

Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação NDVI em imagens Landsat 5 e RapidEye

Beatriz Fernandes Simplicio Eduardo¹
Antonio José Ferreira Machado e Silva¹

¹AMS Kepler Engenharia de Sistemas
Av. Armando Lombardi, 800 - sala 206 - 22640-906 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{beatrizsimplicio, antonio}@amskepler.com

Abstract. Atmospheric correction is an important preprocessing step required in many remote sensing applications. The objective of this process is to retrieve the surface reflectance (that characterizes the surface properties) from remotely sensed imagery by removing the atmospheric effects. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from satellite image data have become one of the primary information sources for monitoring vegetation conditions and mapping land cover change. NDVI is a function of red and near-infrared spectral bands. The aim of this work is compare NDVI values from both non-corrected and corrected images. NDVI have been calculated for two different images. The first one is a Landsat image, and the second one is RapidEye's. Both images correspond to the same area during the same period. Atmospheric corrections have been carried out at ATCOR2 (ATmospheric CORrection) module of ERDAS IMAGINE®, which uses MODTRAN-4 (MODerate Resolution Atmospheric TRANsmittance Algorithm) code. Mean NDVI values were analyzed for vegetation, soil, grass, and water classes. The mean difference between the two images NDVI values were 0.12, 0.18, 0.14, and 0.18, for vegetation, exposed soil, grass, and water classes, respectively. After correction these values fell to 0.04, 0.03, 0.04 e 0.02, respectively. It is possible to conclude using these results that corrected images have better agreement than those that have not. This indicates that this methodology is consistent with the evaluated sensor images.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

1. Introdução

As atuais e crescentes preocupações com a sustentabilidade ambiental requerem informações precisas para o planejamento e o uso racional dos recursos naturais terrestres. Nesse contexto, as imagens de satélite e as técnicas inerentes ao processamento das mesmas apresentam-se como uma ferramenta indispensável para esse tipo de demanda.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto que resultem em dados precisos, contribui significativamente para a obtenção de informações úteis a diversas áreas do conhecimento, principalmente para a área ambiental. O sensor considerado ideal varia com cada tipo de aplicação e deverá ser escolhido com cautela. Dois sensores que têm sido bastante usados nesta área são o Landsat 5 e o RapidEye. A constelação de satélites RapidEye possui revisitas diárias e captura imagens em cinco bandas espectrais, com alcance de comprimento de onda entre 0,44 μm e 0,85 μm . A resolução espacial original de cada banda é de 6,5 metros, chegando a um *pixel* de 5m após a ortorretificação das imagens e são compatíveis com a escala de 1:25000. Já o Landsat 5, possui resolução espacial de 30m e temporal de 16 dias; operando nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal. O alcance de comprimento de onda fica entre 0,45 μm e 12,50 μm .

O valor digital de cada *pixel* representa a resposta espectral média dos alvos contidos no *pixel*. No cálculo do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), esses valores devem ser convertidos para valores físicos de reflectância já que, de acordo com Moreira (2005), as reflectâncias dos alvos são transformadas em índices de vegetação, possibilitando a análise do comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI é resultado da diferença entre a reflectância no infravermelho próximo e a reflectância do vermelho, dividida pela soma das duas reflectâncias. Essa equação gera um índice que poderá variar de -1 a 1. As regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo são afetadas diretamente pelos efeitos

atmosféricos de espalhamento, provocados pelos aerossóis atmosféricos e absorção ocasionada pelo vapor d'água e ozônio. Liesenberg et al. (2006), avaliaram a influência da geometria de visada sobre o NDVI e concluíram que é importante considerar os efeitos do ângulo de visada e dos efeitos atmosféricos em análises quantitativas do NDVI em estudos temporais. De acordo com (Zullo Jr., 1994) os efeitos atmosféricos ocasionam a redução dos reais valores que deveriam ser registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho em cada ponto da imagem. Desta forma, a correção atmosférica apresenta-se como um processo essencial para atenuar esses efeitos indesejados.

