

INVESTIGAÇÃO DO NDVI E REFLECTÂNCIA DAS BANDAS DO VERMELHO E INFRAVERMELHO-PRÓXIMO DE SENSORES DISTINTOS SIMULADOS POR MEIO DE DADOS DO HYPERION PARA CANA-DE-AÇÚCAR E FLORESTA NATURAL

Pedro Quarto Júnior¹, Alexandre Cândido Xavier², Julião Soares de Souza Lima³

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a inter-relação da reflectância das bandas do vermelho (ρ_{Ver}) e do infravermelho-próximo (ρ_{IVP}) e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) dos sensores multiespectrais MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), ETM⁺ (*Thematic Mapper Plus*) e HRV (*High Resolution Visible*). Uma imagem hiperespectral do Hyperion foi adquirida sobre a região de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro, tendo os efeitos atmosféricos corrigidos. A simulação das bandas foi realizada a partir de 210 e 50 amostras de dados de reflectância hiperespectral, coletadas da imagem Hyperion, em áreas de cana-de-açúcar e de floresta natural, respectivamente. De acordo com os resultados conclui-se: a) as relações entre as bandas individuais e o NDVI dos diferentes sensores tiveram comportamento variado, por exemplo, foram observadas que as diferenças de ρ_{Ver} entre os diferentes sensores foram significativas, o mesmo não ocorrendo para ρ_{IVP} ; b) as translações do NDVI_{ETM+} para NDVI_{MODIS} e do NDVI_{ETM+} para NDVI_{HRV}, tiveram boa relação, ambas com $R^2=0,71$, enquanto a translação do NDVI_{HRV} para NDVI_{MODIS} apresentou uma relação inferior ($R^2=0,31$).

Palavras-chave: sensoriamento remoto, índice de vegetação, MODIS, ETM⁺, HRV.

ABSTRACT

Investigation Of Cross-Sensor Relationship Of NDVI And Red/Near-Infrared Reflectance With The Use Of Hyperion Data From Sugar Cane And Natural Vegetation

This study was done to analyze cross-sensor relationship between normalized difference vegetation index (NDVI) and red/near-infrared reflectance (ρ_{red}/ρ_{NIR}) of the sensors multispectral MODIS ("Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer"), ETM⁺ ("Thematic Mapper Plus") and HRV ("High Resolution Visible"). A Hyperion hyperspectral image was acquired over Campos dos Goytacazes, State of Rio de Janeiro, and the atmospheric effects were corrected. The bands were simulated from 210 and 50 samples of the data of hypespectral reflectance collected from the Hyperion images, over sugar cane and natural forest, respectively. The relationship between the individual bands and NDVI of different sensors had different behavior, exemplified by the statistically different ρ_{red} among sensors, but not for ρ_{NIR} . Translation of NDVI_{ETM+} to NDVI_{MODIS} and of NDVI_{ETM+} to NDVI_{HRV}, showed good relationship, both with $R^2=0.71$, nevertheless the translation of NDVI_{HRV} to NDVI_{MODIS} was poor ($R^2=0.31$).

Keywords: remote sensing, vegetation index, MODIS, ETM⁺, HRV.

Recebido para publicação em 04.07.2007

¹ Eng^o Agrimensor, Departamento de Eng^a Rural, UFES, Alegre - ES, e-mail: pedroquarto@yahoo.com.br;

² Eng^o Agrícola, DS, Prof. Adjunto II, Departamento de Eng^a Rural, UFES, Alegre - ES, e-mail: xavier@cca.ufes.br

³ Eng^o Agrícola, DS, Prof. Adjunto II, Departamento de Eng^a Rural, UFES, Alegre - ES, e-mail: limajss@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Uma das técnicas usuais para estudo da vegetação por meio de dados de sensoriamento remoto é a utilização de índices de vegetação (*IV*). Os *IVs* são utilizados no monitoramento espacial e temporal das variações das atividades fotossintéticas e das propriedades biofísicas (TURNER et al., 1999; XAVIER & VETTORAZZI, 2004). Um dos *IVs* mais amplamente utilizado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), definido como a diferença entre as reflectâncias (ρ) na região espectral do infravermelho próximo (*IVP*) e do vermelho (*Ver*) dividida pela soma destas ($NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_{Ver}) / (\rho_{IVP} + \rho_{Ver})$) (ASRAR et al., 1984).

