

## Investigação empírica do NDVI de sensores distintos utilizando dados do EO-1/ Hyperion

Pedro Quarto Júnior<sup>1</sup>  
Mileide de Holanda Formigoni<sup>1</sup>  
Alexandre Cândido Xavier<sup>1</sup>  
Julião Soares de Souza Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – UFES  
Caixa Postal 16 – 29500-000, Alegre – ES, Brasil.  
{pedro-ms, mileide-mpv, xavier, juliaosslima}@cca.ufes.br

**Abstract.** The objective of this paper is to analyze cross-sensor relationship of the normalized difference vegetation index (NDVI). A Hyperion hyperspectral image acquired over Campos dos Goytacazes, State of Rio de Janeiro in Brazil was processed to simulate atmospherically corrected reflectances and NDVI for various bandpasses: Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS); SPOT 3 High Resolution Visible (HRV); and Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM<sup>+</sup>). Data hyperspectral were collected from sugar cane plantations and natural forest. The results showed that translation of ETM<sup>+</sup> NDVI to MODIS NDVI and ETM<sup>+</sup> NDVI to HRV NDVI, based in quadratic functions, performed well, both with  $R^2=0.71$ , while the translation HRV NDVI to MODIS NDVI presented poor relationship ( $R^2=0.31$ ).

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, NDVI, MODIS, HRV, ETM<sup>+</sup>, hiperespectral, remote sensing, hyperspectral.

### 1. Introdução

O desenvolvimento de relações funcionais entre dados de sensoriamento remoto e características da vegetação tem sido objeto de estudos por muitos profissionais do setor agrícola e florestal (e.g. Xavier et al., 2006). Com o objetivo de minimizar a variabilidade causada por fatores externos como, por exemplo, geometria da fonte-sensor-alvo, trabalha-se com índices de vegetação (IVs) que são funções de bandas espectrais (Ponzoni, 2001).

Os IVs são utilizados no monitoramento espacial e temporal das variações das atividades fotossintéticas da vegetação e das suas propriedades biofísicas. Baseiam-se no fato da vegetação possuir uma resposta característica nas regiões do espectro eletromagnético relativas ao vermelho e infravermelho próximo, diferenciando-a de outros alvos terrestres. Um dos IVs mais amplamente utilizado é o NDVI (“Normalized Difference Vegetation Index”), definido como a diferença de reflectância da banda do vermelho e da banda do infravermelho próximo dividida pela soma destas.

O NDVI pode ser calculado a partir de dados de diferentes sensores. Pode-se destacar: a série de sensores do Landsat, TM (“Thematic Mapper”) e ETM<sup>+</sup> (“Enhanced Thematic Mapper Plus”), que possui um banco de dados de imagens de alta resolução espacial do nosso planeta desde 1982 (Jensen, 2006); o sensor MODIS (“Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer”) a bordo do Satélite Terra e Aqua, que coleta dados da superfície terrestre desde 1999 e 2002, respectivamente, tendo grande importância para o monitoramento temporal de ecossistemas (Huete et al., 2002); e o imageador HRV (“High Resolution Visible”) a bordo do satélite francês SPOT em órbita desde 1986 (Moreira, 2001).

