

Análise da Resposta Espacial e Radiométrica dos Dados MOD09 nos Diferentes Ângulos de Visada

Ramon Morais de Freitas¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹
Alexandre Cândido Xavier¹
Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{ramon ,yosio, xavier, evlyn}@ltid.inpe.br

Abstract: This paper reports the preliminary results of the image spatial resolution effect and radiometric response for several MODIS (NASA EOS-AM1 Terra satellite) images in different angle of views. MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) design concept was first set for regional and global applications but its data have also been used in sub-regional scales applications such as agriculture, hydrology and forest. A ± 55 -degree scanning pattern at the EOS orbit of 705 km achieves a 2,330-km swath and provides global coverage every one to two days. The first step for spatial and radiometric analysis was to acquire MOD09 GQK product (Band 1 – Red and Band 2 – NIR) with 250m of the spatial resolution. The first requirement was to choose a site study free of cloud cover. Agriculture irrigation areas in the south of Egypt (Sahara Desert) was considered the best site. Nadir targeted image was used as reference, then it was possible to quantify the images spatial and radiometric responses by different angle of views. The results show differences in radiometric response.

Palavras-Chaves: MODIS, Image Processing, Radiometry, MODIS, Processamento de Imagens, Radiometria.

1. Introdução

Uma das questões fundamentais que limitam o uso de dados de sensoriamento remoto é a da definição dos requisitos mínimos de resolução espacial, radiométrica, e temporal necessários para atender às necessidades de informação sobre a superfície terrestre.

Os requisitos de re-visita e resolução espacial, entretanto, dependem das necessidades de informação de diferentes aplicações. Estudos na região Amazônica, por exemplo, requerem uma alta frequência de aquisição de imagens, devido à intensa cobertura de nuvens.

Assim sendo, há um interesse em se priorizar, em princípio, a frequência de re-visita em detrimento de resolução espacial. A questão que se coloca, entretanto nesse trabalho, é sobre como as características de imageamento do sensor MODIS nos diferentes ângulos de visada para alcançar alta repetitividade comprometem a aplicação a que se destinam os dados em decorrência de distorções geométricas e radiométricas.

As fontes de distorções geométricas em imagens orbitais podem ser atribuídas a fatores como: rotação e curvatura da Terra, modelo de superfície, erros de instrumentação, padrão de varredura e campo de visada em sensores, e variações de altitude e velocidade da plataforma, órbita da plataforma. (Richards, 1986).

A geometria de imageamento de diversas configurações de sensores óticos para diferentes modelos de superfície da Terra e ângulos de visada encontram-se descritas em Richards(1986), Justice et. al.(1989) e Schowengerdt(1997). É interessante ressaltar que Nishihama et al.(1997) demonstra as características da resposta espacial do sensor MODIS através do modelo de pré-vôo. Dentre outros, o efeito panorâmico de “bow tie”, que é a degradação espacial causada ao longo da visada.

Na literatura encontramos vários trabalhos que exploram a análise da resposta radiométrica e espacial. Dentre outros, podemos citar: Rojas et. al. (2002) demonstra os

primeiros resultados da resposta espacial do sensor MODIS TERRA, com a Modulation Transfer Function (MTF) para o modelo pré-vôo e já em órbita e Susaki et al (2004) analisa a validação de modelos de reflectância bi-direcional de superfície em campos de arroz através de dados MODIS e .

2. Materiais e Métodos

2.1 Sensor MODIS

O sensor MODIS integra a plataforma TERRA (AM - EOS) desde dezembro de 1999 e AQUA (PM - EOS) desde maio de 2002. A plataforma TERRA possui órbita polar(705 km), heliosíncrona, 10:30 a.m., nodo descendente. O sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é um espectro-radiômetro com 36 bandas cobrindo um espectro de 0.4 a 14.4 μm , com resolução espacial no nadir GIFOV (Ground-projected Instantaneous Field Of View) de 250 m(2 Bandas), 500 m(5 bandas), 1000 m (29 bandas) no NADIR. A resolução temporal é de 1 a 2 dias, dependendo da latitude. A quantização dos dados é de 12 bits, porém, as imagens são convertidas para 16bits a fim de facilitar as fases de pré-processamento. Segundo (Justice et. al., 1998) estas características permitem entender a dinâmica global e processos ocorridos nos continentes, oceanos e na baixa atmosfera. Os dados deste sensor são vitais para validação de modelos de mudança globais os quais são úteis nos processos de tomada de decisões no que tange a política ambiental (Barnes et. al., 1998).