O NDVI pode ser calculado a partir de dados de diferentes sensores, como: na série de satélites Landsat, os sensores TM (*Thematic Mapper*) e o ETM⁺ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), que possuem um banco de dados de imagens de média resolução espacial dos recursos terrestres, desde 1982 (JENSEN, 2007); os sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos satélites Terra e Aqua, que coletam dados da superfície terrestre desde 1999 e desde 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 (JENSEN, 2007).

Valores para o NDVI, calculados a partir de dados de diferentes sensores, para os mesmos alvos e sob condições idênticas de imageamento, não são diretamente comparáveis, pois, dentre outros fatores (p.ex.: resolução espacial), os sensores apresentam bandas com intervalos espectrais distintos, o que resultará em valores diferentes para as ρ_{Ver} e ρ_{IVP} , logo no NDVI calculado (TEILLET et al., 1997). Este é um grande problema para análise temporal de longo tempo, pois, para trabalhar com uma série temporal longa, haverá, quase sempre, a necessidade de se trabalhar com sensores de características espectrais diferentes. Até mesmo com sensores da mesma série, haverá falta de compatibilidade de dados NDVI, pois, a

resposta dos filtros das bandas é diferente (GAO, 2000).

Uma das maneiras de contornar este problema consiste na utilização de funções de translação de sensores (MIURA et al., 2006). Ou seja, uma imagem NDVI de um sensor qualquer é transformada, por meio de função matemática apropriada em uma imagem NDVI de outro sensor, assim tornando-as comparáveis.

Portanto, este trabalho foi conduzido com o objetivo de investigar a relação da reflectância das bandas do *Ver* e *IVP* e do NDVI de acordo com os sensores ETM⁺, MODIS e o HRV. Os alvos de análise foram a cana-de-açúcar e floresta natural. A simulação das bandas foi realizada, a partir de dados de reflectância do sensor Hyperion (USGS, 2006) para estes alvos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se ao norte do Estado do Rio de Janeiro, no município de Campos dos Goytacazes, entre as coordenadas geográficas 21°37'04" e 22°03'35" de Latitude Sul e 41°18'04" e 41°28'30" de Longitude Oeste.

Para a simulação ρ_{Ver} e ρ_{IVP} dos sensores a serem analisados (MODIS, ETM⁺ e HRV) foi utilizada uma imagem do sensor hiperespectral Hyperion. Essa imagem foi adquirida em 30 de dezembro de 2003. A imagem original contém 242 bandas espectrais de aproximadamente 10 nm de largura, posicionadas no intervalo de comprimento de onda de 356 nm a 2.577 nm, com resolução espacial de 30 m e resolução radiométrica de 12 bits. A imagem Hyperion foi convertida para reflectância de superfície, utilizando-se o aplicativo ACORN (*Atmospheric Correction Now*). Os parâmetros de entrada para a correção desses efeitos foram: o modelo atmosférico tropical, com altitude média local de 10 m; e visibilidade de 100 km. As bandas *Ver* e *IVP* para os sensores da série AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) não foram analisadas, pois, uma análise prévia dos dados de reflectância espectral do Hyperion mostrou grande quantidade de ruído na região espectral correspondente, à sua banda do *IVP*.