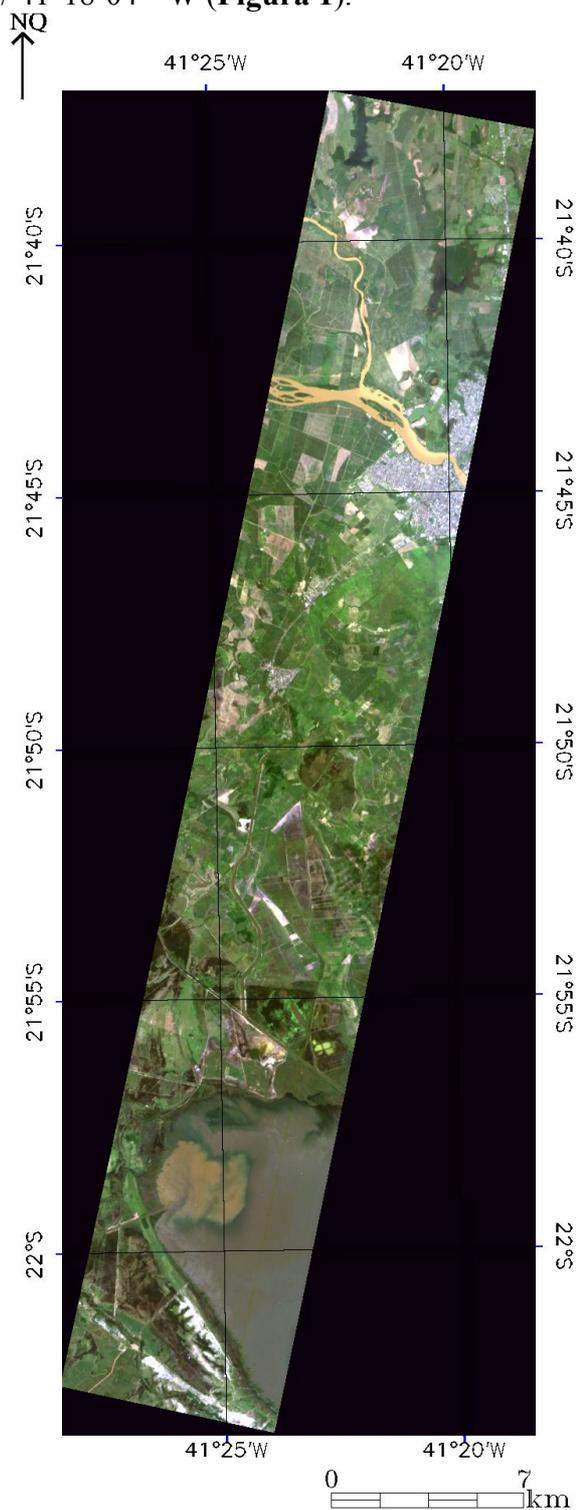
Valores para o NDVI, calculados de diferentes sensores, para mesmos alvos e sob condições idênticas de imageamento, não são diretamente comparáveis, porque, dentre outros fatores, os sensores apresentam bandas com intervalos espectrais distintos (Teillet, 1997).

O objetivo deste trabalho é investigar as relações do NDVI calculado de acordo com os sensores ETM<sup>+</sup>, MODIS e o HRV, para a cultura de cana-de-açúcar e floresta natural.

Utilizou-se dados do sensor Hyperion para fazer a simulação das bandas dos sensores analisados.

## 2. Material e Métodos

A área de estudo está localizada no norte do Estado do Rio de Janeiro no município de Campos dos Goytacazes, entre as coordenadas inferior  $22^{\circ}03'35''$  S /  $41^{\circ}28'30''$  W e superior  $21^{\circ}37'04''$  S /  $41^{\circ}18'04''$  W (Figura 1).



**Figura 1** – Área de Estudo (composição colorida da imagem Hyperion R650G550B450)

Para a simulação dos sensores foi utilizada uma imagem Hyperion (EO1H2160752003364110PZ) obtida através do site <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer>, adquirida em 30 de dezembro de 2003. A imagem original contém 242 bandas espectrais de aproximadamente 10 nm de largura e estão posicionadas no intervalo de comprimento de onda de 356 nm a 2.577 nm, com resolução espacial de 30 m e radiométrica de 16 bits. Todavia, apenas 198 bandas foram fornecidas radiometricamente calibradas. A imagem tem 7,65 km de largura por 94 km de comprimento.

