

Avaliação de diferentes métodos de correção topográfica em uma região montanhosa do sudeste de Minas Gerais

Sidney Geraldo Silveira Velloso¹
José Marinaldo Gleriani¹
Vicente Paulo Soares¹
Júlio César Oliveira²

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV
36570-000 – Viçosa – MG Brasil

² Universidade Federal de Viçosa - UFV
Depto. Eng. Agrimensura e Cartográfica
36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{sidney.veloso, gleriani, vicente, oliveirajc}@ufv.br

Abstract. Topographic correction models have been proposed to correct remote sensing data obtained in rough terrain. Among these models, three were selected to be applied in a RapidEye image obtained over a region of strongly rough terrain in the southeastern State of Minas Gerais, Brazil. The models were SCS, Minnaert and Minnaert + SCS combined and their evaluation was performed using statistical analysis before and after correction. The K constant values estimated for the Minnaert and Minnaert models should be treated with caution, since they usually have the same value between 0 and 1. Results showed that there was overcorrection for the three models evaluated and that they were inefficient to correct other regions of the image, since the standard deviation decreased compared with that presented by the original image when few bands were used. It is possible that the inaccuracy of the digital elevation model used may have contributed to this result, as well as the limitation of the model itself, as in the case of SCS model that assumes the same shading for all bands of the image.

Palavras-chave: image processing, ASTER/DEM, overcorrection, processamento de imagens, ASTER/DEM, sobrecorreção

1. Introdução

Dados obtidos a partir de sensores a bordo de satélites têm sido largamente utilizados nas últimas décadas (Boyd e Danson, 2005; Miller e Small, 2003; Nagendra, 2001). No entanto, a análise dos mesmos é dificultada devido à grande complexidade da interação entre radiação e superfície, envolvendo fatores como a interferência da atmosfera (Jackson et al., 1983), geometria de iluminação e observação (Jackson et al., 1990), solo de fundo (Qi et al., 1993) e topografia (Richter, 1997). Com isso, metodologias/modelos que busquem a correção dos dados foram desenvolvidas ao longo dos anos, uma vez que os mesmos apresentam certas distorções de caráter aleatório ou sistemático. Dentre aquelas de caráter aleatório, encontram-se as distorções causadas graças às imperfeições da superfície terrestre. Gao e Zhang (2009) citam que tais imperfeições têm a característica de induzir com que mesmas classes de feições (vegetação, solo, áreas urbanas, etc.) apresentem respostas espectrais distintas em imagens de sensoriamento remoto geradas sobre regiões de relevo montanhoso ou acidentado.

Diversos modelos de correção dos efeitos topográficos foram propostos com base em alguns parâmetros de iluminação solar no momento de captura da imagem como ângulo zenital solar, ângulo azimutal solar e ângulo de incidência solar, bem como em alguns parâmetros de declividade e exposição do terreno como ângulo zenital da normal da superfície e ângulo azimutal da normal da superfície, podendo-se citar os modelos SCS (sun-canopy-sensor) (Gu e Gillespie, 1998), correção de Minnaert (Smith et al., 1980) e correção de Minnaert e SCS combinados. Os modelos citados fazem parte de um grupo de algoritmos para correção topográfica denominado “métodos baseados em modelos digitais de elevação”

(*DEM-based methods*), que incluem três tipos de métodos: de abordagem empírica, métodos Lambertianos e métodos não-Lambertianos.

Para Law e Nichol (2004), a qualidade da aplicação de modelos de correção topográfica foi avaliada tanto pela análise visual da imagem gerada pelos modelos, bem como pela análise estatística entre valores de pixel das imagens antes e após a correção. O embasamento para análise estatística, de acordo com estes mesmos autores, é centrado em duas afirmativas principais: a primeira é que se a correção topográfica for bem sucedida, a média dos valores digitais de cada classe sob sombreamento deve aumentar, enquanto a média das classes em áreas ensolaradas deve diminuir e, a segunda, é que o desvio padrão de cada classe da imagem deve reduzir após uma aplicação bem sucedida de algoritmos de correção topográfica.

A análise visual consiste na escolha da imagem que apresente melhor aparência após a aplicação da correção topográfica, promovendo, no entanto, uma metodologia de avaliação subjetiva. Embora a análise estatística promova também subjetividade às inferências (uma vez que são necessárias coletas de amostras de treinamento), esta será bem menos pronunciada que aquela promovida pela análise visual.