Foram coletadas amostras de reflectância hiperespectral, extraídas diretamente sobre a imagem Hyperion, para os alvos de cana-de-açúcar e floresta natural, sendo que cada amostra representou 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, totalizando 260 amostras. O número maior de amostras coletadas para a cana-de-açúcar se deve ao fato que, para um mesmo período, ela pode ser encontrada em vários estádios de desenvolvimento, apresentando comportamento espectral diferenciado (RUDORFF et al., 2005).

A simulação das bandas individuais do *Ver* e *IVP* foram realizadas, conforme a função de resposta espectral normalizada de cada banda dos sensores analisados de acordo com metodologia descrita por Miura et. al (2006). As respostas espectrais normalizadas dos sensores foram adquiridas da biblioteca espectral do programa ENVI 3.3.

Numa análise preliminar dos dados, fez-se uma comparação entre as bandas individuais dos sensores analisados. Esta análise foi realizada entre pares de sensores, sendo estes: *i*) ETM⁺ e MODIS; *ii*) HRV e MODIS; e *iii*) HRV e ETM⁺. Para cada um destes pares foram calculadas as diferenças de reflectância entre eles, para a banda do *Ver* e do *IVP*. Para avaliação da variação do NDVI entre os sensores, calcularam-se as diferenças de NDVI entre os pares, sendo ajustadas equações a estas diferenças, utilizando-se uma função de resposta quadrática para a translação de um sensor para outro (TRISHCHENKO et al. 2002; MIURA et al., 2006), dada por

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

$$\Delta NDVI_{DE} = NDVI_{DE} - NDVI_{PARA}$$
 e os subscritos DE e PARA indicam a translação de um sensor para o outro; os β s são os parâmetros da regressão a serem calculados; e ε o erro aleatório. As seguintes translações foram analisadas: de NDVI_{ETM+} para NDVI_{MODIS}; de NDVI_{HRV} para NDVI_{MODIS}; de NDVI_{ETM+} para NDVI_{HRV}. Para as diferentes translações, foram calculados os coeficientes de determinação (R^2) e o nível descritivo do modelo de regressão polinomial (p-valor).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a curva espectral de uma amostra de floresta natural e de duas amostras de cana-de-açúcar em diferentes estádios de desenvolvimento, juntamente com a posição e a largura das bandas do *Ver* e *IVP* dos sensores analisados. Observa-se que a função de resposta dos diferentes sensores em relação ao *Ver* é distinta, tanto no que diz respeito ao tamanho da banda quanto ao posicionamento: *i*) dentre as bandas *Ver*, a do HRV é a mais larga, estando tanto mais próxima da região referente ao pico do verde, com máximos valores no comprimento de onda de aproximadamente 550 nm, como da região do vermelho (comprimento de onda aproximado de 680 nm); *ii*) a do ETM⁺ é a que tem a menor influência da característica espectral do pico do verde; *iii*) a do MODIS é a mais estreita. Quanto à função de resposta do *IVP* dos sensores analisados, tem-se: *i*) que a do MODIS também é a mais estreita e se localiza em uma região do espectro eletromagnético onde os valores de reflectância da vegetação verde são geralmente maiores; *ii*) são semelhantes para os sensores HRV e ETM⁺.