A imagem Hyperion é fornecida originalmente na unidade de radiância que foi convertida para reflectância de superfície com o uso do aplicativo ACORN (Atmospheric Correction Now), que faz a correção para os efeitos de espalhamento e absorção atmosférica (Imspec, 2001). Utilizou-se como parâmetros de entrada, o modelo atmosférico tropical, com altitude média local de 10 m e visibilidade de 100 km. Por apresentarem ruído, foram excluídos da análise subsequente os dados da: banda 1 (355,59 nm) a banda 8 (426,82 nm); banda 58 (935,58 nm) a banda 78 (922,54 nm); banda 117 (1.316,05 nm) a banda 134 (1.487,53 nm); banda 165 (1.800,29 nm) a banda 182 (1.971,76 nm); e banda 223 (2.385,40 nm) a banda 242 (2.577,07 nm). A correção geométrica foi realizada utilizando imagem Zulu como referência (Nasa, 2006), sendo que, para a simulação dos dados dos diferentes sensores utilizou-se a imagem de reflectância não registrada.

Foi feita uma campanha de campo para o reconhecimento da área em meados de março de 2005, sendo coletados informações de uso da terra com o auxílio de GPS de navegação Garmim 12. Nesta campanha de campo verificou-se que na região como classe de vegetação havia basicamente a cana-de-açúcar e os remanescentes de floresta natural. Logo, neste trabalho, utilizou-se apenas as classes de cana-de-açúcar e floresta natural, distinguíveis na imagem pelo fato da cultura de cana-de-açúcar apresentar talhões regulares enquanto a floresta natural ser restrita à matas ciliares, além de padrões de textura distintas entre estas classes, cana-de-açúcar com textura lisa e floresta natural com textura mais rugosa. Para cada uma destas classes foram coletadas amostras de reflectância extraídas diretamente sobre a imagem Hyperion. Cada amostra representa o comportamento espectral de uma área de um pixel na imagem. Foram extraídas 210 amostras para a cultura de cana-de-açúcar e 50 amostras para floresta natural. O número maior de amostras coletadas para a cana-de-açúcar se deve ao fato de que, para um mesmo período, ela pode se encontrar em vários estádios de desenvolvimento, apresentando diferentes características de comportamento espectral (Rudorff et al., 2005).

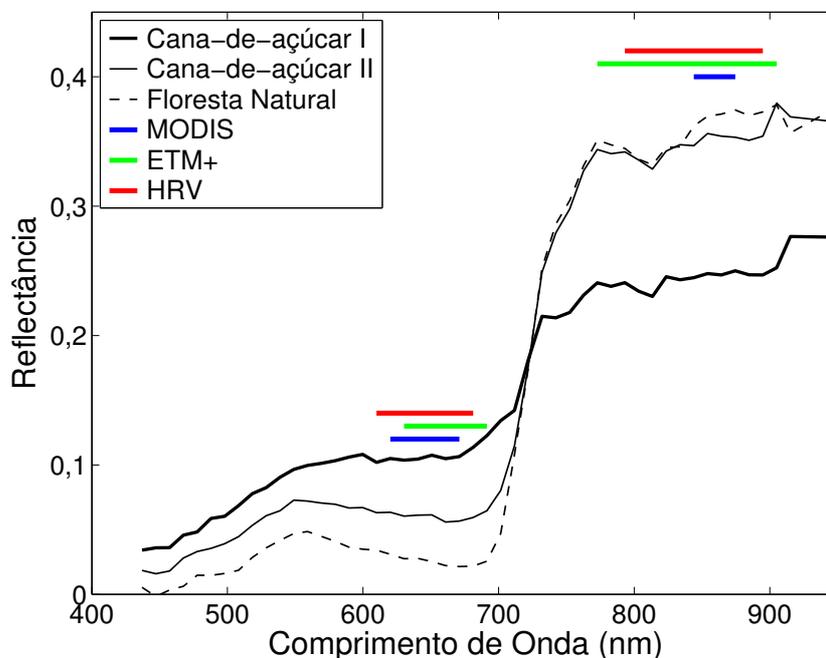
As bandas do vermelho e do infravermelho próximo simuladas para este trabalho foram referentes aquelas do sensor ETM<sup>+</sup>, MODIS e HRV. Na **Tabela 1** são apresentados os intervalos de comprimento de onda, para estas bandas, na qual os sensores são sensíveis (Jensen, 2006).