2.2 Características Gerais das Imagens

O produto utilizado para este trabalho, denominado (MOD09 – Surface Reflectance) possui as bandas 1,2,3, 4, 5, 6 e 7 (centradas em 648 nm, 858 nm, 470 nm, 555 nm, 1240 nm, 1640 nm, and 2130 nm, respectivamente). Este produto estima a reflectância espectral de superfície para cada banda com correção atmosférica e a função BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) (Vermote, et al., 1999). Os Produtos MOD09 estão disponíveis no website da EOS (Earth Observing System Data Gateway, 2003), e possuem dados de reflectância de superfície diários MOD09GHK (bandas de 1 até 7 com 500m) e MOD09GQK, Bandas 1(red) e 2(nir) com 250m. As imagens são distribuídas em Tiles (quadrantes de 1200kmX1200km) para facilitar o gerenciamento e organização dos dados (Vermote et. al., 1999).

2.3 Área de Estudo

A seleção da área de estudo levou em conta os seguintes fatos: 1) ausência de nuvens durante um período superior a 16 dias, que corresponde à cobertura orbital. 2) existência de um alvo que não sujeito a mudanças significativas, no período de análise, como por exemplo áreas agrícolas e lagos.

A região de estudo está localizada no sul do Egito apresentando uma grande área de irrigação agrícola em pleno deserto do Sahara, localizado a aproximadamente 400km a oeste do rio Nilo/ lago Nasser. Além de ser um alvo com formas geométricas definidas com vários pivôs caracterizados pelo plantio de cevada e trigo, a região tipicamente não apresenta cobertura de nuvens e nenhuma grande mudança espectral significativa. Isto, torna a área viável para estudos multitemporais. A Figura 1 apresenta a área de estudo.

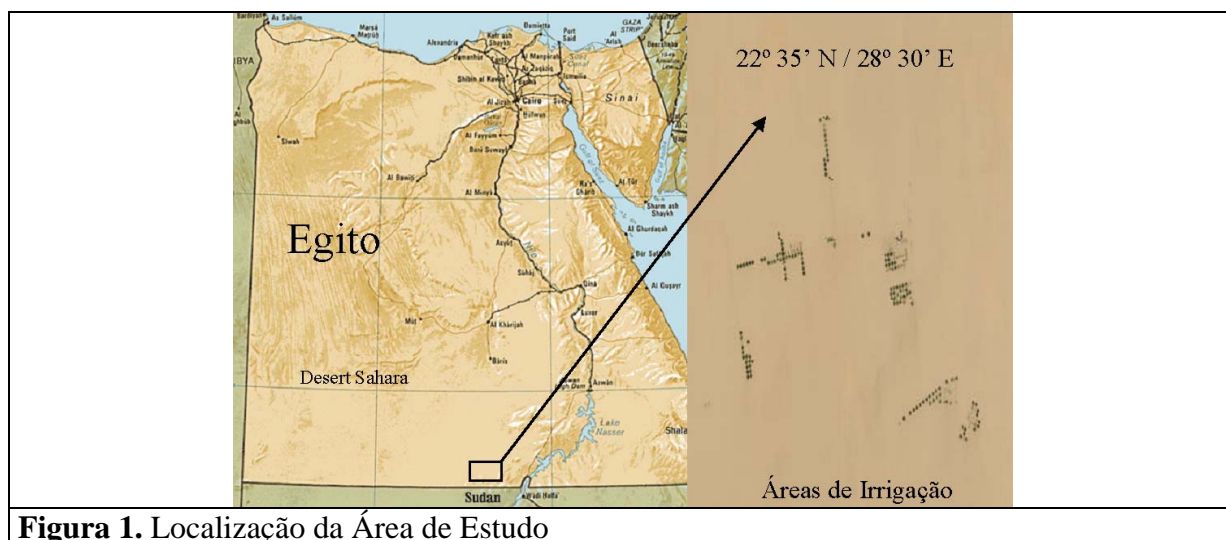


Figura 1. Localização da Área de Estudo

2.4 Aquisição das Imagens

O critério de seleção das datas foi o mínimo de cobertura de nuvens numa seqüência superior a 16 dias. As imagens MOD09GQK, produto reflectância de superfície, com 250m de resolução espacial foram selecionados através do site MODIS Rapid Response System(2004) e então, foram escolhidas as imagens a partir de 30/jan/2004 até 02/mar/2004, totalizando 32 imagens diárias sem ruídos ou nuvens sob o alvo. O passo seguinte foi elaborar o pedido das imagens junto à (EOS Data Gateway, 2004), a área de estudo é identificada pelo “tile” h20v06. Após a aquisição das imagens foi verificado que 4 imagens possuíam ruídos de pré-processamento na localização do alvo. Estas imagens foram descartadas, restando 28 cenas disponíveis.