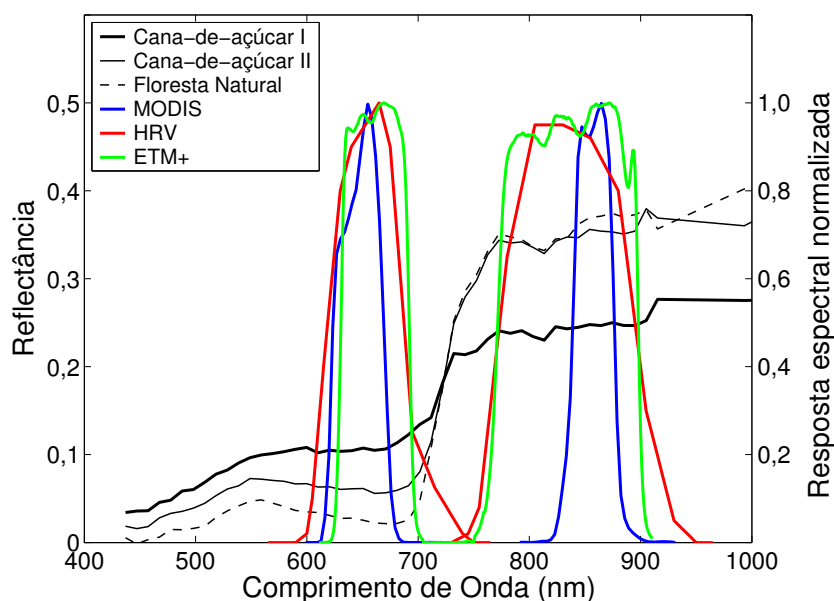


Figura 1. Curvas espectrais adquiridas da imagem Hyperion de duas amostras sob cana-de-açúcar e uma de floresta natural, juntamente com as respostas espectrais normalizadas dos sensores estudados para as bandas do *Ver* e *IVP*.

Na Figura 2, observaram-se as diferenças das reflectâncias ($\Delta\rho$) das bandas individuais do *Ver* e do *IVP* entre os sensores analisados, para os alvos de cana-de-açúcar e floresta natural. A diferença de reflectância entre os sensores ETM⁺ e MODIS na banda do *Ver* aumentou à medida que a reflectância cresceu (Figura 2a), apresentando correlação de 0,73 (p -valor<0,05). Para os menores valores de reflectância na banda *Ver*, correspondendo a quase todas as amostras de floresta natural e a algumas amostras de cana-de-açúcar (com maior quantidade de biomassa verde), a diferença foi, geralmente, negativa, demonstrando que a reflectância do MODIS foi maior. Este fato é devido à inclusão da região do pico do verde para esta banda. Por outro lado, para maiores valores de reflectância na banda *Ver*, as diferenças foram positivas, o que se justifica por esta banda no ETM⁺ conter mais a região da borda do vermelho. Na Figura 2b, em que se observa a diferença de reflectância entre os sensores ETM⁺ e MODIS para a banda do *IVP*, não houve relação significativa (p -valor>0,05). Contudo, a maioria das diferenças entre as amostras foi negativa, pois, os valores de reflectância do sensor MODIS, em média, foram maiores que os valores *IVP* do sensor ETM⁺, justificado pela banda *IVP* do MODIS ser mais estreita e estar localizada em uma região, onde a reflectância de alvos com vegetação é maior.

Ao analisar a diferença de reflectância entre os sensores HRV e MODIS (Figura 2c) para a banda do *Ver*, observa-se que a diferença é superior a zero e não significativa. Isto se deve ao fato de a banda *Ver*, referente ao sensor HRV, abranger mais do que a do sensor MODIS, as regiões espectrais do pico do verde a da borda do vermelho, resultando maiores valores. Para este mesmo par de sensores, não houve relação significativa (p -valor>0,05) entre a diferença de reflectância para a banda do *IVP* (Figura 2d). No entanto, observa-se que a maioria das diferenças foram negativas, novamente como resposta de a banda do MODIS ser mais estreita e estar localizada em uma região, onde os valores de reflectância são maiores.

A relação entre a diferença de reflectância *Ver* dos sensores HRV e ETM⁺ (Figura 2e) foi negativa ($R=-0,62$, p -valor<0,05). Para menores valores de reflectância, a diferença foi positiva, principalmente para as amostras de floresta natural, demonstrando que a reflectância do HRV foi maior. Este resultado é devido à inclusão da região do pico do verde na banda do *Ver* do sensor HRV. Entretanto, a diferença de reflectância entre a banda *IVP* dos sensores HRV e ETM⁺ (Figura 2f) não foi significativa, com o aumento do *IVP* (p -valor>0,05). Observa-se que esta variação também foi próxima a zero. Isto se deve ao fato de a função de resposta entre as bandas *IVP* destes sensores serem semelhantes (Figura 1).