O objetivo deste trabalho foi comparar os valores de dados do índice de vegetação NDVI entre duas imagens de sensores diferentes (RapidEye e Landsat 5), adquiridas na mesma época, visando avaliar os resultados obtidos a partir de imagens corrigidas, daqueles obtidos a partir de imagens que não foram submetidas ao processo de correção atmosférica.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se entre os municípios de Macaé, Rio das Ostras e Casimiro de Abreu, RJ e está inserida entre as coordenadas $22^{\circ} 19' 33.3''\text{S}$ e $42^{\circ} 2' 0.4''\text{W}$, $22^{\circ} 33' 3.34''\text{S}$ e $41^{\circ} 47' 43.47''\text{W}$ (Figura 1).

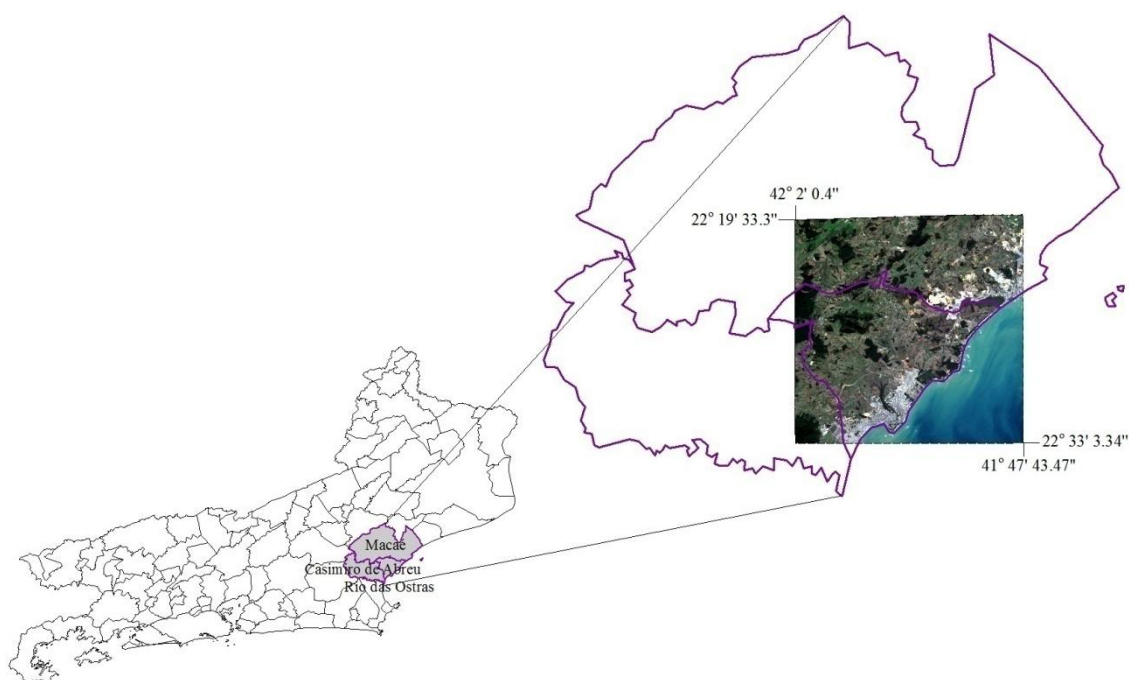


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado do Rio de Janeiro.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas duas imagens: uma do sensor RapidEye, adquirida em 04/09/2011 e outra do Landsat 5, adquirida em 07/09/2011.

A metodologia proposta foi realizada nas seguintes etapas: (2.1) Reamostragem dos *pixels* da imagem RapidEye; (2.2) Correção geométrica das imagens; (2.3) conversão de ND para valores físicos de reflectância; (2.4) Correção atmosférica; (2.5) cálculo do NDVI; (2.6) Recorte da área de interesse.

