboradas com variação dos parâmetros de visibilidade e elevação em intervalo que extrapola os valores calculados pelo SPECTRA e a média aritmética, respectivamente, em seus limites inferior e superior. Dessa forma, foi avaliada a influência de tais parâmetros nas imagens-resultado para que então sirva de auxílio na escolha de seus valores diante a frequente incerteza de sua definição e dificuldade de validação.

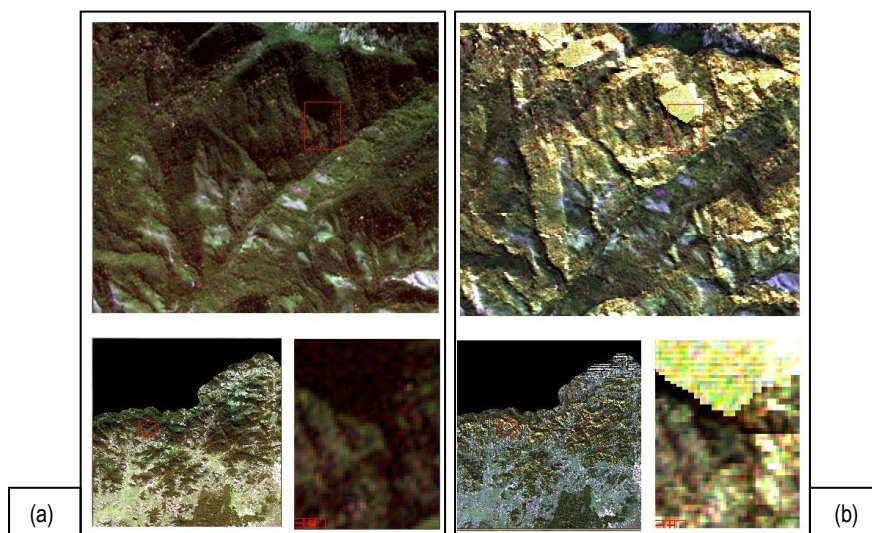


Figura 2. Imagem *RapidEye* antes (a) e após (b) processamento no ATCOR3.

### 3. Resultados e Discussões

Para um exame mais refinado das cenas *RapidEye* antes e após o processamento no ATCOR2, foram coletadas nas quatro cenas, amostras de feições características e marcantes na superfície terrestre da área de estudo, a saber: florestas, gramíneas, solo exposto e sombra; as quais do mesmo modo tiveram suas respostas espectrais comparadas nas imagens “bruta” e corrigidas atmosféricamente. Neste trabalho, optou-se por representar graficamente – nas Figuras 3 e 4 – os resultados das cenas que apresentaram maiores diferenças entre si em função da mudança nos parâmetros de elevação e visibilidade, para que assim amparassem melhor tal entendimento.