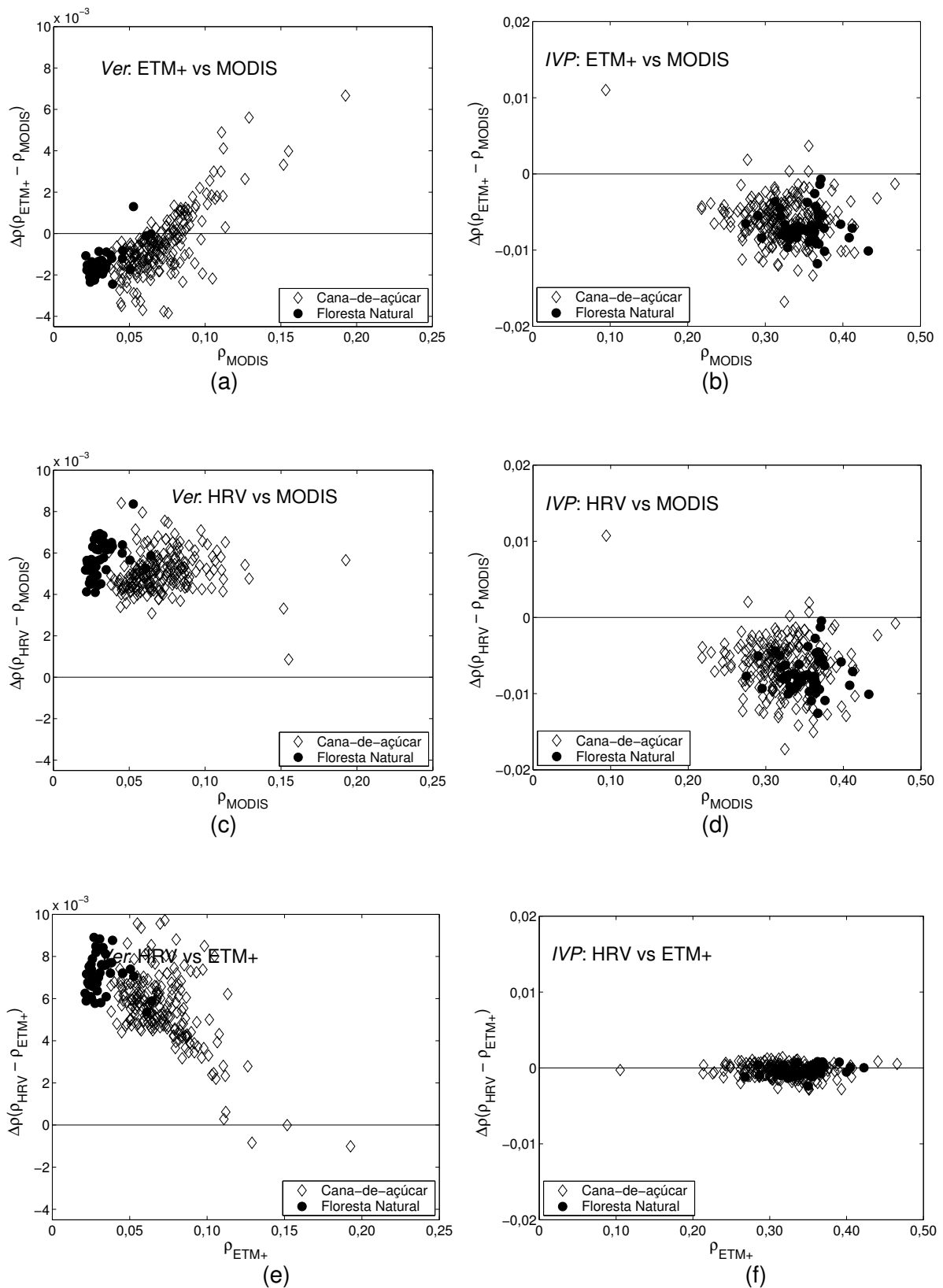


Figura 2. Diferença de reflectância entre os sensores dos alvos cana-de-açúcar e floresta natural.