**Tabela 1** – Largura da banda espectral do vermelho e infravermelho próximo dos sensores multiespectrais e equivalência com as bandas do Hyperion.

Sensor	Comprimento de onda do vermelho	Bandas do Hyperion	Comprimento de onda do infravermelho próximo	Bandas do Hyperion
ETM <sup>+</sup>	630 - 690	B28 – B34	760 – 900	B41 – B55
MODIS	620 - 670	B27 – B32	841 – 876	B49 – B52
HRV	610 - 680	B26 – B33	790 – 890	B44 – B54

A simulação, das bandas individuais do vermelho e do infravermelho próximo dos sensores analisados, foi realizada a partir do cálculo da média de reflectância das bandas

estreitas do Hyperion, de acordo com o intervalo do comprimento de onda espectral do sensor a ser simulado. A **Figura 2** mostra a curva espectral de uma amostra de floresta natural e duas amostras de cana-de-açúcar juntamente com a posição e largura das bandas do vermelho e infravermelho próximo dos sensores analisados.



**Figura 2** – Curvas espectrais adquiridas da imagem Hyperion de duas amostras sob cana-de-açúcar e uma de floresta natural. As barras horizontais indicam a posição e a largura da banda do vermelho e do infravermelho próximo de acordo com o sensor.

Para a comparação do NDVI dos diferentes sensores, seguiu-se a metodologia proposta por Miura et al. (2005), onde a análise foi feita por pares de sensores:  $NDVI_{ETM+}$  e  $NDVI_{MODIS}$ ;  $NDVI_{HRV}$  e  $NDVI_{MODIS}$ ;  $NDVI_{ETM+}$  e  $NDVI_{HRV}$ . As diferenças entre o NDVI dos sensores distintos foram modeladas segundo uma equação polinomial do segundo grau:

$$\Delta NDVI_{DE} = \beta_0 + \beta_1 NDVI_{DE} + \beta_2 NDVI_{DE}^2 + \varepsilon$$

sendo:

$$\Delta NDVI_{DE} = NDVI_{DE} - NDVI_{PARA},$$

em que: os subscritos DE e PARA indicam a translação de um sensor para o outro; os  $\beta$ s são os parâmetros da regressão a serem calculados; e  $\varepsilon$  o erro experimental.

