

## Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na sub-bacia do Vale do Rio Itapecerica, Alto São Francisco, em Minas Gerais

Evandro Luís Rodrigues<sup>1</sup>  
Daniel Henrique Ferreira Fernandes<sup>2</sup>  
Marcos Antônio Timbó Elmiro<sup>1</sup>  
Sérgio Donizete Faria<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG/IGC  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Belo Horizonte - MG, Brasil  
bioecologia@yahoo.com.br, {mtimbo, sergio.faria}@ufmg.br

<sup>2</sup> Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS/E&P-SERV/US-SUB/GDS/PLG  
Av. Santa Mônica, 120 - Macaé - RJ, Brasil  
danielfernandes@petrobras.com.br

**Abstract.** Since the 1960s, the scientific community is working hard in development of techniques applied to remote sensing products that are able to monitor the vegetation in large scale from the use of images, especially orbitals. Vegetation indices are important digital image processing techniques that aim to reduce the amount of spectral data and enhance the spectral contribution of green vegetation, as well as reducing the contribution of soil, sun angle, senescent vegetation and the atmosphere. Thus, the objective of this study is to evaluate the vegetation cover in the Itapecerica River Valley sub basin located in Minas Gerais state, Brazil, using the vegetation indices SR, NDVI, SAVI and EVI applied to TM/Landsat 5 image. The results showed that indices produced reasonable distinction between the defined categories of vegetation. The SR index presented few problems for some areas due to atmospheric interference and soil. The NDVI presented some confusion in the identification of exposed soils and soils with little or no vegetation. Among all the evaluated indices, the best performance can be attributed to SAVI, probably due to soil conditions in the basin, which apparently has a great influence on reflectance values. The EVI presented better separation of classes in densely vegetated categories, showing behavior similar to SAVI, presenting class boundaries very suchlike and equivalent performance in the identification of vegetation cover. The general results showed that the area covered by vegetation can be estimated to an acceptable level, although the limitations of TM/Landsat 5 image properties.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, satellite Landsat 5, vegetation index, vegetation cover; sensoriamento remoto, processamento de imagens, satélite Landsat 5, índice de vegetação, cobertura vegetal.

### 1. Introdução

Desde a década de 1960, a comunidade científica tem buscado desenvolver técnicas aplicadas aos produtos do sensoriamento remoto que sejam capazes de monitorar a cobertura vegetal em grande escala, a partir da utilização de imagens, sobretudo, orbitais. Essa busca se deve à necessidade contínua de avaliação e acompanhamento dos recursos vegetais, imprescindíveis à população mundial. Dessa forma, diversos estudos vêm sendo conduzidos de modo a aprimorar técnicas de processamento digital de imagens para esse fim.

Jordan (1969) é apontado por Tucker (1979) como o pioneiro dos estudos em índices de vegetação, desenvolvendo, em 1969, o Índice de Vegetação da Razão Simples (SR – *Simple Ratio Vegetation Index*). Desde então, visando aperfeiçoar a caracterização da vegetação, inúmeras variações de índices foram criadas, que podem ser calculadas por razão, diferença, razão de diferenças e somas e pela combinação linear de bandas espectrais (Jackson e Huete, 1991). Alguns exemplos são o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*), desenvolvido por Rouse *et al.* (1973), o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI – *Soil-Adjusted Vegetation Index*), proposto por Huete (1988) e o Índice de Vegetação Melhorado (EVI – *Enhanced Vegetation Index*), sugerido por Huete *et al.* (1997).

Os índices de vegetação são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (Cruz *et al.*, 2011). Segundo Moreira (2000), tais índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, usualmente, a do vermelho e a do infravermelho próximo, cuja operação matemática obtém um valor adimensional.

