

## Avaliação de índices de vegetação para três tipos de solo em diferentes condições de cobertura vegetal

Bruno Silva Oliveira<sup>1</sup>  
Guilherme Augusto Verola Mataveli<sup>1</sup>  
Bruno Schultz<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Sulimar Munira Caparoci Nogueira<sup>1</sup>  
Carina Regina de Macedo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{bruno.so, mataveli, schultz, bete, sul, crmacedo}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Spectral vegetation index (VIs) are one of the methods used for various purposes in remote sensing of natural resources, in order to enhance the contribution of vegetation in the signal detected by the sensor's field of view. When dealing with satellite data, linear mixture of information contained in one pixel can mask the distinctive features of the study object, especially when it comes to soil, where the absorption bands that characterize them are difficult to detect. This work aims to evaluate the influence of soil type over four vegetation index (NDVI, SAVI, EVI and NDWI) with different percentages of vegetation cover (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). The experiment was conducted in laboratory using three soil types (Humic, Clay Soil and Sandy Soil), with sugarcane leaves as vegetation cover. NDVI had the greatest influence of the change of substrate. SAVI has a behavior closer to the ideal, since the curves for each soil type present less variation among themselves, reaching the goal of this index, which is to minimize the effect of soil. EVI showed a similar performance to SAVI and NDWI proved to be an interesting vegetation index to evaluate vegetation cover, even using different soil types, it is more sensitive to higher biomass than the other indexes.

**Palavras-chave:** Vegetation index, soil, sugarcane, índice de vegetação, solo, cana-de-açúcar.

### 1. Introdução

O sensoriamento remoto vem se firmando como uma ciência capaz de oferecer a base para estudos de variáveis ambientais, permitindo análises mais abrangentes e com a vantagem de se manipular dados espacializados, representando a variável de estudo de forma contínua no terreno (Hasegawa et al., 2010). O desenvolvimento dos sistemas sensores, assim como das metodologias de análise dos dados de sensoriamento remoto, tem permitido o acompanhamento das condições dos ecossistemas e cobertura vegetal, por meio de índices de vegetação (Mc Roberts, 2007). Os índices espectrais de vegetação podem ser definidos como a combinação de dados de duas ou mais bandas espectrais, selecionadas de forma a representar o fenômeno estudado na forma de um índice, que pode ser relacionado com os parâmetros da vegetação. Um índice de vegetação deve ser sensível a sutis variações no estado fenológico da vegetação, e não pode sofrer fortes influências por variações de tipos de solo ou geometria de iluminação e visada (Huete, 1996).

A história destes índices inicia-se com Jordan (1969) que propôs o primeiro índice espectral para avaliar a quantidade de clorofila presente no dossel florestal. Este índice ficou conhecido como *Simple Ratio*, que é uma razão simples entre o comprimento de máxima reflectância (800  $\mu\text{m}$ ) e de alta absorção (675  $\mu\text{m}$ ) da radiância medida logo abaixo do dossel florestal.

Em 1980, o uso experimental de scanners acoplados em aviões provou que a resposta espectral dos dosséis da vegetação nos comprimentos de onda do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR), contribui para o monitoramento da mudança sazonal da vegetação. Particularmente o uso da aritmética simples entre esses dois comprimentos de onda forneceram os produtos chamados índices de vegetação (Tucker, 1979; Tucker, 1980). Entre

muitos índices de vegetação existentes, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) proposto por Rouse et al. (1973) é utilizado de forma direta para avaliar o índice de área foliar (IAF) de dosséis florestais e agrícolas e, além disso, possui relação quase que linear com a *fraction of Absorbe Photosynthetically Active Radiation* (fPAR) (Prince, 1991; Baret e Guyot, 1991).

Um dos grandes problemas em se utilizar a razão normalizada dos comprimentos de onda do RED e NIR é o brilho do solo que influencia de forma direta o NDVI (Huete, 1988). Solos que possuem alta taxa de matéria orgânica, e com a mesma quantidade de fração vegetação que um solo mais claro, terão resultados de NDVI maiores, devido à absorção da radiação nos comprimentos de onda 600 a 1100 nm, que influencia menos o NIR em solos mais claros (Elvidge e Lyon, 1985; Huete et al., 1985). Para diminuir o efeito do brilho do solo sobre a resposta espectral do solo que interfere o NDVI, Huete (1988) recomenda o uso do *Soil-adjusted Vegetative Index* (SAVI).