2.1 Reamostragem dos *pixels*

Os *pixels* da imagem RapidEye foram reamostrados para 30 metros, mesma resolução espacial da imagem Landsat. O procedimento foi realizado no software ERDAS IMAGINE® usando o método do vizinho mais próximo. Essa interpolação transfere para a imagem reamostrada o valor de brilho do *pixel* da imagem original que estiver mais próximo. É um método vantajoso por ser rápido e não alterar os valores radiométricos da imagem original (Schowengerdt, 1997).

2.2 Correção geométrica

As imagens, por serem de sensores diferentes, foram registradas antes de prosseguir com as demais etapas. A imagem do satélite Landsat 5 foi registrada com base na imagem RapidEye, utilizando pontos de controle distribuídos na área de interesse. A função de mapeamento utilizada foi de terceiro grau (cúbica) e reamostrada pelo método do vizinho mais próximo.

2.3 Conversão de ND para reflectância

Quando se deseja comparar imagens de diferentes sensores, em diferentes datas ou épocas do ano, é necessário que se transforme a imagem, que está em DN, para reflectância na superfície. O processo consiste em duas etapas: conversão dos valores de número digitais (ND) para radiância espectral e, em seguida, para reflectância. Para essa transformação, os modelos existentes usam parâmetros associados a cada sensor.

2.3.1 Em imagens Landsat 5

Para as imagens Landsat, obtêm-se a radiância usando a Equação 1:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

L_{λ} : Radiância espectral na abertura do sensor em watts/(metro quadrado * ster * μm);

QCAL: Valor quantizado calibrado de um *pixel* em nível de cinza;

$LMIN_{\lambda}$: Radiância espectral que é dimensionada para QCALMIN em watts/(metro quadrado * ster * μm);

$LMAX_{\lambda}$: Radiância espectral que é dimensionada para QCALMAX em watts/(metro quadrado * ster * μm);

QCALMIN: Valor mínimo quantizado calibrado de um *pixel* (correspondente à $LMIN_{\lambda}$) em nível de cinza;

QCALMAX: Valor máximo quantizado calibrado de um *pixel* (correspondente à $LMAX_{\lambda}$) em nível de cinza igual a 255.

$LMIN_{\lambda}$ e $LMAX_{\lambda}$ são os valores de radiância correspondentes aos valores mínimo e máximo de nível de cinza, e são apresentados no arquivo de metadados para cada imagem. Também no arquivo de metadados são obtidas as informações sobre elevado ganho (*high gain*) ou baixo ganho (*low gain*). O menor valor de nível de cinza (QCALMIN) é igual a 1, e o valor máximo de nível de cinza (QCALMAX) é igual a 255. QCAL é o valor de nível de cinza para cada *pixel* individual.

A reflectância será obtida usando a Equação 2:

$$\rho_p = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s} \quad (2)$$

ρ_p : Reflectância;

L_{λ} : Radiância espectral na abertura do sensor;

d: Distância entre a Terra e o Sol em unidades astronômicas;
 ESUN_λ: Irradiância solar na exoatmosfera;
 θ_s: Ângulo zenital solar;

2.3.2 Em imagens RapidEye

Para converter o número digital (DN) para radiância é necessário multiplicar o valor de DN pelo valor de escala radiométrica (*radiometricScaleFactor*) fornecido no arquivo de metadados da imagem, conforme exibido na Equação 3.

$$RAD(i) = DN(i) * radiometricScaleFactor(i) \quad (3)$$

A partir dos valores da radiância, calcula-se a reflectância no topo da atmosfera, conforme apresenta a Equação 4:

$$REF(i) = RAD(i) \frac{\pi * SunDist^2}{EAI(i) * \cos(SolarZenith)} \quad (4)$$

Onde:

i: Número de bandas espectrais

REF: valor de reflectância

RAD: valor de radiância

SunDist: Distância entre a Terra e o Sol no dia da aquisição da imagem em unidades astronômicas