Na Figura 3, observaram-se as diferenças do NDVI das amostras entre os pares de sensores analisados, e as curvas de regressão ajustadas a esses dados. A variação na diferença do NDVI para o par de sensor ETM⁺ e MODIS (Figura 3a) mostrou um aumento nos valores da diferença do NDVI à medida que o NDVI_{ETM⁺} foi aumentado. Nesse par de sensores, verificou-se a maior variação nas diferenças dos NDVIs. Para a cana-de-açúcar, os valores das diferenças dos NDVIs variaram mais (de -0,035 a 0,019) que as diferenças para floresta natural (de 0,084 a 0,011). Em geral, tanto para as amostras de cana-de-açúcar como para as de floresta natural, os valores das diferenças foram negativos até aproximadamente NDVI_{ETM⁺} de 0,74, passando a positivas a partir desse ponto. O NDVI é mais sensível a pequenas mudanças de reflectância do *Ver* do que do *IVP*, para alvos de vegetação densa (EPIPHANIO & HUETE, 1995). Quando a vegetação é mais densa, os valores das diferenças de NDVI são positivos, pois, a reflectância do *Ver* é menor para o sensor ETM⁺ (Figura 2a) e, conseqüentemente o valor do NDVI_{ETM⁺} se torna maior que o do NDVI_{MODIS}. A diferença negativa é atribuída aos valores NDVI_{MODIS} serem maiores que os valores do NDVI_{ETM⁺}. Quando a vegetação tem menor quantidade de biomassa verde, o NDVI se torna mais sensível às variações do *IVP*. Em média, os valores de reflectância da banda do *IVP* do MODIS para as

amostras foram maiores que as do sensor ETM⁺ (Figura 2b), fazendo, com que os valores NDVI_{MODIS} fossem maiores.

Para o par HRV e MODIS (Figura 3b), não houve relação para o nível de significância de 5% entre suas diferenças do NDVI com NDVI_{HRV}. As diferenças de NDVI entre este par de sensor foram negativas, variando de -0,027 a -0,016 para a cana-de-açúcar e de -0,073 a -0,021, para floresta natural. Tal resultado pode ser atribuído tanto aos valores de *Ver* do sensor HRV serem maiores que os do sensor MODIS, quanto aos valores de *IVP* do sensor HRV serem menores que os do sensor MODIS. Ambos os resultados fazem com que NDVI_{HRV} < NDVI_{MODIS}.

Para a diferença do NDVI_{ETM⁺} e NDVI_{HRV} (Figura 3c), houve um aumento no valor da diferença dos NDVIs à medida que o valor do NDVI_{ETM⁺} aumentou. A diferença de NDVI neste par, para a cana-de-açúcar, foi de -0,001 a 0,044, enquanto para a floresta natural foi de 0,025 a 0,039. Em geral, tanto para a cana-de-açúcar como para floresta natural, a variação nos valores da diferença do NDVI foi positiva. Como as diferenças de *IVP* para este par de sensores foi próxima a zero (Figura 2f), as diferenças de NDVI são explicadas por *Ver*. Quando positiva, a diferença é atribuída aos valores do *Ver* do sensor HRV serem maiores que os do sensor ETM⁺, conseqüentemente o NDVI_{ETM⁺} > NDVI_{HRV}.