Em nível de laboratório, a espectrorradiometria auxilia na classificação dos tipos de solos, porém ao nível orbital, a mistura linear de informações contida num mesmo pixel pode mascarar as feições características para a mesma classificação. Essas características têm interferência direta nos índices de vegetação, uma vez que as informações de reflectância utilizadas no cálculo dos mesmos contém uma parcela referente ao efeito de brilho do solo.

Desta forma, o uso de técnicas de espectrorradiometria em nível de laboratório é uma forma de avaliar os fatores inerentes ao sensor e ao alvo que podem interferir nos resultados da reflectância (Milton, 1987) e que conseqüentemente, podem enviesar os resultados dos índices espectrais de vegetação.

## **2. Objetivos**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de quatro diferentes índices espectrais de vegetação para as proporções de cobertura de vegetação de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% em três tipos de substrato (Solo Arenoso, Latossolo e Húmus). Busca-se uma melhor compreensão da interferência da cobertura vegetal e do substrato nos índices de vegetação.

## **3. Metodologia do Trabalho**

### **3.1 Descrição do Experimento**

O procedimento experimental foi conduzido no Laboratório de Radiometria (LARAD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, sob condições de iluminação e medição controladas. Os equipamentos utilizados foram o Fieldspec ProFR, com IFOV de 25°, uma fonte de iluminação halógena (com geometria de iluminação a um ângulo de 30° com relação à normal), uma placa de referência Spectralon, amostras de três tipos de solos: Húmus representando solos escuros, Latossolo representando solos intermediários e Areia representando solos claros; e folhas de cana-de-açúcar como cobertura vegetal.

Com o Fieldspec ProFR foram coletados dados de radiância da placa de referência Spectralon, seguindo-se das medidas para os três tipos de solo, inicialmente sem cobertura vegetal, sendo então aplicadas as proporções de área do IFOV do equipamento de 25%, 50%, 75% e 100% com uma, duas e três camadas de folhas de cana-de-açúcar, simulando um adensamento do dossel vegetal. A Figura 1 ilustra a metodologia aplicada no procedimento experimental adotado.

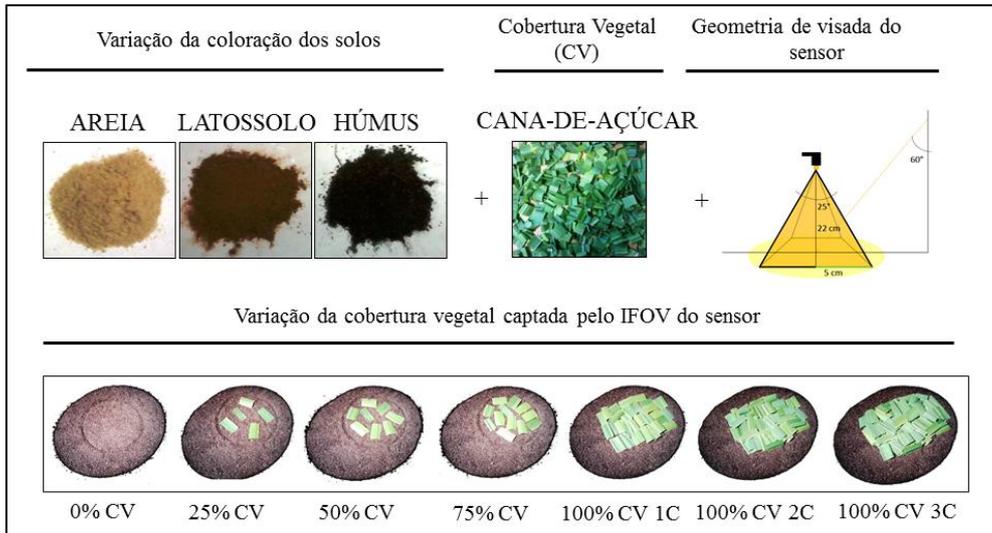


Figura 1. Materiais utilizados no procedimento experimental.

Para cada amostra avaliada foram tomadas três medidas, de forma a se considerar as incertezas estatísticas. Assim, os valores de média e desvio padrão foram calculados para cada amostra. Para os três tipos de substrato utilizados no experimento, as porcentagens de cobertura vegetal foram as mesmas. Dessa forma, os valores de reflectância obtidos para cada tipo de substrato apresentam variação por diferentes níveis de interferência causados pelo brilho dos solos.