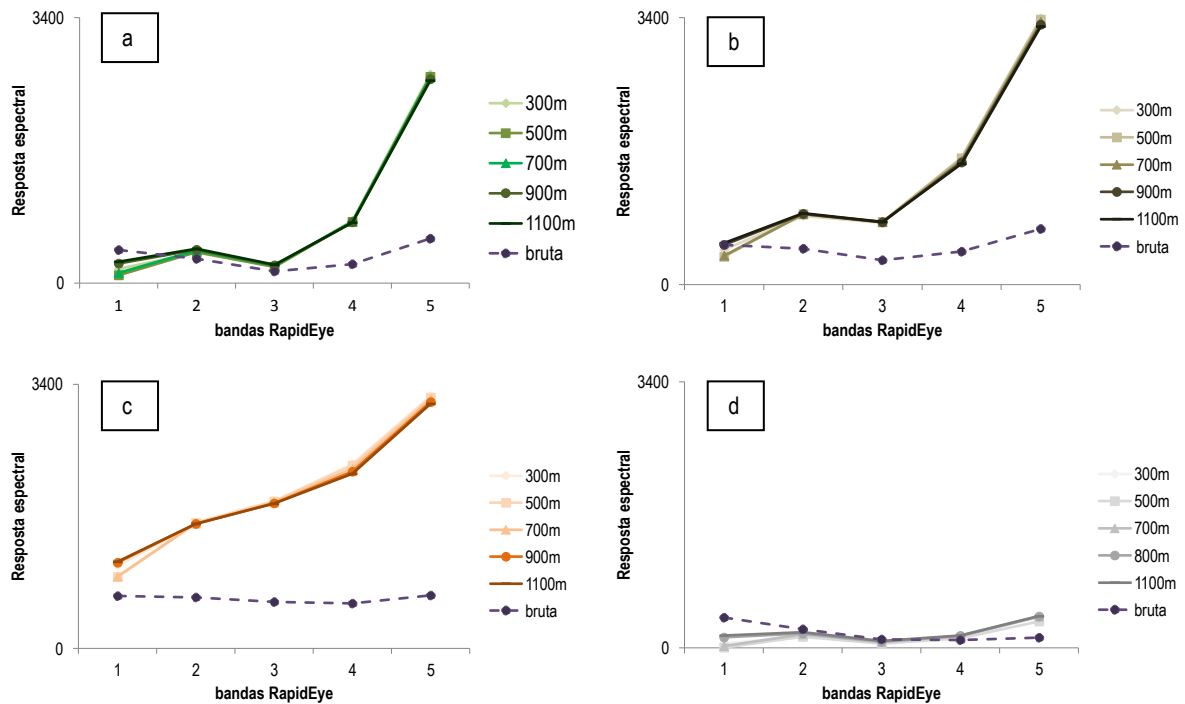


Figura 3. Comparações entre reflectâncias em diferentes elevações nas imagens antes e após correção atmosférica em: a) florestas, b) gramíneas, c) solo exposto e d) sombra [7062405].

Em aspectos gerais, nas quatro cenas testadas houveram menores modificações nas imagens com tratamento ATCOR quando alteraram-se as elevações médias – com desvio padrão ( $s$ ) médio de 23,59, sendo um pouco mais pronunciadas nas bandas do azul (42,01) e do infravermelho próximo (28,97); enquanto nas demais apresentou-se em torno de  $s = 10$ . Já nas verificações quanto às visibilidades, as diferenças entre as imagens-resultado foram de 84,17; sendo mais pronunciadas nas bandas do azul e verde, com variações em torno de 120,  $s = 67,98$  para infravermelho próximo e 50 para as restantes.

Isto mostra que a variante da distância superfície terrestre-sensor possuiu menor importância relativa no caso estudado, que apresenta desnivelamentos topográficos em torno de 2000m e altitude do satélite de 630km. Apesar disso, ela não deve ser desconsiderada já que a variação entre os resultados cena-a-cena aumentaram proporcionalmente às suas amplitudes altimétricas. Em relação às profundidades ópticas, sua influência nas modificações entre os resultados foram superiores, outrossim notou-se que quanto menor a visibilidade estimada para cada cena, maiores seriam os  $s$  de inscontância entre elas.