EAI: Irradiância solar na exoatmosfera

SolarZenith: Ângulo zenital solar (= 90° - elevação solar)

2.3 Correção atmosférica

A presença da atmosfera pode causar diversos efeitos como a diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto na imagem. De acordo com Zullo Jr. (1994), a absorção e o espalhamento da luz solar são causados pela presença dos gases (vapor d'água, ozônio, oxigênio e dióxido de carbono) e dos aerossóis (pequenas partículas materiais, diferentes do gelo e da água, em suspensão com raio variando de 0,10 μm a 10 μm).

A correção atmosférica foi realizada no ATCOR2 (*ATmospheric CORrection*), um módulo do software ERDAS IMAGINE® e que utiliza o código MODTRAN-4 (*MODerate Resolution Atmospheric TRANsmittance Algorithm*). O ATCOR é um algoritmo desenvolvido para imagens de média e alta resolução espacial, como Landsat TM, SPOT, QuickBird ou RapidEye, desde que sejam fornecidas as características espectrais e os dados de calibração radiométrica de cada sensor.

O ATCOR possui um algoritmo específico para a correção atmosférica das imagens utilizadas neste trabalho. No entanto, é necessário inserir os seguintes parâmetros: data de aquisição da imagem, número de bandas, tipo de sensor, arquivo de calibração do sensor, ângulo de azimute solar, ângulo zenital solar, ângulo azimutal do satélite, ângulo de visada do satélite, modelo atmosférico, elevação média da área de 500 metros e visibilidade da cena.

2.4 Cálculo do NDVI

Para a avaliação da influência da correção atmosférica nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo dos dois sensores, foi calculado o NDVI que é um índice de vegetação e representa o contraste espectral entre a resposta das plantas verdes nas bandas do vermelho e infravermelho próximo. Para obtê-lo, deve-se usar a Equação 5:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (5)$$

Onde, NIR = reflectância espectral da banda do sensor na faixa do infravermelho próximo; R = reflectância espectral da banda do sensor na faixa do vermelho.

Para o satélite Landsat 5 foram utilizadas as bandas 3 (RED, 0.66 μm) e 4 (NIR, 0.83 μm) e para o RapidEye as bandas 3 (RED, 0.657 μm) e 5 (NIR, 0.805 μm), correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, respectivamente.

O cálculo foi realizado no software ERDAS IMAGINE® e os resultados variaram entre -1.0 e + 1.0. Áreas com vegetação mais vigorosa tendem a apresentar valores positivos altos entre 0.5 e 1.0. Já vegetações mais esparsas possuem valores positivos mais baixos, aproximadamente entre 0.2 e 0.5. Os solos possuem valores ainda mais baixos entre 0.1 e 0.2, podendo até alcançar valores negativos. As nuvens apresentam valores próximos de zero e os corpos de água valores negativos.

3.0 Resultados e Discussão

As Figuras 2(a), 2(b), 2(c) e 2(d) apresentam as imagens resultantes do cálculo do NDVI realizados para as imagens Landsat 5 e RapidEye. As áreas claras representam a presença de vegetação e as áreas mais escuras ausência desta.