2.5 Registro e Reamostragem das Imagens

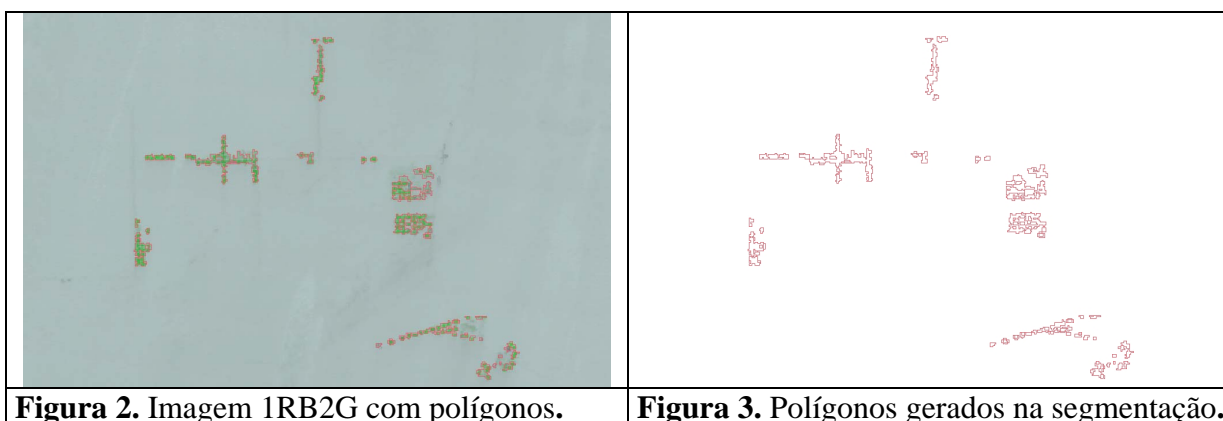
As imagens foram registradas e re-amostradas no software MRT – MODIS Reprojection Tool que foi desenvolvido especificado para a manipulação de imagens voltadas para as aplicações continentais (LAND), capazes de geo-referenciar, mosaicar, re-amostrar e recortar as imagens pré-processadas, (MRT manual, 2001). O primeiro passo foi registrar as Bandas 1 e 2 do produto MOD09GQK com 250m de resolução espacial. As bandas foram re-amostradas utilizando o interpolador vizinho mais próximo (Scott,1997) para conservar o valor radiométrico do pixel. Todas as bandas foram geo-referenciadas para projeção Lat/Long, e o modelo da terra adotado foi o WGS84. A projeção Lat/Long impõe fornecer a resolução espacial do pixel em graus. Efetuando a simples conversão, tem-se que 250m equivale aproximadamente a 0,0022496°, assumindo a distância entre cada grau (latitude e longitude) é 60nm(nautical miles). Após este procedimento as imagens foram salvas no formato geoTIFF com 16bits.

A conversão para 8 bits utilizou o programa ConvGeoTiff (Arai, 2003) que foi desenvolvido no INPE com a finalidade de converter os dados MODIS disponíveis em 16 bits para 8 bits, de forma que possam ser processados pelo software SPRING. Este programa restaura o valor de reflectância de cada pixel através da equação :Pixel = pixel / 10.000 e converte a reflectância para números digitais (ND), utilizando o intervalo -0,01 a 1,0.