Portanto, de acordo com o exposto, o objetivo do presente trabalho foi analisar estatisticamente o uso de diferentes métodos de correção topográfica (SCS, Minnaert e Minnaert + SCS) em uma imagem RapidEye obtida sobre uma região montanhosa a sudeste do estado de Minas Gerais.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada a sudeste do estado de Minas Gerais, compreendendo uma região que abrange parte dos municípios de Araponga, Fervedouro, Divino, Carangola, São Francisco do Glória e Miradouro, sob coordenadas UTM 763543,6146, 788544,3958 nas extremidades leste-oeste e 7695545,5815, 7720545,3841 nas extremidades norte-sul do fuso 23S. De relevo ondulado e inserida no domínio da mata atlântica, a região apresenta uma grande área de vegetação nativa e diversos fragmentos florestais de menor dimensão envolvidos em uma matriz constituída por pastagens, além de estarem presentes áreas urbanas e de cafeicultura distribuídas pontualmente. A Figura 1 apresenta a localização da área.

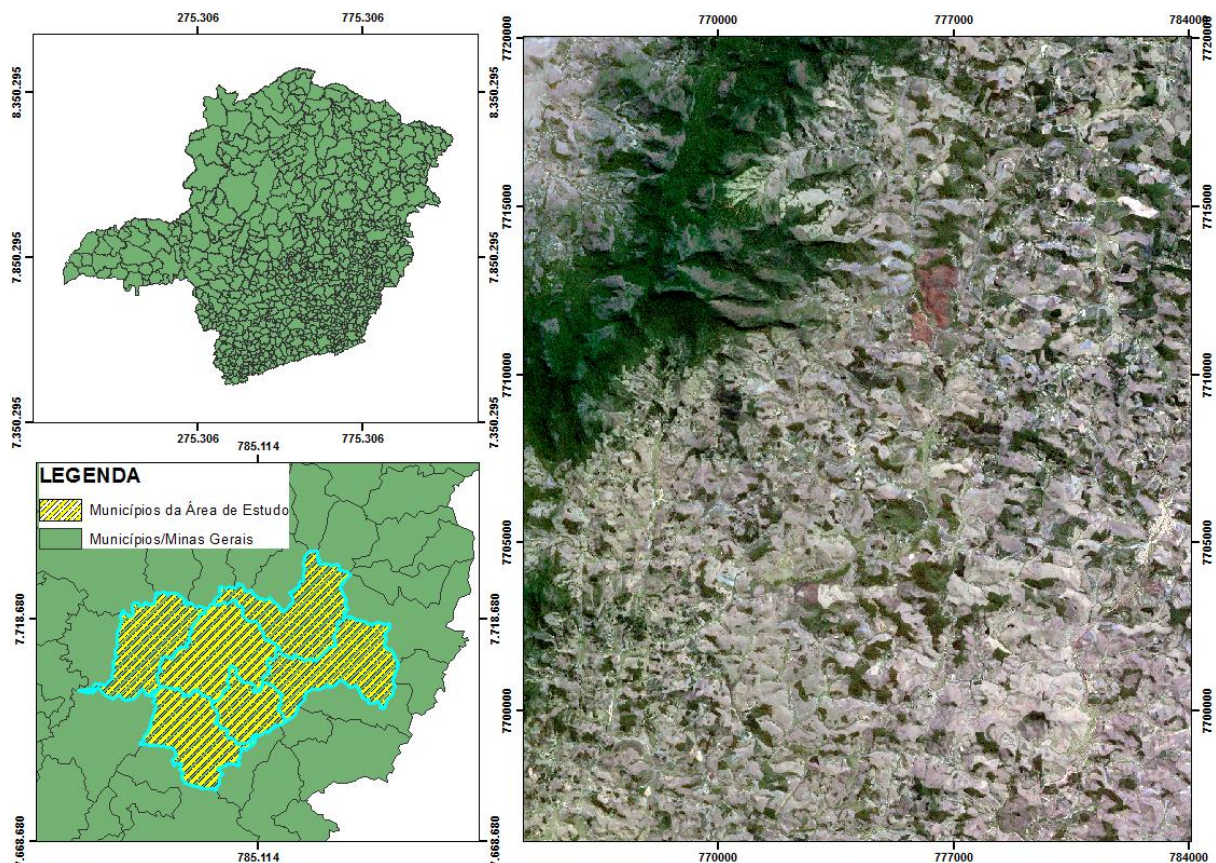


Figura 1. Localização da área de estudo e composição 3R2G1B de uma imagem RapidEye de 04/11/2011.