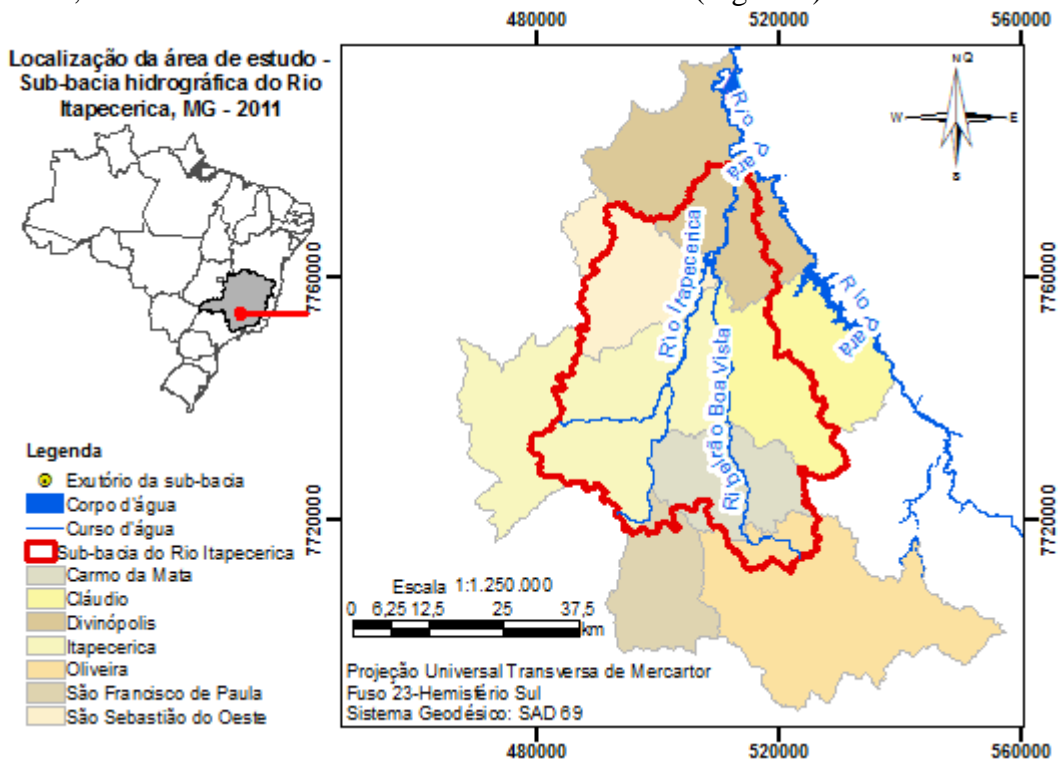
Nesse contexto, avaliar a densidade da cobertura vegetal constitui-se como uma estrutura essencial para estudos voltados para a análise ambiental, gestão e planejamento de recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico da dinâmica no espaço urbano e rural, entre outras finalidades.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cobertura vegetal na Sub-Bacia do Vale do Rio Itapecerica, em Minas Gerais, Brasil, a partir da utilização de índices de vegetação aplicados a uma imagem TM (*Thematic Mapper*)/Landsat 5, adquirida em 19 de julho de 2011.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Área de estudo

Para a realização desse trabalho foi selecionada a Sub-Bacia do Rio Itapecerica, em sua porção localizada no estado de Minas Gerais. Essa área possui a extensão de 2013,79 km<sup>2</sup>. O centróide da sub-bacia hidrográfica está situado nas coordenadas UTM, Fuso 23, Hemisfério Sul, Sistema Geodésico SAD 69 (*South American Datum 1969*), E=505.118,44m e N=7.754.203,32m e a sua altitude média é de cerca de 800 m (Figura 1).



**Figura 1:** Localização da área de estudo: Sub-Bacia do Vale do Rio Itapecerica, MG.

Devido à sua localização geográfica, a Sub-Bacia do Vale do Rio Itapecerica tem clima quente e semiúmido da Classificação de Koeppen Cwa mesotérmico, caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, com temperatura média de inverno de 16,5°C, no verão, de 29°C, e nas outras estações de 23,8°C. O índice pluviométrico varia entre 1.200mm a 1.700mm anuais.

A drenagem principal da Sub-Bacia do Vale do Rio Itapecerica possui uma antiguidade expressiva, conforme atestam as numerosas gargantas de superimposição, através das quais os cursos d'água cortam transversalmente estruturas dobradas e truncadas por erosão. Essas estruturas foram expostas pela atuação de processos erosivos em períodos geológicos mais recentes, em decorrência da formação generalizada de amplas depressões-vaies. Somente depois de consolidada essa etapa da evolução do relevo regional é que se configurou uma topografia marcadamente condicionada por dobramentos pré-cambrianos (CETEC, 1983).

O Rio Itapecerica, afluente pela margem esquerda do Rio Pará, localiza-se no setor leste-sudeste da cidade de Divinópolis. A área total de drenagem do rio compreende 2.013,79 km<sup>2</sup> e suas nascentes encontram-se próximas à cidade de Itapecerica, MG, adjacentes ao divisor norte das cabeceiras do Rio Lambari. O talvegue apresenta extensão total de cerca de 47km, desenvolvendo-se desde a altitude 915m até 700m.

A cobertura vegetal predominante na sub-bacia é caracterizada pelo bioma Cerrado, pela existência de um estrato arbustivo com árvores espaçadas, retorcidas, em geral dotadas de cascas grossas e suberosas e de raízes profundas e pela existência de um estrato erbáceo-graminoso. Entretanto, o Campo Cerrado encontra-se, em grande parte, degradado pela atividade pastoril, que é praticada de forma extensiva. Outro fator de degradação da vegetação é a ocupação urbana, mediante parcelamento do solo. Observa-se ao longo de alguns cursos d'água e vários trechos às margens do talvegue do rio Itapecerica formações de matas galerias (Braga *et al.*, 2003).