2.6 Análise das Imagens

O passo inicial para a análise das imagens foi estabelecer uma imagem de referência. No software MatLab MathWorks (1996) foi elaborado um código que descreve as órbitas MODIS em função da localização do alvo, desconsiderando as perturbações orbitais conforme

metodologia descrita por Wertz (1999) e Chobotov (1996). Como referência foi utilizada a órbita 177 do Landsat 7, que é a mesma da plataforma Terra. Como a área de estudo localiza-se no centro desta órbita, foi considerada esta órbita como referência. A partir desta definição, a imagem do dia Juliano 046/2004 foi selecionada (Figura 2) e submetida ao processo de segmentação, este procedimento visa isolar um conjunto de pixels que representam uma mesma região. Neste processo, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões, um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidades. (INPE-DPI, 2000). Após a segmentação foi possível extrair os polígonos (Figura 3) que delimitam as áreas de pivô.



Após este processo, cada polígono foi transformado em uma amostra e exportado como imagem, tal que cada polígono possuía um número digital que o identificava. No software Spring foram gerados os valores médios radiométricos para as bandas 1 e 2 (imagens com 8 bits) em cada uma das datas. No software Matlab foram geradas, a partir dessas amostras, os valores radiométricos médios da banda 1 e 2 com as imagens em 16bits.

2.7 Análise de Agrupamentos

As amostras de cada polígono foram agrupadas seguindo a metodologia sugerida por Sharma (1996). Implementando no software Matlab MathWorks (1996), o primeiro passo para esta análise é calcular as distâncias entre as amostras, neste procedimento adotou-se distância euclidiana. O segundo passo é a ligação dos grupos que utilizou o método completo (Furthest Neighbor) e finalmente as amostras foram agrupadas em classes diferentes, a fim de selecionar os polígonos com comportamentos mais homogêneos, descartando assim valores não-significativos de reflectância. O número de classes foi definido (14) a partir da curva que representa a intersecção dos polígonos gerados pela segmentação das bandas B1 e B2 versus o número de classes (Figura 4). Assim é possível analisar somente o conjunto de polígonos comuns às duas bandas.

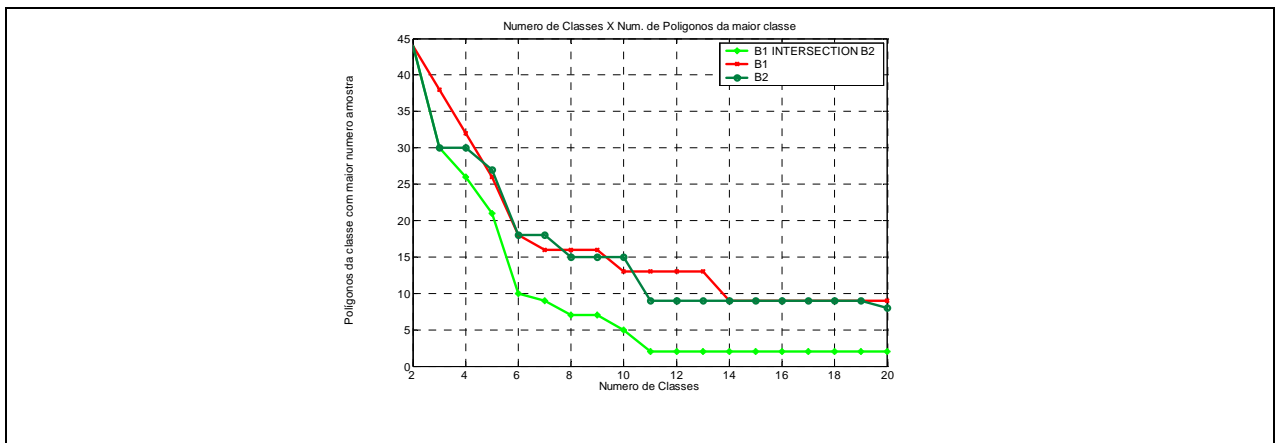


Figura 4. Número de Classes x Número de Polígonos da maior classe.

Após este procedimento foram obtidas as imagens classificadas para cada banda (Figura 5 e 6) e selecionados 2 polígonos (gerados pela intersecção entre as duas bandas) para análise do comportamento espectral das classes encontradas nas bandas B1 e B2 e a distância do nadir.