2.2 Dados orbitais e software

Foi utilizada uma imagem proveniente do sensor RapidEye de 04 de setembro de 2011, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), através do geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente na internet (<http://geocatalogo.ibama.gov.br/>). Composto por uma constelação de 5 satélites, os sensores da missão RapidEye apresentam resoluções espacial de 5 metros, radiométrica de 16 bits e espectral de 5 bandas, incluindo as regiões do azul (0,44 – 0,51 μm), verde (0,52 – 0,59 μm), vermelho (0,63 – 0,685 μm), transição (*Red-Edge*) (0,69 – 0,73 μm) e infravermelho próximo (0,76 – 0,85 μm) do espectro eletromagnético (Stoll et al., 2012). Foram obtidos valores de zênite e azimute solar para a imagem, a partir de seus metadados.

Também foi utilizado um modelo digital de elevação (DEM) obtido através do portal Japan Space System (<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/index.html>) na projeção UTM/WGS-84. Os modelos digitais de elevação do sensor ASTER são obtidos a partir do par estereocópico entre a visada a nadir e a retrovisada (Welch et al., 1998).

Os procedimentos metodológicos foram conduzidos por meio de módulos contidos no *software* SPRING-5.2.6.

2.3 Correção Topográfica

Os modelos utilizados para correção topográfica da imagem supracitada, suas formulações e tipos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Modelos de correção topográfica, seus tipos e formulações.

| Modelos | Tipo | Formulação |
|--------------|-----------------|---|
| SCS | Lambertiano | $L_m = L \left(\frac{\cos \theta \cos \alpha}{\cos i} \right)$ |
| Minnaert | Não-Lambertiano | $L_m = L \left(\frac{\cos \alpha}{\cos^k i \cos^k \alpha} \right)$ |
| Minnaert-SCS | | $L_m = L \left(\frac{\cos^k \theta \cos \alpha}{\cos^k i} \right)$ |

Sendo: L_m valor de radiância corrigido do pixel da imagem, L valor de radiância original do pixel da imagem, θ ângulo zenital solar, i ângulo de incidência numa superfície horizontal, α ângulo de declividade do terreno e k constante de Minnaert.

De posse dos dados citados anteriormente e das formulações apresentadas na tabela 1, foram geradas através de LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico) imagens corrigidas topograficamente. Para tanto, primeiramente foram extraídas informações de declividade e exposição solar a partir do DEM, para que se derivasse o parâmetro $\cos i$ como mostra a equação 1.

$$\cos i = \cos \alpha \cos \theta + \sin \alpha \sin \theta \cos (\Phi_s - \Phi_e) \quad (1)$$

Onde:

Φ_s : ângulo azimutal solar

Φ_e : ângulo azimutal de elevação

Com $\cos i$ calculado, primeiramente o modelo SCS foi aplicado. Para aplicação dos demais modelos foi necessário estimar a constante de Minnaert (k) através de regressão linear. Para isso, a formulação apresentada na tabela 1 para o modelo de Minnaert foi linearizada matematicamente conforme equações 2 e 3, baseado em Colby (1991).

$$y = \log (L \cos \alpha), \text{ variável dependente;} \quad (2)$$

$$x = \log (\cos i \cos \alpha), \text{ variável independente} \quad (3)$$

Os valores de entrada (variáveis dependentes e independentes) foram obtidas por amostragem na imagem original, de onde foram extraídos os valores de y e x por pixel, gerados anteriormente via LEGAL. Os coeficientes a e b da equação de regressão linear $y = a + bx$ foram estimados pelo programa computacional CurveExpert, sendo $b = k$. Estimados os valores de k para cada uma das bandas, os modelos de Minnaert e Minnaert-SCS foram aplicados.

A avaliação da qualidade dos modelos propostos se deu pelo cálculo dos desvios-padrão de cada modelo, em cada banda para cada classe, analisando sua variação em relação ao desvio-padrão da imagem original. Portanto, foram coletadas amostras sobre regiões da imagem com cobertura de floresta, pastagem e cafeicultura (classes), e computadas suas estatísticas, bem como suas variações em relação às bandas originais.