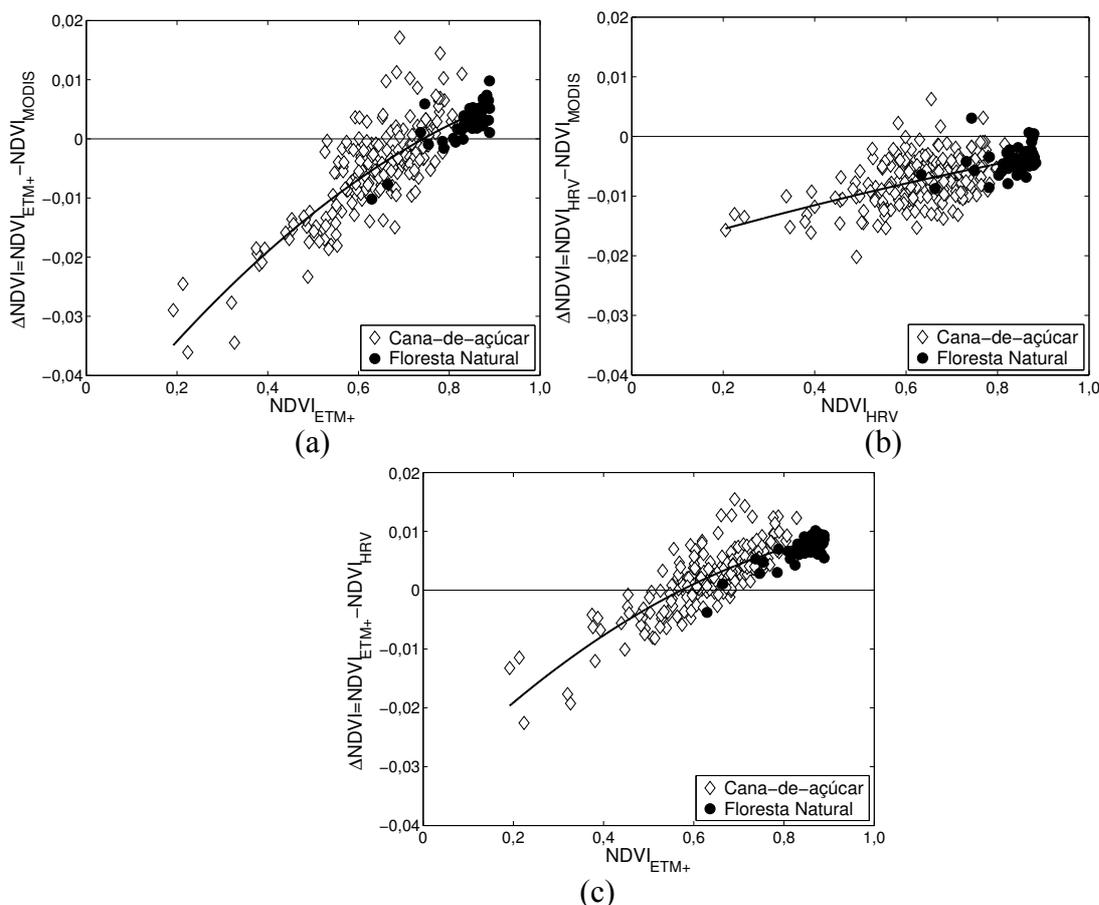
### 3. Resultados e Discussão

Na **Figura 3** são observadas as variações das diferenças do NDVI entre os sensores analisados e as curvas de regressão ajustadas a estes dados. A variação da diferença do NDVI para o par de sensor  $ETM^+$  e MODIS (**Figura 3a**) mostrou um aumento da diferença do NDVI à medida que se aumentam os valores do  $NDVI_{ETM+}$ . Foi para este par de sensores que se verificou a maior variação na diferença dos NDVIs. Para a cana-de-açúcar os valores das diferenças dos dados de NDVI variou, aproximadamente, de -0,04 a 0,02, e para a floresta natural houve uma variação menor, de -0,01 a 0,01. De um modo geral, tanto para cana-de-açúcar como para floresta natural a variação da diferença foi negativa até aproximadamente 0,8 do  $NDVI_{ETM+}$ , passando a apresentar, a partir desse ponto, variações positivas. A diferença negativa deve-se ao fato dos valores  $NDVI_{MODIS}$  serem maiores que os do

$NDVI_{ETM^+}$ . Em média, o valor de reflectância da banda do infravermelho próximo do MODIS foi maior que a do  $ETM^+$ , pois a banda do infravermelho próximo do MODIS é mais estreita e se localiza em uma região do espectro eletromagnético em que a vegetação apresenta maiores valores de reflectância, logo fazendo com que os valores  $NDVI_{MODIS}$  sejam maiores (ver **Figura 2**).

Para o par HRV e MODIS (**Figura 3b**), também houve um aumento nos valores da diferença do NDVI à medida que aumentou os valores do  $NDVI_{HRV}$ . Porém, houve uma menor variação das diferenças dos valores de NDVI, quando comparados às diferenças de NDVI dos outros pares de sensores analisados. A diferença do  $NDVI_{HRV}$  e  $NDVI_{MODIS}$  para a cana-de-açúcar variou de aproximadamente -0,02 a 0,01 e, para floresta natural de -0,01 a 0,01. Verificou-se que quase todos os valores das diferenças do NDVI foram negativos, ou seja, o  $NDVI_{MODIS}$  foi maior que o  $NDVI_{HRV}$ . Tal resultado pode ser atribuído, aqui também, aos valores da banda do infravermelho próximo do MODIS serem superiores aos do HRV, como mostrado anteriormente para o par  $ETM^+$  e MODIS.