## 2.2. Materiais

Neste estudo foi utilizada uma imagem do sensor TM/Landsat 5, adquirida em 19/07/2011, disponibilizada gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Utilizaram-se as bandas do azul (0,52-0,60 $\mu$ m), vermelho (0,63-0,69 $\mu$ m) e infravermelho próximo (0,76-0,90 $\mu$ m), todas com resolução espacial de 30m. Empregou-se também uma ortoimagem GeoEye, com resolução espacial no modo pancromático de 0,41m, adquirida em 12 de julho de 2010.

O processamento digital e a confecção do layout das imagens foi realizada no *software* ArcGis 10.1 com o auxílio de *scripts* desenvolvidos na linguagem Python.

## 2.3. Métodos

De modo simplificado, as etapas do trabalho são ilustradas na Figura 2.

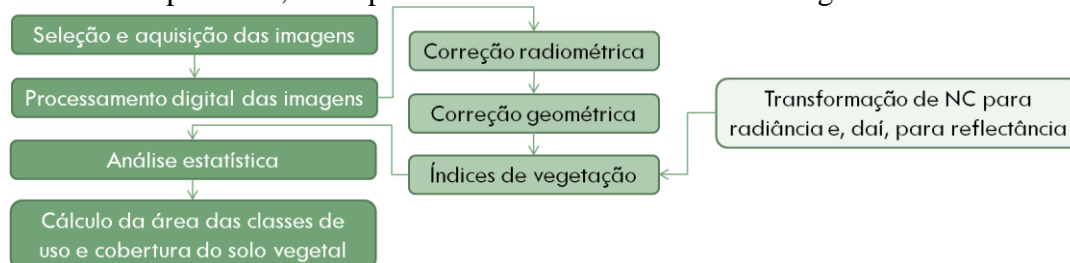


Figura 2: Fluxograma das etapas do trabalho.

### 2.3.1. Correção radiométrica

Os procedimentos para correção radiométrica foram realizados utilizando *scripts* em linguagem Python, aplicando o método do Histograma Mínimo. Segundo Chander *et al.* (2009), esse método é o mais utilizado para reduzir o efeito atmosférico, sendo particularmente importante quando se emprega técnicas de realce por divisão de canais, e se baseia na subtração do mínimo valor digital encontrado em uma banda espectral.

Comumente, os valores de brilho mais baixos presentes em uma imagem estão associados às respostas de áreas com sombreamentos de relevo ou água limpa. Assim, considera-se que os valores desses alvos são advindos da contribuição aditiva da atmosfera (espalhamento atmosférico) e, essencialmente, devem ser subtraídos dos valores digitais dos demais pixels da imagem. Desse modo assinalou-se um pixel de água limpa na imagem e o nível de cinza correspondente foi subtraído dos demais.

### 2.3.2. Correção geométrica

Realizada a correção radiométrica das imagens, procedeu-se à correção geométrica. Para tanto, foi utilizado o modelo polinomial de primeira ordem para realizar o registro das

imagens, tomando como base a ortomagem GeoEye. Esta imagem possui resolução espacial de 0,41m, sistema de projeção UTM, Fuso 23, Hemisfério Sul, com coordenadas vinculadas ao Sistema Geodésico SAD 69. Foram tomados 25 pontos de controle distribuídos espaçadamente sobre as imagens Landsat. O Erro Médio Quadrático (RMS – *Root Mean Square*) total obtido foi de 0,47 *pixel*. Estes mesmos pontos foram tomados para as duas imagens. O método de reamostragem adotado foi o do vizinho mais próximo, uma vez que não modifica a informação radiométrica das imagens.

### 2.3.3. Índices de vegetação

Uma das maneiras de caracterizar o dossel é por meio da utilização de índices de vegetação, obtidos através de medidas radiométricas da vegetação, empregadas para avaliar mudanças temporais e espaciais de dados biofísicos. O objetivo do emprego de índices de vegetação é minimizar o total de dados espectrais e realçar a contribuição espectral da vegetação verde, bem como reduzir a contribuição do solo, o ângulo solar, a vegetação senescente e a atmosfera.