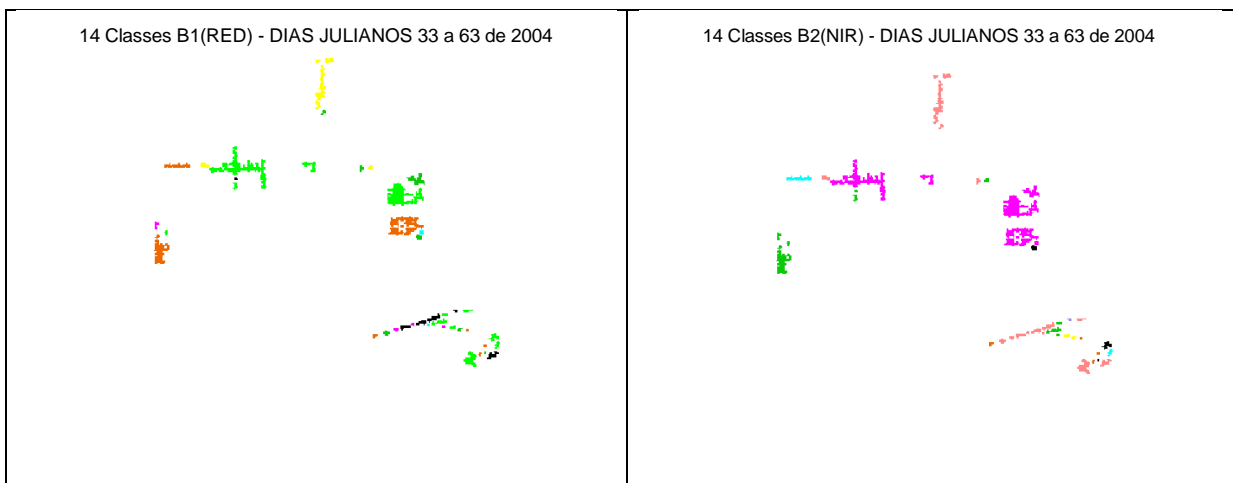


Figura 5. Classes Banda 1

Figura 6. Classes Banda 2

3. Resultados

Analisando as imagens classificadas é possível perceber a diferença no mapeamento, isto porque cada banda tem um comportamento espectral distinto, dado que é um alvo agrícola. Na região do vermelho é caracterizado por baixo valor reflectância devido à absorção pela clorofila. Já na região do infra-vermelho próximo o efeito é o contrário, ocorrendo valores de reflectância mais elevados.

A partir da escolha dos polígonos mais homogêneos, gerados por intersecção entre as maiores classes de cada banda, foi possível relacionar a distância do NADIR e os alvos. Além disso, foi gerado o comportamento para estes polígonos com as imagens em 16bits e 8bits.

A Figura 7 apresenta a distância do nadir versus os dias julianos de todas as datas. É interessante notar que foi considerada a órbita padrão da plataforma Terra. Assumiu-se a condição de contorno em que os erros provenientes da atitude da plataforma e do sensor na resposta espacial foram desprezados.

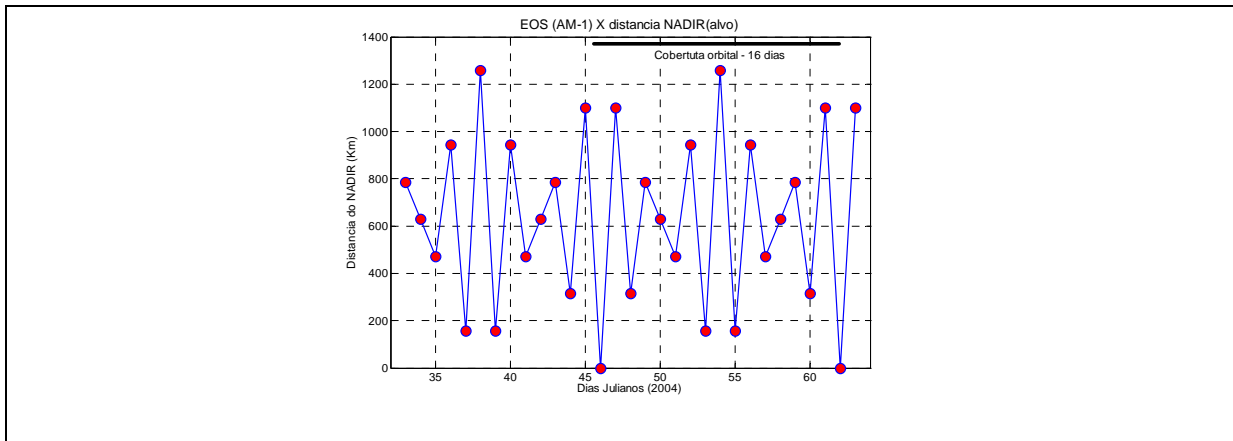


Figura 7 Distância do NADIR para os vários dias julianos

É interessante ressaltar que não é possível obter 16 imagens diárias em seqüência, pois, a distância máxima proporcionada pelo maior ângulo de visada 55° e o NADIR é 1165Km. Calculada a distância do nadir para cada dia Juliano, relacionou-se cada banda com o valor médio dos polígonos selecionados, conforme as Figuras 8, 9, 10 e 11.