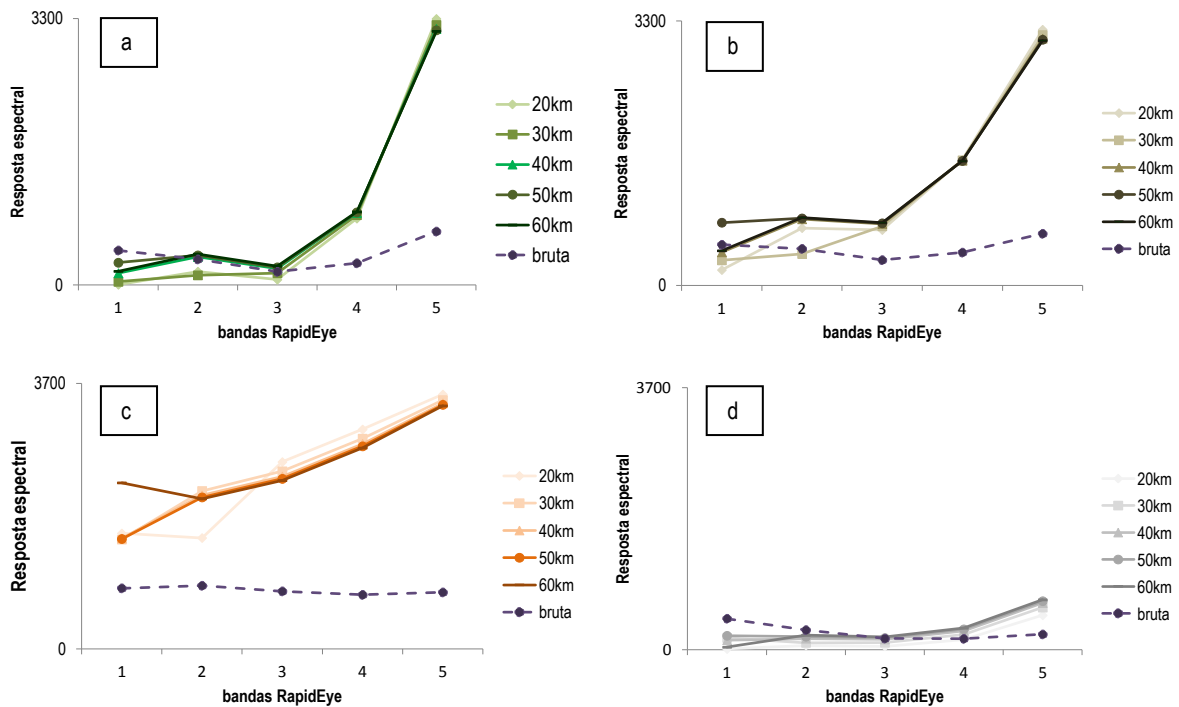


Figura 4. Comparações entre reflectâncias em diferentes visibilidades nas imagens antes e após correção atmosférica em: a) florestas [7061878], b) gramíneas [7061878], c) solo exposto [7062180] e d) sombra [7062180].

Avaliando-se as respostas espectrais classe-a-classe, pode-se examinar que houve uma mudança geral – nas quatro feições em cada cena com alterações de ambos parâmetros – em relação à imagem original, como pode ser observado nos gráficos das Figuras 3 e 4, adequando-se melhor à curva esperada para os alvos, de acordo com Bowker *et al.* (1985) e Ponzoni (2001). A feição que apresentou estas maiores discrepâncias foi a de solo exposto, em torno de 210%, seguida das gramíneas (175,11%), florestas (140,88%) e por último as sombras com cerca de 80%; com aumento nítido de contraste entre elas em análise visual, e não apresentando grandes diferenças entre o grupo de imagens-resultado das elevações e das visibilidades.

Em relação aos deslocamentos em cada banda espectral, aquelas que apresentaram os maiores percentuais de alteração foram a do infravermelho próximo (321,88) e do vermelho-borda (210,64), enquanto as da faixa da energia eletromagnética visível apresentaram variações entre 50-100%. Isto quer dizer que apesar dos menores comprimentos de onda sofrerem as maiores interferências atmosféricas, não foram eles quem evidenciaram a necessidade da correção atmosférica, mas sim as bandas acima de 690  $\mu\text{m}$ , aquelas bastante utilizadas em estudos de cobertura vegetal, podendo portanto comprometer análises com índices de vegetação e biomassa, subestimando-as.