3. Resultados e Discussão

As composições 3R2G1B para as bandas da imagem original e para cada um dos modelos aplicados são apresentadas na Figura 2.

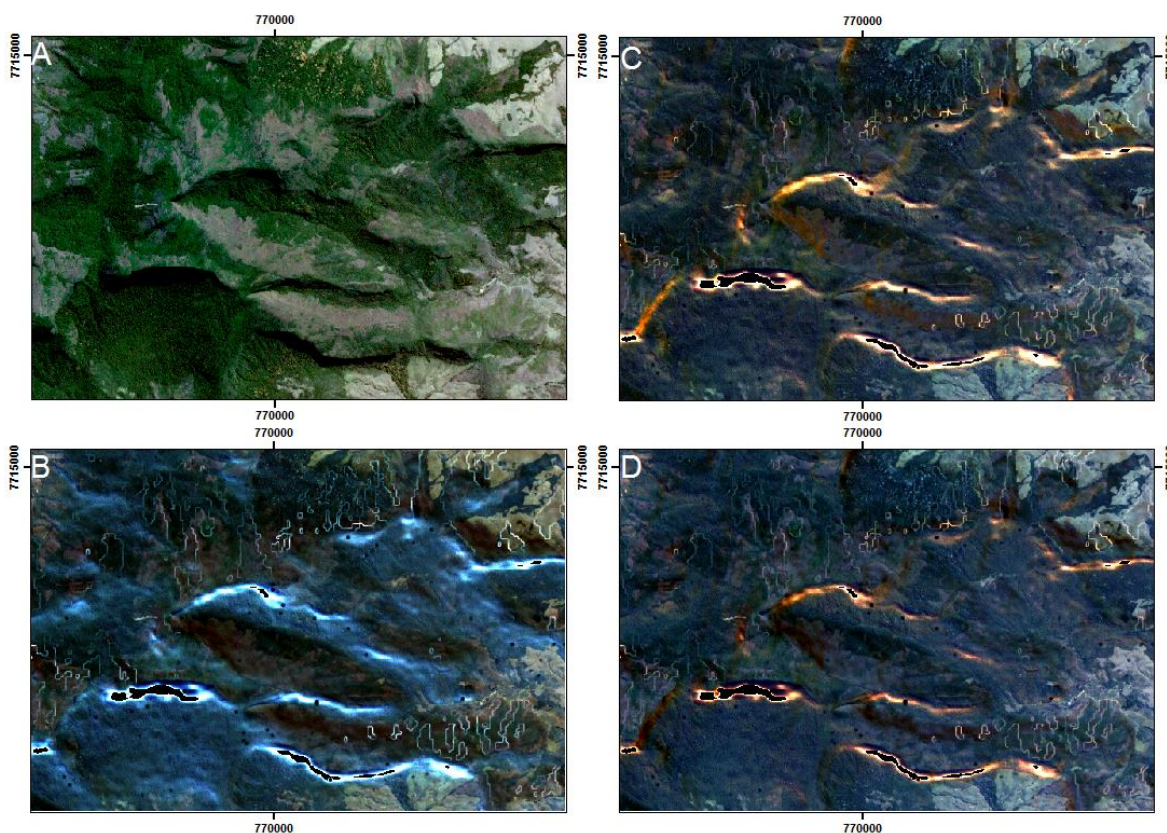


Figura 2. Composição 3R2G1B com as bandas da imagem original (A), SCS (B), Minnaert (C) e Minnaert-SCS (D), com destaque para áreas de sobrecorreção.

Os valores de desvio-padrão para cada classe e todos os modelos são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2. Valores de desvio-padrão para cada modelo aplicado e para a imagem original, em cada banda da classe floresta.

| Imagens | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| Original | | | | | |
| Desvio-Padrão | 172,7 | 252,6 | 173,9 | 414,7 | 1111,6 |
| SCS | | | | | |
| Desvio-Padrão | 589 | 440,2 | 253,8 | 466 | 1144,5 |
| Minnaert | | | | | |
| Desvio-Padrão | 253,8 | 341 | 427,8 | 519 | 1085,4 ^a |
| Minnaert-SCS | | | | | |
| Desvio-Padrão | 258,2 | 297,4 | 283,1 | 417,2 | 1017,7 ^a |

Onde: ^a representativo de que o valor foi menor que aquele encontrado para a imagem original.