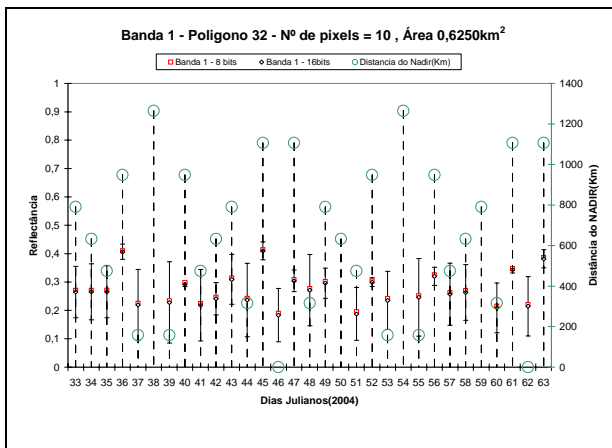


Figura 8 Banda 1 (RED) – Polígono 32

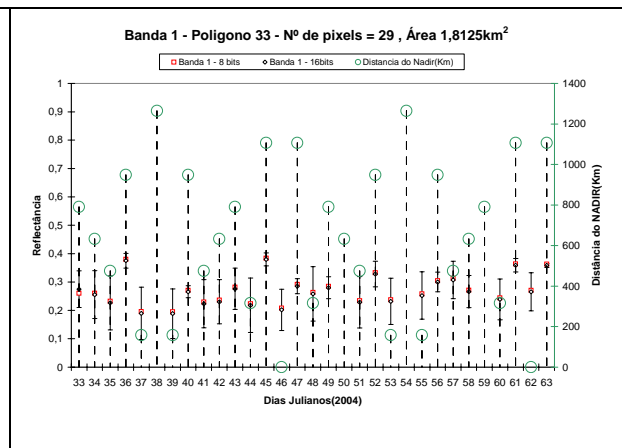


Figura 9 Banda 1 (RED) – Polígono 33

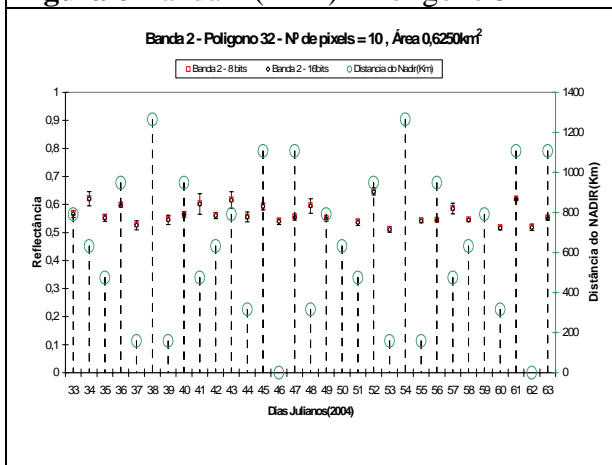


Figura 10. Banda 2(NIR) – Polígono 32

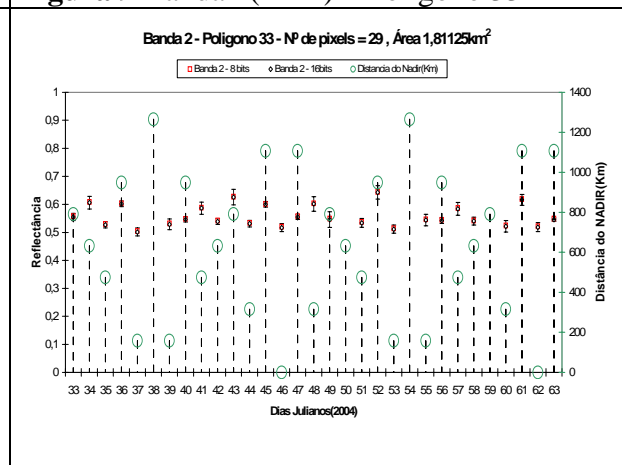


Figura 11. Banda 2(NIR) – Polígono 33

Foi observado que a variação da distância do NADIR está relacionada com o valor da reflectância. Nas Figuras 8 e 9 foi possível observar que os valores de reflectância para os