Os dados de radiância coletados foram convertidos em Fator de Reflectância (FR), que consiste na razão entre a radiância espectral da amostra e a radiância espectral de uma superfície lambertiana ideal, sob as mesmas condições de iluminação e observação.

### 3.2 Índices de vegetação

Índices de Vegetação (IV) são um dos meios utilizáveis para vários objetivos no sensoriamento remoto de recursos naturais, com o objetivo extrair ou realçar a contribuição da vegetação verde no sinal detectado pelo campo de visada do sensor.

Os índices de vegetação avaliados neste estudo são apresentados na Tabela 1. O NDVI relaciona as reflectâncias do infravermelho próximo e do vermelho, baseando-se no contraste dessas duas reflectâncias. Huete (1988) propôs o SAVI, buscando um índice com o efeito do substrato minimizado.

O *Enhanced Vegetation Index* (EVI) consiste em uma variação do NDVI, com um aprimoramento quanto a correções de influências da atmosfera e do solo. Na equação apresentada na Tabela 1,  $\rho_{nir}$ =reflectância no infravermelho próximo,  $\rho_{red}$ = reflectância no vermelho,  $\rho_{blue}$ = reflectância para o azul e as constantes  $G=2,5$ ,  $L=1$ ,  $C_1=6$  e  $C_2=7,5$ .

Gao (1996), para avaliar a quantidade de água presente no dossel florestal, propõe o uso do NDWI que é a razão das bandas de absorção de água da vegetação em 0,86 e 1,24  $\mu\text{m}$ .

Tabela 1. Índices de vegetação avaliados.

Nome	Fórmula	Referência
NDVI	$\frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$	Rouse et al. (1974)
SAVI	$(1 + L) \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L}$	Huete (1988)
NDWI	$\frac{\rho_{0,86\mu\text{m}} - \rho_{1,24\mu\text{m}}}{\rho_{0,86\mu\text{m}} + \rho_{1,24\mu\text{m}}}$	Gao (1996)
EVI	$G \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1\rho_{red} - C_2\rho_{blue} + L}$	Huete et al. (1997)

Para o cálculo dos índices de vegetação NDVI, SAVI e EVI, se utilizou o valor de FR simulado para as bandas do sensor TM Landsat 5, e para o NDWI foram simuladas as bandas do sensor MODIS, a bordo do satélite Terra. As faixas espectrais das bandas simuladas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Bandas espectrais simuladas para o cálculo dos índices de vegetação.

Sensor	Banda	Intervalo ( $\mu\text{m}$ )
TM Landsat 5	B1 - Azul	0,45 – 0,52
TM Landsat 5	B3 – Vermelho	0,63 – 0,69
TM Landsat 5	B4 – Infravermelho próximo	0,76 – 0,90
Terra MODIS	B2 - Infravermelho próximo	0,841 – 0,876
Terra MODIS	B5 - Infravermelho próximo	1,23 – 1,25

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Resposta de reflectância no NIR e RED

A Figura 2 apresenta os valores de fator de reflectância (FR) no vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR), simuladas nos intervalos de comprimento de onda equivalentes às bandas 3 e 4 do sensor TM Landsat 5.

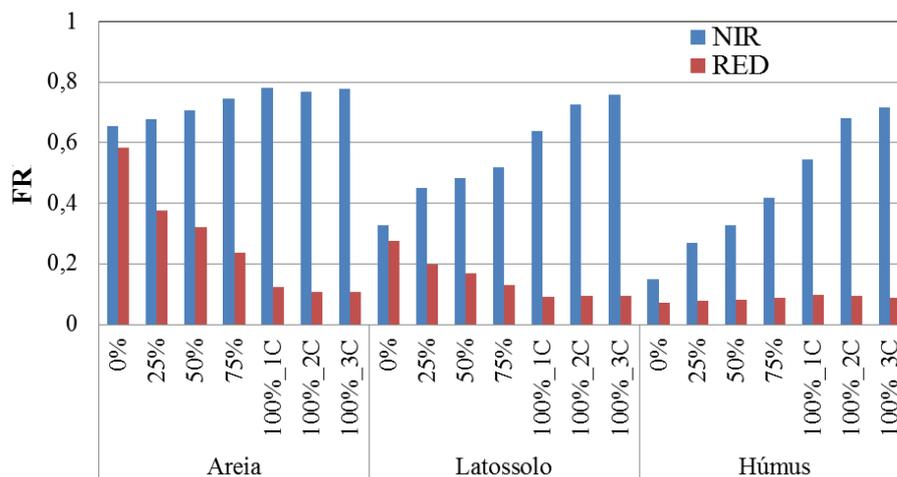


Figura 2. Fator de reflectância nas bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) por tipo de solo e porcentagem de cobertura vegetal.