Tabela 3. Valores de desvio-padrão para cada modelo aplicado e para a imagem original, em cada banda da classe pastagem.

| Imagens | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
|---------------|-------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
| Original | | | | | |
| Desvio-Padrão | 388,1 | 612,8 | 784,2 | 698,2 | 772,7 |
| SCS | | | | | |
| Desvio-Padrão | 789,2 | 774,3 | 773,3 | 753 | 881,2 |
| Minnaert | | | | | |
| Desvio-Padrão | 407 | 659,7 | 1064,3 | 790 | 764,3 ^a |
| Minnaert-SCS | | | | | |
| Desvio-Padrão | 412,4 | 607,3 ^a | 819,2 | 688,1 ^a | 744,9 ^a |

Onde: ^a representativo de que o valor foi menor que aquele encontrado para a imagem original.

Tabela 4. Valores de desvio-padrão para cada modelo aplicado e para a imagem original, em cada banda da classe cafeicultura.

| Imagens | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
|---------------|-------|-------|-------|--------------------|------------------|
| Original | | | | | |
| Desvio-Padrão | 259,3 | 412,4 | 595,3 | 537,1 | 1000,2 |
| SCS | | | | | |
| Desvio-Padrão | 750,6 | 604,4 | 628,6 | 572,5 | 1361,9 |
| Minnaert | | | | | |
| Desvio-Padrão | 322,9 | 494,3 | 875 | 636,7 | 1059 |
| Minnaert-SCS | | | | | |
| Desvio-Padrão | 297 | 419,8 | 659,3 | 497,5 ^a | 960 ^a |

Onde: ^a representativo de que o valor foi menor que aquele encontrado para a imagem original.

Os valores de k encontrados foram 0,365, 0,615, 1,11, 0,831 e 0,467 para as bandas 1, 2, 3, 4 e 5 da imagem RapidEye, respectivamente. Para a maioria dos alvos terrestres o valor de k varia entre 0 e 1, portanto, verifica-se ineficácia quanto à sua estimativa para a banda 3. Este valor representa quão lambertiana é a superfície sob investigação, e segundo Justice e Holben (1979), nos casos de $k > 1$ tem-se que o modelo de Minnaert é falho.

A análise da Figura 2 mostra que os modelos de correção topográfica aplicados à imagem original resultaram em sobrecorreção do valor digital dos pixels em regiões de relevo íngreme. A sobrecorreção nessas regiões advém do fato de que os modelos de correção topográfica estimam valores de radiação direta para tais áreas, quando as mesmas somente apresentavam radiação difusa. Tal resultado já havia sido encontrado por demais autores como Zhang et al. (2011) e Richter et al. (2009).

Pela análise dos valores providos pelas Tabelas 2, 3 e 4, pode-se inferir que nenhum modelo reduziu o desvio padrão das imagens em todas as bandas. O modelo SCS não diminuiu o desvio-padrão em nenhuma banda, de nenhum modelo em nenhuma classe. O modelo combinado de Minnaert-SCS foi o que trouxe maiores benefícios, mesmo assim, somente em algumas bandas das classes de estudo. De maneira geral, os modelos elevaram os valores de desvio-padrão em relação àqueles apresentados pela imagem original, conferindo assim, uma piora às imagens após sua aplicação.

A causa de tais resultados pode estar atribuída à inexatidão do DEM utilizado para derivação de parâmetros da superfície, pois, segundo Wechsler e Kroll (2006), modelos digitais de elevação e dados espaciais apresentam incertezas e, seus usuários os utilizam como uma superfície real ao invés de utilizá-los como um modelo. Além disso, Holmes et al. (2000) relatam que informações acerca de coleta de dados, processamento e distribuição de erros, geralmente estão indisponíveis aos usuários de modelos digitais de elevação e os mesmos negligenciam tais informações.

Deve-se destacar também que os modelos utilizados apresentam suas próprias limitações. O modelo SCS ao estimar a correção dos efeitos topográficos em todas as bandas simultaneamente, confere resolução do problema muito generalista, uma vez que as bandas da imagem não são afetadas pelo sombreamento dos alvos da mesma maneira. Embora o modelo de Minnaert incorpore um coeficiente (k) para cada banda separadamente, e a banda 3 tenha apresentado valor irreal para sua estimativa, o mesmo não trouxe os benefícios esperados quando da sua aplicação.