Para a diferença do  $NDVI_{ETM^+}$  e  $NDVI_{HRV}$  (**Figura 3c**) houve um aumento no valor da diferença do NDVI à medida que o valor do  $NDVI_{ETM^+}$  aumenta. As diferenças de NDVI dos sensores para a cana-de-açúcar foi de aproximadamente -0,02 a 0,02, enquanto para a floresta natural foi de -0,01 a 0,01. De maneira geral, tanto para cana-de-açúcar como para floresta natural a variação da diferença do NDVI foi negativa até aproximadamente  $NDVI_{ETM^+}$  igual a 0,6 passando, a partir deste valor, a apresentar variações positivas.



**Figura 3** – Diferenças entre o NDVI de sensores distintos.

Na **Tabela 2** são apresentadas as equações de translação ajustadas dos dados da **Figura 3** utilizando regressão polinomial de segundo grau para cada par de sensor analisado. As

relações foram todas significativas (valor  $P < 0,01$ ). A translação dos dados do  $NDVI_{ETM+}$  para o  $NDVI_{MODIS}$  e o  $NDVI_{HRV}$  apresentou valor de  $R^2$  de 0,71. Já para a translação do  $NDVI_{HRV}$  para o  $NDVI_{MODIS}$  o ajuste foi menor, apresentando um  $R^2$  de 0,31. Estes resultados apresentaram menores  $R^2$  quando comparados aos obtidos pelo estudo realizado por Miura et al. (2005), analisando diferenças de NDVI para os sensores AVHRR, MODIS e  $ETM^+$  e diferentes alvos da região norte do Brasil (floresta, cerrado, pasto e solo exposto).

**Tabela 2** – Equações de translação para NDVI de diferentes sensores. Variável dependente  $\Delta NDVI = NDVI_{DE} - NDVI_{PARA}$  e variável independente  $NDVI_{DE}$ .

DE	PARA	Equação	$R^2$	Valor P
ETM+	MODIS	$-0,052346 + 0,0981x - 0,037181x^2$	0,71	$P < 0,01$
HRV	MODIS	$-0,019916 + 0,022778x - 0,0045274x^2$	0,31	$P < 0,01$
ETM+	HRV	$-0,033255 + 0,077482x - 0,033896x^2$	0,71	$P < 0,01$

#### 4. Conclusão

Por meio de dados hiperespectrais Hyperion, simulou-se as bandas do vermelho e do infravermelho próximo dos sensores  $ETM^+$ , MODIS e HRV, para avaliação do NDVI calculado por estes sensores. Neste trabalho obteve-se equações empíricas de translações de dados de NDVI, dos sensores estudados, para a cana-de-açúcar e floresta natural da região de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro.

#### Referência

Huete, A. R.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v.83, p. 195–213, 2002.

Imspec, 2001. ACORNTM user's guide. Analytical Imaging and Geophysics. Boulder, CO, USA. 64 pp.

Jensen, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. 2006. 592 p.

Miura, T; Huete, A. R.; Yoshioka H. An empirical investigation of cross-sensor relationships of NDVI and red/near-infrared reflectance using EO-1 Hyperion data. *Remote Sensing of Environment*, v.100, p. 223–236, 2005.

Moreira, M. A. **Fundamento do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Com Deus, 2001. 250 p.

NASA: Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>>. Acesso em: 20 mar. 2006.

Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R.; Madeira Neto, J. S. **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001. 262 p.

Teillet, P. M.; Staenz, K.; William, D. J. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment*, v.61, n. 1, p. 139–149, 1997.

Rudorff, B. F. T.; Berka, L. M. S.; Sugawara, L. M.; Moreira, M. A.; Duarte, V.; Xavier, A. C.; Rosa, V. G. C.; Shimabukuro, Y. E. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04. *Agricultura São Paulo*. v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.

Xavier, A. C.; Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Sugawara, L. M.; Berka, L. M. S.; Moreira, M. A. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugarcane crop. *International Journal of Remote Sensing*. v. 27, n. 3-4, p. 755-768, 2006.