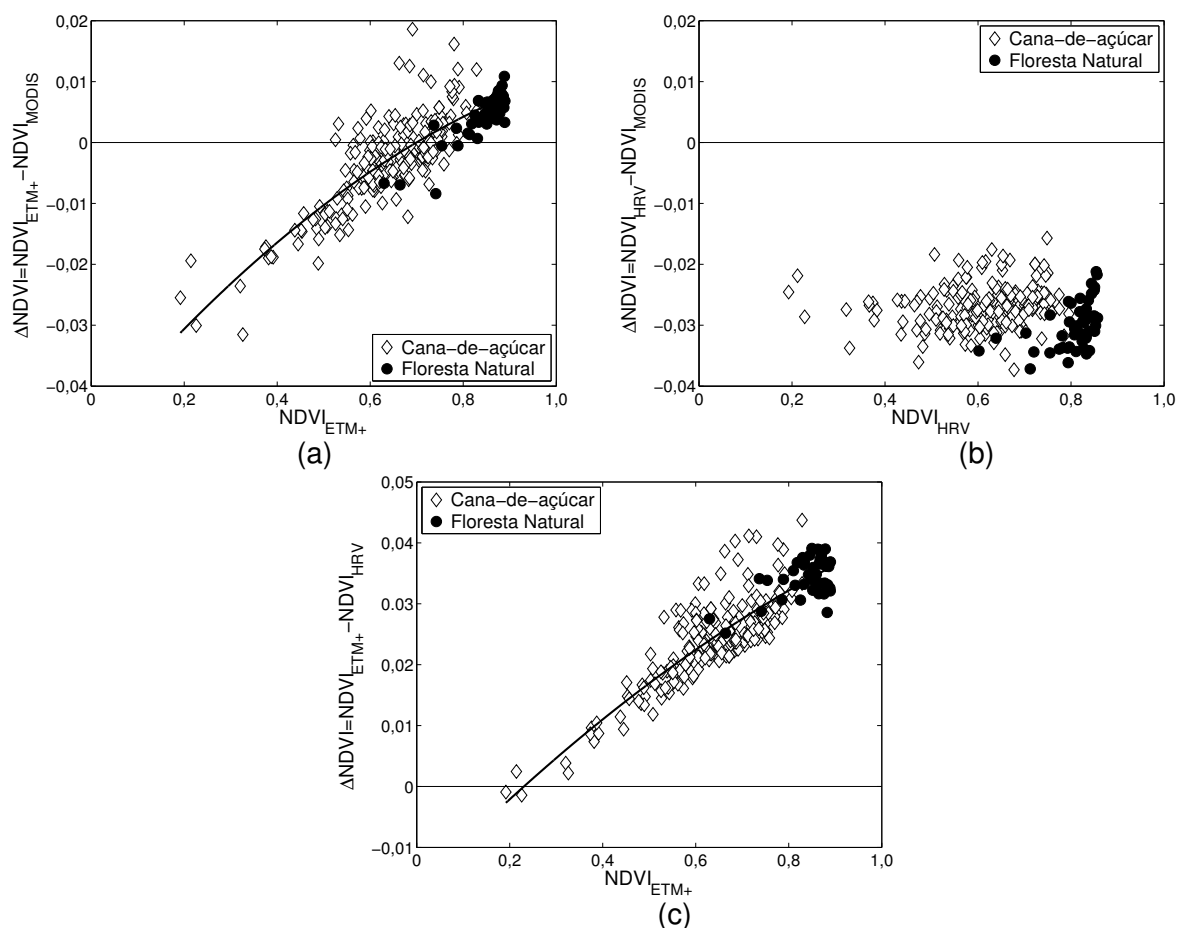


Figura 3. Diferenças entre o NDVI de sensores distintos e modelos ajustados aos dados

Quadro 1. Equações de translação entre NDVIs de diferentes sensores. Variável dependente $y = \Delta\text{NDVI} = \text{NDVI}_{\text{DE}} - \text{NDVI}_{\text{PARA}}$ e variável independente $x = \text{NDVI}_{\text{DE}}$