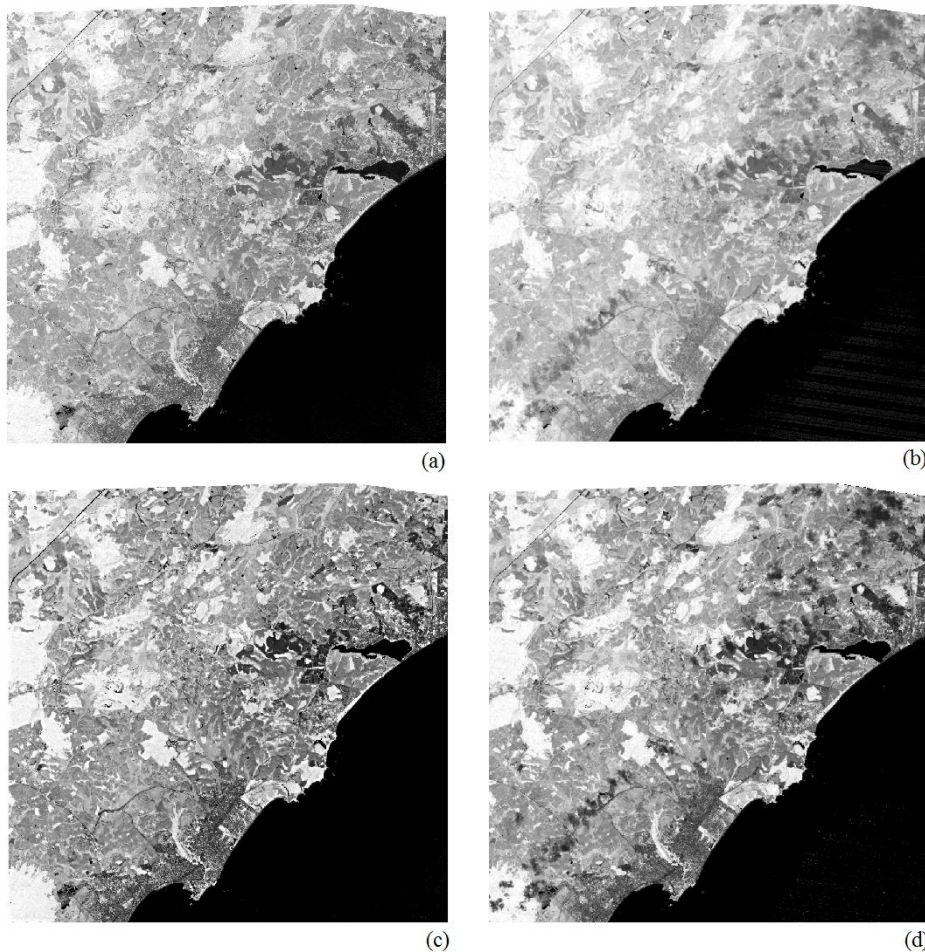


Figura 2 - (a) Imagem NDVI - RapidEye sem correção atmosférica; (b) Imagem NDVI - Landsat 5 sem correção atmosférica; (c) Imagem NDVI - RapidEye com correção atmosférica; (d) Imagem NDVI - Landsat 5 com correção atmosférica;

Foram realizadas comparações entre os valores de NDVI das imagens não corrigidas e corrigidas para os efeitos atmosféricos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de NDVI das imagens Landsat 5 e RapidEye de NDVIs e da diferença da média entre as duas imagens.

Classe	Parâmetro	NDVI sc		Diferença	NDVI cc		Diferença
		LD	RE		LD	RE	
Vegetação	Média	0.78	0.66	0.12	0.82	0.87	0.04
	Variação (%)				5.12	31.81	
Solo exposto	Média	0.24	0.06	0.18	0.05	0.09	0.03
	Variação (%)				-79.16	50.00	
Pastagem	Média	0.59	0.45	0.14	0.52	0.56	0.04
	Variação (%)				-11.86	24.44	
Água	Média	-0.20	-0.38	0.18	-0.47	-0.49	0.02
	Variação (%)				135.0	28.94	

Onde: LD = Landsat; RE = RapidEye; NDVI sc = NDVI sem correção atmosférica; NDVI cc = NDVI com correção atmosférica.