Buscando-se determinar a imagem-resultado com representação mais precisa do mundo real, reconheceu-se que os testes com as profundidades ópticas muito abaixo do estimado (de 20 a 30 km) pelo SPECTRA apresentaram perda na variação tonal (Figura 5b, 5c), aparentando ruídos. Esta alteração na resposta espectral do alvo foi utilizada como critério de eliminação, e aceitou-se os valores de visibilidade próximos ao estimado (a partir de 20 km), que apresentaram grande proximidade entre si, indicando uma estabilização (Figura 5d, 5e, 5f).

Quanto às elevações, como houve pouca mudança relativa entre os testes com sua variação, admitiu-se a média aritmética das altitudes da área como um bom dado de entrada.

O resultado da combinação de ambos os parâmetros para cada cena está exposto na Figura 6, onde percebe-se visualmente as diferenças em relação às imagens originais da Figura 1 e melhor adequação entre elas no mosaico. Além disso, cabe ressaltar que registrou-se um incremento proporcional e contínuo do brilho das cenas estudadas de acordo com o aumento dos valores de visibilidade, sendo maiores nos menores comprimentos de onda; e este clareamento apresentou comportamento diferenciado nas feições – mais nítidos nas sombras do que nas áreas com cobertura vegetal – resultando no aumento do contraste como um todo.

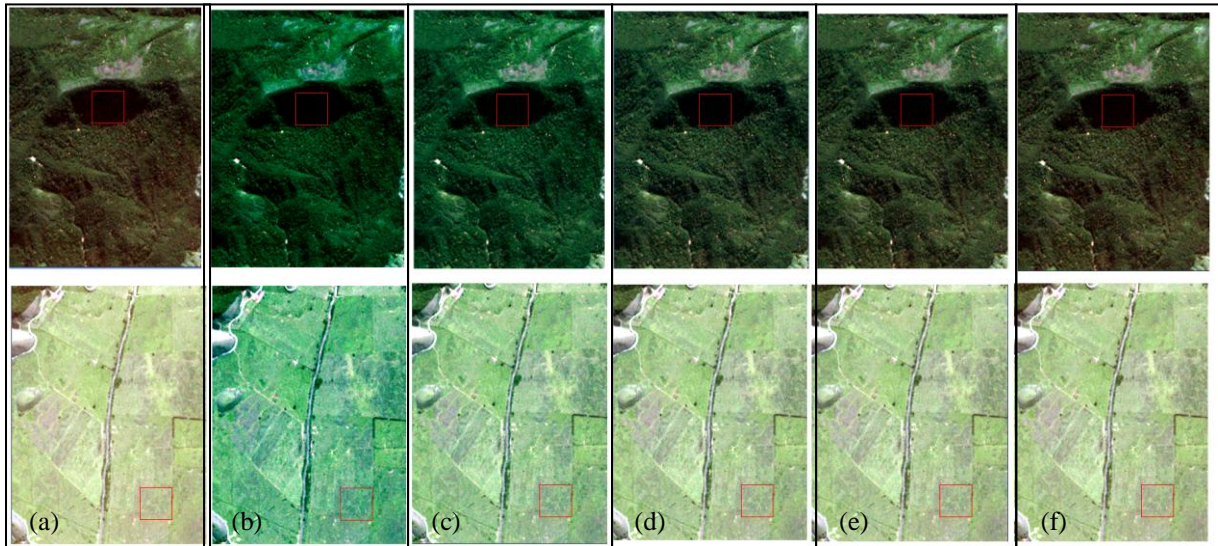


Figura 5. Comparação entre a imagem bruta (a) e as imagens-resultado com variação de visibilidade 20 a 60km (b a f). R(1) G(2) B(3) [7062405].