DE	PARA	Equação	R ²	p-valor
ETM ⁺	MODIS	$y = -0,0474 + 0,0904x - 0,0324x^2$	0,72	<0,01
HRV	MODIS	$y = -0,0303 + 0,0114x - 0,0108x^2$	0,01	=0,32
ETM ⁺	HRV	$y = -0,0169 + 0,0783x - 0,0212x^2$	0,76	<0,01

No Quadro 1, são apresentadas as equações de translação ajustadas, aos dados das diferenças de NDVI dos pares de sensores (Figura 3). O modelo de regressão, a ser ajustado aos dados, foi do tipo polinomial de segundo grau. A translação dos dados do NDVI_{ETM⁺} para o NDVI_{MODIS} e de NDVI_{ETM⁺} para o NDVI_{HRV} apresentou R² de 0,72 e 0,76, respectivamente. No entanto para a translação do NDVI_{HRV} para o NDVI_{MODIS}, não houve relação significativa (p-valor > 0,05). Estes resultados apresentaram menores valores de R² em comparação aos obtidos no estudo realizado por Miura et al. (2006). Esses autores analisaram as diferenças de NDVI para os sensores AVHRR, MODIS e ETM⁺, tendo como alvos da região norte do Brasil: floresta,

cerrado, pasto e solo exposto. Salvo algumas restrições, apresentadas a seguir, as equações com significância (Quadro 1) poderão, para a região de Campos dos Goytacazes e para os alvos estudados, serem utilizadas para transformar uma imagem NDVI de um sensor para outro. Algumas limitações para a realização de uma translação eficiente de dados NDVI temporal de diferentes sensores, foram observadas por Trishchenko et al. (2002), tais como, as variáveis atmosféricas (e.g. vapor d'água, aerossol e ozônio) e a geometria fonte-alvo-sensor. A resolução espacial é outro fator limitante para a translação do NDVI de sensores distintos, devendo-se levar em consideração este fator (TEILLET et al., 1997).

CONCLUSÕES

Como conclusões, podem-se citar:

- Houve uma correlação significativa para os sensores analisados para a banda do *Ver*, o mesmo não ocorrendo para a banda do *IVP*. Tais respostas estão associadas ao tamanho da largura e posição central das bandas desses sensores;
- Foram estabelecidas equações de translação entre sensores para os alvos estudados, sendo que do NDVI_{ETM+} para NDVI_{MODIS} e do NDVI_{ETM+} para NDVI_{HRV} houve boa relação, $R^2=0,72$ e $R^2=0,76$, respectivamente, enquanto a translação do NDVI_{HRV} para NDVI_{MODIS} não foi significativa para nível de significância de 5%.

REFERÊNCIAS

- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; HATFIELD, J.L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, p.300-306, 1984.
- EPIPHANIO, J.C.N.; HUETE, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, v.51, p.351-360, 1995.
- GAO, B.C. A practical method for simulating AVHRR-consistent NDVI data series using narrow MODIS channels in the 0.5–1.0 μ m spectral range. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.38, n.4, p.1969-1975, 2000.
- 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.
- JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2ed., Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007. 592p.
- 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, n. 2, p. 223–236, 2006.
- 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.
- TEILLET, P. M.; STAENZ, K.; WILLIAMS, D. J. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 139-149, 1997.
- TRISHCHENKO, A. P.; CIHLARA, J.; LIA, Z. Effects of spectral response function on surface reflectance and NDVI measured with moderate resolution satellite sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.1-18, 2002.
- TURNER, D.P.; COHEN, W.B.; KENNEDY, R.E.; FASSNACHT, K.S.; BRIGGS, J.M. Relationships between leaf area index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across three temperate zone sites. **Remote Sensing of Environment**, v.70, p. 52–68, 1999.
- USGS – U. S. Geological Survey: **EO-1 User's Guide**. Capturado em 12 fev. 2006. Online. Disponível na Internet: http://eo1.usgs.gov/userGuide/hyp_prod.html.
- XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A. Monitoring leaf area index at watershed level through NDVI from Landsat-7/ETM+ data. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 243-252, 2004.