Por meio da análise da Tabela 1 é possível notar a diferença entre os valores médios de NDVI obtidos a partir das imagens corrigidas e não corrigidas. Observa-se que, devido a influência atmosférica, a diferença da média dos valores entre as imagens que não passaram pelo processo de correção atmosférica é sempre maior do que a das imagens que foram corrigidas. Isso acontece por que a presença dos efeitos atmosféricos de espalhamento e absorção ocasionados pelos aerossóis, vapor d'água e do ozônio alteram os valores reais que deveriam ser registrados pelo sensor.

A Tabela 1 ainda apresenta dados que permitem avaliar as variações percentuais entre uma mesma imagem sem correção e com correção. Observa-se que a influência atmosférica faz com que o índice de vegetação NDVI seja, na maioria das classes, subestimado, apresentando valores de variação percentual positivos.

Nas Figuras 3 (a), (c), (e) e (g) é possível observar que os valores de NDVIs para as 10 amostras por classe, apresentam acentuadas variações para um mesmo *pixel* entre as duas imagens. Já nas Figuras 2 (b), (d), (f) e (h), observa-se que os valores obtidos em função da correção atmosférica apresentam-se mais semelhantes, já que os efeitos da absorção e do espalhamento nos fluxos incidentes e refletidos foram minimizados.