alvos fora do nadir são maiores. Assumindo as condições de contorno, de uma correção atmosférica e reflectância de superfície corrigidas e normalizadas, verificamos, em uma análise qualitativa que os menores valores de desvio padrão é quando a distância do Nadir é maior. Isto se justifica pois, em ângulos de visadas maiores, o valor radiométrico do pixel é uma mistura de seus vizinhos. Esse aumento no fator de reflectância pode ser atribuído à mistura espectral, pois os pixels vizinhos do polígono irrigado são formados, basicamente, por regiões de deserto, caracterizadas por alta reflectância e grande homogeneidade.

Efetuada a regressão do desvio padrão da Banda 1 em relação à distância do Nadir para o polígono 32, obteve-se $R^2 = 0,76$ ($P \leq 0,01$). Já para o polígono 33 o valor de $R^2 = 0,69$ ($P \leq 0,01$). Demonstrando a relação entre a distância do Nadir e o desvio padrão para banda 1.

Nas Figuras 10 e 11, banda do infravermelho próximo, os valores de reflectância no NADIR (Dias Julianos 46 e 62) apresentam uma resposta menor que nos dias off-NADIR. Outra característica interessante é que o desvio padrão é bem menor para todas datas que para banda 1 (red) isto porque a resposta tanto para vegetação(alvo), quanto para o deserto é tipicamente alta (Figura 12). Também foi observado que a conversão de 16 bits para 8 bits preserva o valor radiométrico do pixel. Isto porque, a quantização do sensor é 12bits, que é o valor real radiométrico obtido. Então, quando transformamos de 16 para 8bits, perde-se na o valor real da conversão de 12bits para 8bits. Na verdade isso demonstra que o programa de conversão desenvolvido por Arai(2003) preserva os valores significativos de reflectância para o alvo.