Na Figura 2, pode-se notar que o solo arenoso apresentou, de maneira geral, maiores valores de reflectância tanto no infravermelho próximo quanto no vermelho, para diferentes porções de vegetação, em comparação com os outros substratos. Solos de textura arenosa tendem a ter maior reflectância, devido à sua constituição mineralógica (rica em quartzo) e ao fato de geralmente apresentarem baixos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e menores teores de água (Dalmolin et al., 2005). Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), na região do visível um dossel apresenta valores de reflectância relativamente baixos devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a radiação eletromagnética incidente para a realização da fotossíntese. Na região do infravermelho próximo, estes valores apresentam-se elevados devido ao espalhamento interno sofrido pela radiação em função da disposição da estrutura morfológica da folha.

O húmus, rico em matéria orgânica, apresentou menores valores de reflectância, em comparação com os outros substratos. A composição e o conteúdo de matéria orgânica no solo são fatores de forte influência sobre a reflectância dos solos. À medida que o teor de matéria orgânica aumenta, a reflectância do solo decresce no intervalo de comprimento de

onda de 400 a 2500nm (Moreira, 2005). Já o solo vermelho apresenta um comportamento intermediário aos outros dois tipos de substrato, havendo um aumento no FR na banda do infravermelho médio de acordo com o aumento da cobertura vegetal e diminuição do FR na banda do vermelho, devido à absorção da radiação eletromagnética pelos pigmentos fotossintetizantes.

Analisando as diferentes porcentagens de cobertura de vegetação, tem-se que em 0% de cobertura vegetal, a resposta espectral é referente somente ao solo, enquanto para 100%, a resposta no infravermelho próximo tem uma componente do solo, pois a radiação nessa faixa espectral tem maior penetração no dossel, interage com o solo e chega ao sensor, enquanto para o vermelho a resposta que se tem é devido à interação da radiação com os pigmentos fotossintetizantes. Para as frações de cobertura de solo intermediárias (25, 50 e 75%), a resposta espectral que se tem é uma combinação das componentes do solo e da vegetação.

#### 4.2 Índices de vegetação

A Figura 3 apresenta os gráficos dos índices de vegetação variando em função da porcentagem de cobertura foliar e do tipo de solo.