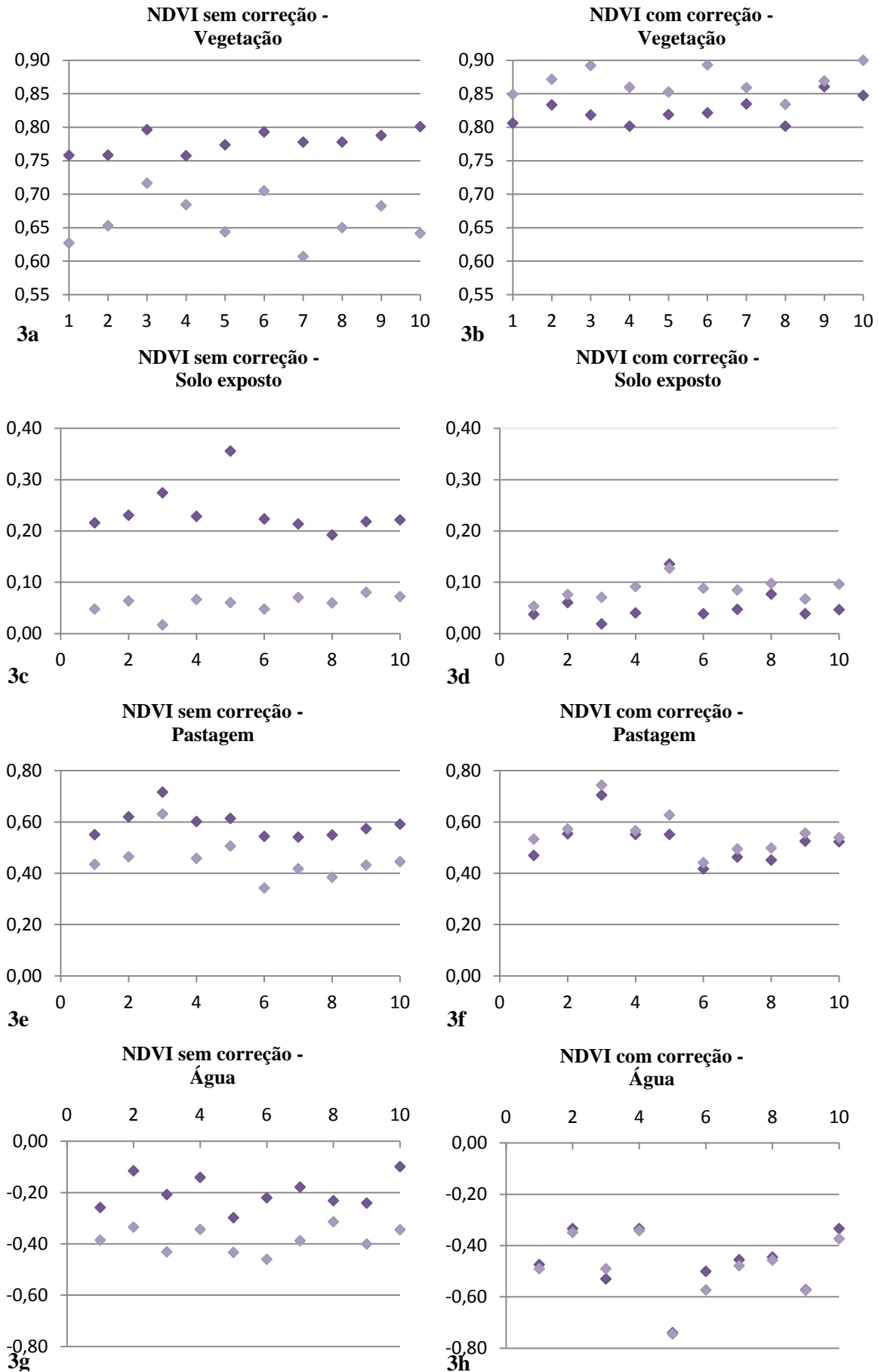


Figura 3 - (a), (c), (e) e (g) Valores de NDVI sem correção atmosférica para a classe vegetação, solo exposto, pastagem e água, respectivamente; (b), (d), (f) e (h) Valores de NDVI com correção atmosférica para a classe vegetação, solo exposto, pastagem e água, respectivamente.

4. Conclusões

O conhecimento das condições da atmosfera no momento da aquisição das imagens é de elevada importância para que a correção atmosférica resulte em dados precisos, já que permitem um melhor embasamento físico nas correções. Com esses dados aplicados a modelos matemáticos, é possível recuperar o percurso da radiação e reconstruir as características espectrais da superfície terrestre.

Investimentos em satélites que realizem monitoramentos atmosféricos diariamente, proporcionarão o fornecimento dos dados atmosféricos referentes à área dos usuários e estes, por sua vez, poderão gerar imagens de reflectância de superfície mais precisas. Atualmente, os satélites TERRA, lançado em dezembro de 1999, e o satélite AQUA, lançado em maio de 2002, disponibilizam os dados atmosféricos por meio do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), realizando monitoramentos atmosféricos, oceânicos e continentais. A desvantagem desse sensor é a baixa resolução espacial.

A AMS Kepler está desenvolvendo os subsistemas de ingestão, gravação, processamento e geração para o sensor AWFII do satélite Amazonia 1, que tem previsão de lançamento para 2013 e é o primeiro satélite de observação terrestre desenvolvido no Brasil. O Amazonia 1 possuirá 40 metros de resolução espacial, 3 bandas no VIS e 1 banda no NIR e gerará imagens do planeta a cada 5 dias. Um dos principais objetivos do Amazônia-1 é fornecer imagens frequentes das áreas agrícolas brasileiras e monitorar as florestas nacionais. Assim, a disponibilidade sistemática de dados atmosféricos integrados ao sistema do satélite Amazonia 1 pode ser explorada na geração de produtos corrigidos atmosféricamente e, por consequência, mais confiáveis.

Este trabalho foi desenvolvido como parte da execução de um contrato entre o INPE e a AMS Kepler celebrado segundo a Lei de Inovação Tecnológica.

Referências Bibliográficas

Moreira, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Xa. ed. Atual. ampl.- Viçosa: Ed. UFC, 2005.

Zullo Junior, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1994. 189p. Tese Doutorado.

Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing Models and Methods for Image Processing**. 3a ed., Elsevier, 2007.

Liesenber, V.; Galvão, L. S.; Ponzoni, F. J. Influência da geometria de visada sobre o NDVI obtido a partir de dados de reflectância aparente e superfície. In: seminário de atualização em sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia florestal, 9., Curitiba. **Anais...** 2006. CD-ROM. ISBN 21788634.