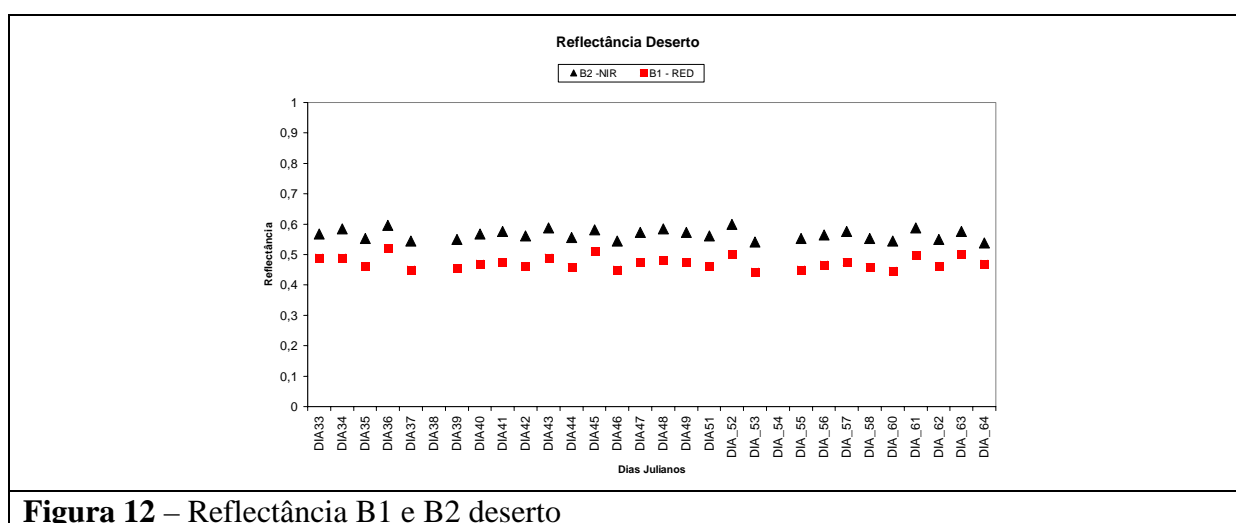


Figura 12 – Reflectância B1 e B2 deserto

4. Conclusões

Esta simples análise demonstra desde que assumida as condições de contorno, que a data e a órbita da plataforma, devem ser consideradas para aquisição de imagens diárias. O problema descrito é uma característica física de qualquer sistema sensor com grande ângulo de visada. Recomenda-se priorizar, dentro do possível, a aquisição de imagens no NADIR do alvo. Isto evitará a inserção de mais variáveis nos processos de correção geométrica e radiométrica. Em casos em que a aplicação demande maior frequência de aquisição, o usuário deve ter em mente a necessidade de introduzir fatores de correção para estas diferenças radiométricas, principalmente se estiver trabalhando em regiões de alto contraste espectral entre o alvo interesse e seu substrato.

O uso do sensor MODIS demonstra sua extensa aplicabilidade, sendo no momento um sensor chave para aplicações globais, regionais e sub-regionais que necessitam de uma resolução temporal quase que diária.

Referências

- Arai, E. **Software ConvGeoTiff**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.
- Barnes, W.L., T.S. Pagano, And V. Salomonson, **Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS AM-1**. IEEE Trans. Geosci. RemoteSens.36,1088_1100.1998.
- Chobotov, V.A., **Orbital Mechanics**, 2nd Ed., AIAA Education Series 1996.
- EOS-NASA - National Aeronautics and Space Administration - EOS - Earth Observing System Data Gateway [online]. <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>, dezembro de 2003.
- INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI – Divisão de Processamento de Imagem, [online] 2002. Segmentação de Imagens. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_segmen.htm>, setembro de 2002.
- Justice C.O., Markham B.L., Townshend J.B.G. And Kennard R.L., **Spatial degradation of satellite data**. Int. J. Remote Sens. 10 9 (1989), pp. 1539–1561.
- Justice, C., Vermote, E., Townshend, J. R. G., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., Salomonson, V. V., Privette, J., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R., Knjazihihin, Y., Running, S., Nemani, R., Wan, Z., Huete, A., van Leeuwen, W., Wolfe, R., Giglio, L., Muller, J-P., Lewis, P., & Barnsley, M. (1998). **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(4), 1228-1249.
- MATHWORKS, **Image Processing Toolbox User's Guide and Statistics Toolbox**, online, <<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/helpdesk.shtml> > acesso Janeiro , 2003.
- NASA-EOS, MODIS REPROJECTION TOOL, Department of Mathematics and Computer Science, South Dakota School of Mines and Technology . USGS EROS Data Center, 2002.
- Nishihama, M., Wolfe, R., Solomon, D., Patt, F., Blanchette, J., Fleig, A., & Masuoka, E. . **MODIS level 1A Earth location: Algorithm theoretical basis document version 3.0**. SDST-092, MODIS Science Data Support Team, 1997.
- Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.
- Rojas F., Schowengerdt R. A. And Biggar S. F. **Early results on the characterization of the Terra MODIS spatial response** . Remote Sensing of Environment, Volume 83, Issues 1-2, November2002,Pages50-61
- Schowengerdt, R.A. **Remote sensing: model and methods for image processing**. 2.ed. San Diego: Academic, 1997. 522p.
- Sharma S., **Applied multivariate techniques**, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1996
- Schott, J.R. **Remote Sensing: The Image Chain Approach**, New York, Oxford University Press, 1997.
- Susaki, J.; Hara, K.; JongGeol Park; Yasuda, Y.; Kajiwara, K.; Honda, Y.; **Validation of temporal BRDFs of paddy fields estimated from MODIS reflectance data** Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on , Volume: 42 , Issue: 6 , June 2004 Pages,1262 - 1270
- Vermote, E. F., El Saleous, N. Z., Justice, C. O., Kaufman, Y. J., Privette, J., Remer, L., Roger, J. C., & Tanré, D. **Atmospheric correction of visible to middle infrared EOS-MODIS data over land surface background operationa algorithm and validation**. Journal of Geophysical Research, 102(14), 17131-17141,1997
- Vermote, E. F. and Vermeulen A. **Atmosphere Correction Algorithm: Spectral Reflectan(MOD09) Algorithm theoretical basis document, version 4.0**. SDST-092, MODIS Science Data Support Team, 1999.
- Wertz J.R. **Space Mission Analysis and Design, 3rd Ed**, Miscocosm Inc & Kluwer Academic Publishers, 1999.