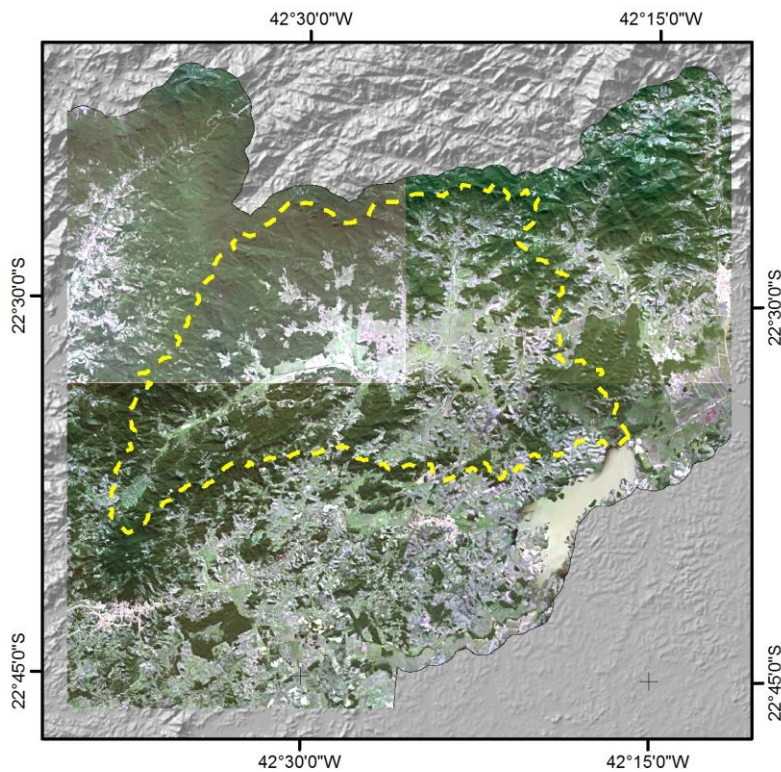


Figura 6. Imagens-resultado das correções atmosféricas. R(1) G(2) B(3) com desvio padrão = 2.

#### 4. Conclusões

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que o processo da correção atmosférica nas cenas *RapidEye* (satélites 1, 4 e 5) na área de estudo exibiu diferenças significativas quando comparados à imagem original. Essa conclusão se confirma quando se identifica uma maior aproximação à curva espectral esperada para as diferentes feições selecionadas, quando examinadas simultaneamente com aquelas consagradas pela literatura preexistente.

Em relação aos testes com diferentes valores para os parâmetros de elevação e visibilidade, mantendo-se constante os demais parâmetros, observou-se uma maior variação da profundidade óptica que causa uma maior interferência quando comparada com as médias das altitudes, sendo portanto, um parâmetro mais sensível e que exige maior atenção dos especialistas quanto às suas definições.

Para o caso específico do sistema-sensor *RapidEye*, deve-se também ter atenção para o fato de se ter mais de um sensor, já que o programa consiste em uma constelação de 5 microsatélites, que necessitam estar igualmente calibrados para adequação daquelas análises que os abrangem.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos.

#### Referências Bibliográficas

Bowker, R.E. Davis, D.L. Myrick, K. Stacy, W.T. **Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies**. Springfield: NASA, 1985. 188 p.

Chandrasekhar, S. **Radioactive transfer**. New York: Dover Publications, 1960. 393 p.

Geosystems. **ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011: Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction**. Germany: Germering, 2011. 226 p.

Idso, S.B., Baker, D.G., Gates, D.M. The energy environment of plants. In: Norman, A.G. (Ed.). **Advances in Agronomy**. New York: Academic Press, 1966. p. 171-218.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Kaufman, Y. The atmospheric effect on remote sensing and its correction. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley & Sons, 1989. cap. 9, p. 336-428.

Ponzoni, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P.R.; Netto, J.S.M. (Org.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB/Embrapa Cerrados, 2001. cap. 5, p. 157-199.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

Richter, R. **Atmospheric correction algorithm for flat terrain: Model ATCOR2**. Wessling: Geosystems, 2000. 208 p.

Zullo, J. **Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações**. 1994. 190 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Campinas, Campinas. 1994.