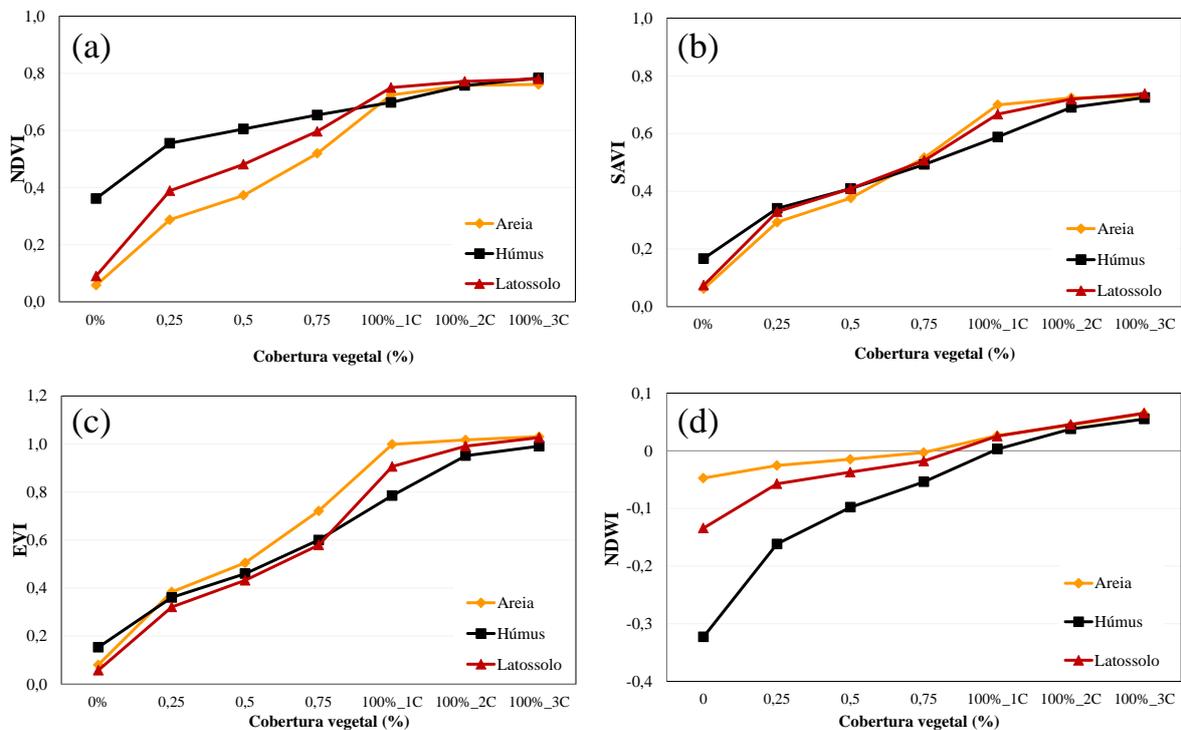


Figura 3. Índices de vegetação NDVI, SAVI, EVI e NDWI para Areia, Húmus e Latossolo, com cobertura vegetal de 0, 25, 50, 75, e 100% (com 1, 2 e 3 camadas de folhas de cana-de-açúcar para a cobertura 100%).

Nota-se pela Figura 3(a) que as variações no brilho do solo têm forte influência sobre o NDVI, o que é indesejável quando se procura avaliar parâmetros da vegetação. Nas menores porcentagens de cobertura vegetal, o índice se mostra muito superior para o Húmus do que para o solo Arenoso e o Latossolo, conforme apontado por Elvidge e Lyon, 1985 e Huete et al., 1985. Essa disparidade diminui à medida que se aumenta a cobertura vegetal sobre o substrato, pois a resposta no infravermelho próximo aumenta em todos os tipos de solo, e a do vermelho diminui. Para 100% de cobertura vegetal, com uma camada de folhas, se tem

valores de NDVI maiores para o solo Arenoso e para o Latossolo, porém com duas e três camadas o valor desse índice para os três solos se aproxima.

O SAVI busca minimizar os efeitos de fundo sobre a vegetação, como se por perceber na Figura 3(b), onde as curvas para cada tipo de solo estão mais próximas do que as obtidas para o NDVI, evidenciando a menor variação do índice em função do substrato. Percebe-se na comparação com o NDVI que o SAVI alcança o objetivo proposto por Huete (1988), onde o índice ajustado para o solo reduz o efeito do substrato no índice, destacando a resposta da vegetação. O ideal seria que para um índice de vegetação, as curvas dos três solos estivessem sobrepostas, ou seja, que a mudança de substrato não interferisse nos valores de IV.

O EVI (Figura 3(c)) apresentou um comportamento semelhante ao do SAVI, porém para o solo Arenoso o índice se mostrou superior aos demais, principalmente entre as porcentagens de 75% e 100% com uma camada de folhas. Essa diferença pode ser efeito da disposição das folhas no procedimento experimental, que proporcionou uma maior reflectância no infravermelho próximo, em contraste com a resposta na banda do vermelho, principalmente para 100% de cobertura vegetal.

O índice NDWI relaciona as bandas centradas em 0,86  $\mu\text{m}$  e 1,24  $\mu\text{m}$ , variando de acordo com o teor de água na vegetação. Nota-se na Figura 3(d) que a variação da cobertura foliar é pouco afetada na areia e mais afetada no Húmus e Latossolo. Esta pequena variação devido a mudança na cobertura vegetal sobre a areia nas bandas de 0,86 e 1,24  $\mu\text{m}$  (Figura 4), terá menor variação sobre o NDWI comparado com a variação do mesmo intervalo espectral no Latossolo e Areia. De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2010), o aumento de material verde causa o aumento da reflectância na região do NIR, isto não foi observado para a areia, que se manteve constante no comprimento de onda que variou de 0,76 a 1,14  $\mu\text{m}$ .