4. Conclusões

Conclui-se que modelos de correção topográfica podem induzir sobrecorreções em regiões de relevo fortemente acidentado presentes em imagens provenientes de imageamento remoto orbital. Os modelos aqui aplicados não foram eficientes em reduzir o desvio padrão das classes estudadas, devendo, portanto, serem levantadas ressalvas quanto seu uso, tanto em relação aos parâmetros de superfícies estimados a partir de modelos digitais de elevação, quanto aos modelos propriamente ditos.

Atenção especial deve ser dada à estimativa do coeficiente k quando do uso de modelos que o mesmo seja necessário. Embora comumente variando entre 0 e 1, seu valor pode se apresentar superior à unidade, inviabilizando portanto o uso do modelo nas bandas em que tal fato ocorrer.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio da FAPEMIG e ao Ministério do Meio Ambiente pelo acesso ao banco de cenas do sensor RapidEye.

Referências Bibliográficas

- Boyd, D.S.; Danson, F.M. Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development. **Progress in Physical Geography**, v. 29, n.1, p.1-26, 2005.
- Colby, J.D. Topographic normalization in rugged terrain, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.57, n.5, p.531-537, 1991.
- Gao, Y.; Zhang, W. A simple empirical topographic correction method for ETM+ imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.30, n.9, p.2259-2275, 2009.
- Gu, D.; Gillespie, A. Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel sun-canopy-sensor geometry. **Remote Sensing of Environment**, v.64, n.2, p.166-175, 1998.
- Holmes, K.; Chadwick, O.; Kyriakidis, P. Error in a USGS 30-meter digital elevation model and its impact on terrain modeling. **Journal of Hydrology**, v.233, n.1-4, p.154-173, 2000.
- Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Pinter Jr., P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indexers through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of the Environment**, v.13, n.3, p.187-208, 1983.
- Jackson, R.D.; Teillet, P.M.; Slater, P.N.; Fedosejevs, G.; Jasinski, M.F.; Aase, J.K.; Moran, M.S. Bidirectional measurements of surface reflectance for view corrections of oblique imagery. **Remote Sensing of the Environment**, v.32, n.2-3, p.189-202, 1990.

Justice, C.; Holben, B. **Evaluation and modeling of the topographic effects on the spectral response from the nadir pointing sensor**. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 1979. (NASA Tec. Mem 80305).

Law, K.; J. Nichol. Topographic correction for differential illumination effects on Ikonos satellite imagery. In: International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Science, 2004. **Anais do 20º ISPRS: Geo-imagery bridging continents**, v.23, Istambul, Turquia, 2004.

Miller, R. B.; Small, C. Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy. **Environmental Science & Policy**, v.6, n.2, p.129-137, 2003.

Nagendra, H. Using remote sensing to assess biodiversity. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.2, p.2377-2400, 2001.

Qi, J.; Huete, A.R.; Moran, M.S.; Chehbouni, A.; Jackson, R.D. Interpretation of vegetation indexes derived from multitemporal SPOT images. **Remote Sensing of the Environment**, v.44, n.1, p.89-101, 1993.

Richter, R.; Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolutions satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.5, p.1099-1111, 1997.

Richter, R.; Kellenberger, T.; Kaufmann, H. Comparison of topographic correction methods. **Remote Sensing**, v.1, n.3, p.184-196, 2009.

Smith, J.A.; Lin, T.L.; Ranson, K.J. The Lambertian assumption and Landsat sensor topographic correction in forested terrain, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.46, n.9, p.1183-1189, 1980.

Stoll, E.; Konstanski, H.; Anderson, C.; Douglas, K.; Oxford, M. The RapidEye constellation and its data products. **Anais...IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana**, p.1-9, 2012.

Wechsler, S.P.; Kroll, C.N. Quantifying DEM uncertainty and its effect on topographic parameters. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.72, n.9, p.1081-1090, 2006.

Welch, R.; Jordan, T.; Lang, H.; Murakami, H. ASTER as a source for topographic data in the late 1990's. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1282-1289, 1998.

Zhang, Z.; De Wulf, R.; Van Coillie, F.M.B.; Verbeke, L.P.C.; De Clercq, E. M.; Ou, X. Influence of different topographic correction strategies on mountain vegetation classification accuracy in the Lancang Watershed, China. **Journal of Applied Remote Sensing**, v.5, n.1, 2011.