Para Gao (1996), valores negativos de NDWI correspondem à vegetação seca, enquanto valores positivos referem-se à vegetação verde. Porém para o presente experimento, os valores negativos se devem à componente do solo interferindo no índice. Essa componente do solo diminui gradualmente a resposta espectral captada pelo sensor, destacando a resposta da água da vegetação no índice, principalmente a partir de 100% de cobertura vegetal, onde se passa a ter valores positivos do índice (Figura 3(d)). Conforme aponta Gao (1996), o NDWI, em uma área em que a vegetação recobre totalmente o solo, estará relacionado com a umidade dessa vegetação, porém para menores proporções de cobertura do solo, o NDWI não remove totalmente os efeitos de fundo do substrato. Considerando ainda o aumento do número de camadas de folhas de cana-de-açúcar, o NDWI mostra-se sensível ao aumento de biomassa. Quanto mais camadas se têm, maior é a reflectância no infravermelho próximo, de maneira mais acentuada perto de 0,86  $\mu\text{m}$ , refletindo no aumento do índice.

Para avaliar a sensibilidade do índice NDWI ao aumento da biomassa sobre cada tipo de solo, comparativamente aos demais índices de vegetação testados, foram traçadas as curvas apresentadas na Figura 4.

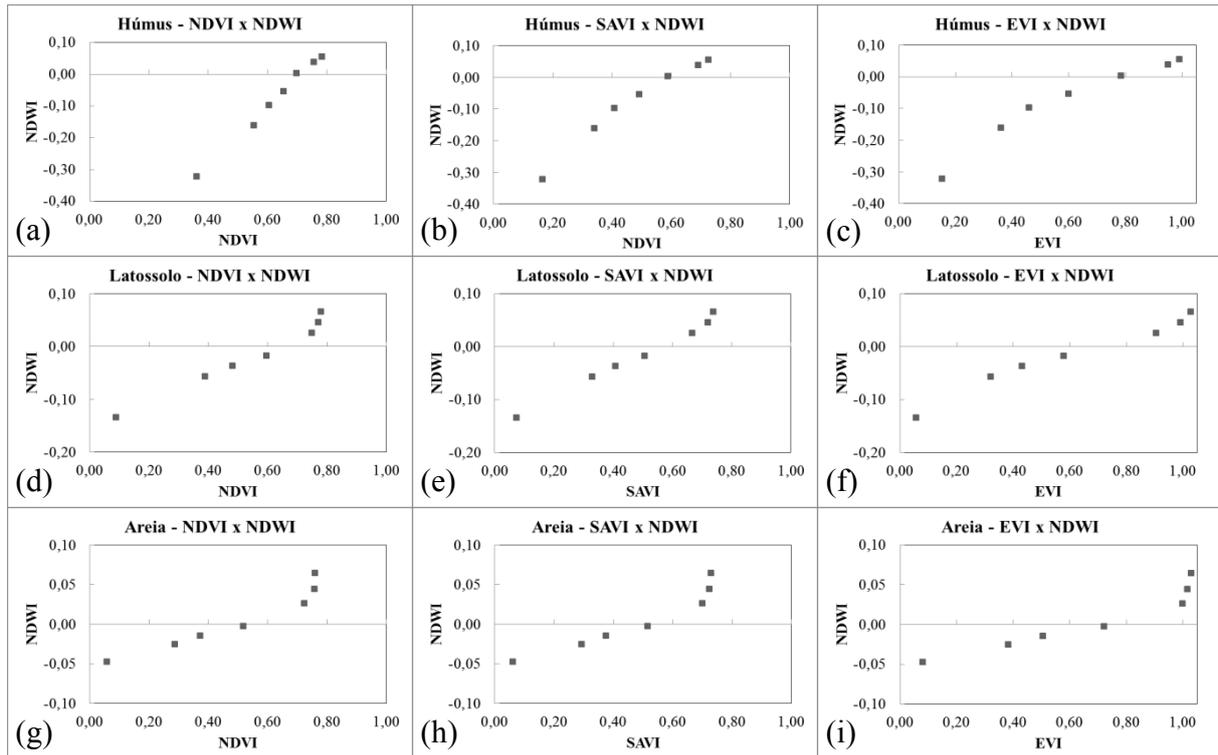


Figura 4. Correlação entre os índices de vegetação

Comparando a dispersão do NDWI com os demais índices avaliados nos três tipos de solo, nota-se que o NDWI se mostra sensível à variação da proporção de cobertura vegetal tanto quanto o NDVI, SAVI e EVI. Mas o que se destaca no comportamento do NDWI é a sua sensibilidade mesmo com as maiores quantidades de biomassa, mais especificamente para a cobertura de 100% com uma, duas e três camadas de folhas. Na Figura 4, especialmente para os solos claros (Areia) temos que o NDWI ainda é sensível ao aumento de biomassa quando os outros índices testados saturam. Para o Latossolo, o NDWI também se mostra mais sensível ao aumento de biomassa, apresentando um melhor desempenho principalmente com relação ao NDVI nas maiores quantidades de biomassa.

## 5. Conclusões

O NDVI foi o índice de vegetação com maior influência da mudança de substrato. Já o SAVI tem um comportamento mais próximo do ideal, ou seja, as curvas para cada tipo de solo apresentam menor variação entre si, cumprindo o objetivo desse índice, que é minimizar o efeito do solo sobre a vegetação. O EVI mostrou um desempenho semelhante ao SAVI, com uma variação entre as curvas de IV para cada tipo de solo menor que a do NDVI.

O NDWI, que utiliza duas bandas do infravermelho próximo pra seu cálculo, se apresentou como um índice de vegetação interessante para avaliar a cobertura vegetal, mesmo sobre diferentes tipos de solo, pois é mais sensível ao aumento de biomassa que os demais índices avaliados. Como o NDWI utiliza duas bandas no infravermelho próximo para seu cálculo, pode-se dizer que é um índice que utiliza informações do dossel de uma forma mais completa, pois a radiação eletromagnética na faixa do infravermelho penetra mais no dossel, devido à maior transmitância do tecido vegetal para essa faixa. Já na faixa do vermelho, a radiação é absorvida nas primeiras camadas foliares, o que afeta diretamente os índices que usam essa banda espectral para seu cálculo.

## **Agradecimentos**

Ao Laboratório de Radiometria da DSR/INPE, pelos equipamentos e apoio necessários para a realização do experimento.

## **Referências Bibliográficas**

Baret, F.; G., Guyot. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, **Remote Sensing of Environment**, n. 35, p. 161-173, 1991.

Dalmolin, R. S. D; Gonçalves, C. N; Klamt, E; Dick, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.481-489, 2005.

Elvidge, C. D.; Lyon, R. J. P. Estimation of the vegetation contribution to the 1.65/2.22 mm ratio in air-borne thematic-mapper imagery of the Virginia Range, Nevada. **International Journal of Remote Sensing**, n. 6, p. 75-88. 1985.

Gao, B. C. NDWI—a normalised difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**. n. 58, p. 257-266, 1996.

Hasegawa, K; Matsuyama, H.; Tsuzuki, H.; Sweda, T; Improving the estimation of leaf area index by using remotely sensed NDVI with BRDF signatures. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 514-519, 2010

Huete, A. R.; Jackson, R. D.; Post, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, n. 17, p.37-53, 1985.

Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, p.295-309, 1988.

Huete, A.R. Extension of soil spectra to the satellite: Atmosphere, geometric and sensor considerations. **Photo Interpretation**, v.34, n.2, p.101-114, 1996.

Huete, A; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Leween, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440-451, 1997.

Jordan, C. F., Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, n. 50, p. 663-666, 1969.

Mc Roberts, R. E.; Tomppo, E. O. Remote Sensing support for national forest inventories. **Remote Sensing of Environment**. n. 110, p.412-419, 2007.

Milton, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**. v.8, n.12, p. 1807-1927, 1987.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. atual. ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

Ponzoni, F.J.; Shumabukuro, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**, São José dos Campos: Ed. A Silva Vieira, 2010, 127p.

Prince, S.D. Satellite Remote Sensing of Primary Production: Comparison of Results for Sahelian Grasslands, **International Journal of Remote Sensing**. n. 12, p. 1301-1311, 1991.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. X Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Third ERTS Symposium**, NASA SP 351, v. 1, p. 309-317, 1973.

Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, n. 8, p.127-150, 1979.

Tucker, C. J. Remote sensing of leaf water content in the near infrared. **Remote Sensing of Environment**. n. 10, p. 23-32, 1980.