O cálculo apropriado dos índices de vegetação demanda a conversão dos valores digitais (DN – *Digital Number*) para valores físicos, como radiância e reflectância (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Desse modo, a conversão dos DN's para a radiância bidirecional aparente foi realizada segundo a equação sugerida por Markham e Baker (1986) (Equação 1):

$$L_0(\lambda) = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \cdot \text{DN} \quad (1)$$

na qual  $a$  e  $b$  são, respectivamente, as radiâncias mínimas e máximas ( $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{m}^{-1}$ ) detectadas pelo sensor TM, DN são os números digitais da imagem (0 a 255) e  $i$  representa as bandas espectrais do sensor (Chander *et al.*, 2009).

A reflectância é obtida por meio da razão entre o fluxo emergente da atmosfera e o fluxo incidente no seu topo, na região e banda espectral avaliada, conforme apresenta a Equação 2:

$$\rho_i = \frac{\pi \cdot L_0(\lambda) \cdot d^2}{E_{\text{sun}}(\lambda) \cdot \cos(\theta)} \quad (2)$$

onde  $\rho_i$  é a reflectância bidirecional aparente de cada banda;  $L_0(\lambda)$  é a radiância bidirecional aparente ( $\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ );  $d$  é a distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;  $E_{\text{sun}}(\lambda)$  é a irradiância solar média no topo da atmosfera ( $\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ); e  $\theta$  é o ângulo zenital solar (Chander *et al.*, 2009).

Um dos primeiros índices de vegetação foi proposto por Jordan (1969), dando origem ao Índice da Razão Simples (SR), definido como a razão da reflectância na região do infravermelho próximo ( $\rho_{\text{IVP}}$ ) e do vermelho ( $\rho_{\text{VERM}}$ ) (Equação 3):

$$SR = \frac{\rho_{\text{IVP}}}{\rho_{\text{VERM}}} \quad (3)$$

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é calculado pela razão entre a diferença da reflectância na região do infravermelho próximo e do vermelho pela soma dessas bandas, conforme se verifica na Equação 4:

$$NDVI = \frac{\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{VERM}}}{\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{VERM}}} \quad (4)$$

Huete (1988) propôs um novo modelo para o caso de coberturas vegetais pouco densas, no qual o NDVI se torna (Equação 5):

$$SAVI = \frac{(\rho_{\text{IVP}} + L_2) - (\rho_{\text{VERM}} + L_1)}{(\rho_{\text{IVP}} + L_2) + (\rho_{\text{VERM}} + L_1)} \quad (5)$$

$L_1$  e  $L_2$  são equivalentes e pode-se utilizar  $L' = L_1 + L_2 = 2L$ . Desse modo, obtém-se o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), em que  $L$  representa um fator de cobertura do solo que varia de 0 a 1, sendo zero o valor correspondente à não-existência de cobertura

vegetal e 1 à cobertura total do solo (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). O fator de multiplicação  $(1+L)$  impõe que os valores desse índice oscilem de -1 a +1. Assim, obtém-se a Equação 6:

$$SAVI = \left[ \frac{(\rho_{IVP} - \rho_{VERM})}{(\rho_{IVP} + \rho_{VERM} + L)} \right] \cdot (1 + L) \quad (6)$$

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI), segundo proposição de Huete *et al.* (1997), busca otimizar o sinal da vegetação, intensificando a resposta em regiões de elevada concentração de biomassa, melhorando as interferências do solo e atmosféricas nas respostas. A formulação do EVI é a seguinte (Equação 7):

$$EVI = \left[ \frac{G \cdot (\rho_{IVP} - \rho_{VERM})}{(L + \rho_{IVP} + C1 \cdot \rho_{VERM} - C2 \cdot \rho_{AZUL})} \right] \quad (7)$$

onde  $\rho_{AZUL}$  é reflectância na região do azul, G é o fator de ganho, C1 e C2 são coeficientes de ajuste para o efeito de aerossóis da atmosfera.

A partir do procedimento descrito acima, realizou-se a conversão dos valores digitais da imagem para radiância e, daí, para reflectância por meio de rotinas implementadas na linguagem Python, no ArcGIS 10.1.

Desse modo, a partir das imagens corrigidas radiometricamente e geometricamente, e realizada a transformação dos DN's em reflectância espectral, aplicaram-se os quatro métodos de índice de vegetação mencionados acima. Cabe ressaltar que, para o SAVI, adotou-se para a constante L o valor de 0,5 por representar densidades médias de vegetação, como é o caso da região de estudo (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Já para a aplicação do EVI, utilizaram-se os valores de  $L=1$ ,  $G=2,5$ ,  $C1=6,0$  e  $C2=7,5$ , conforme sugere Huete *et al.* (1997).

Após o cálculo dos índices, foram definidas as classes de uso e cobertura do solo para cada imagem-índice obtida, sendo elas: Área Urbana, Solo Exposto, Pastagem, Cultura Agrícola, Cerrado e Cerradão.

### 3. Resultados e Discussão

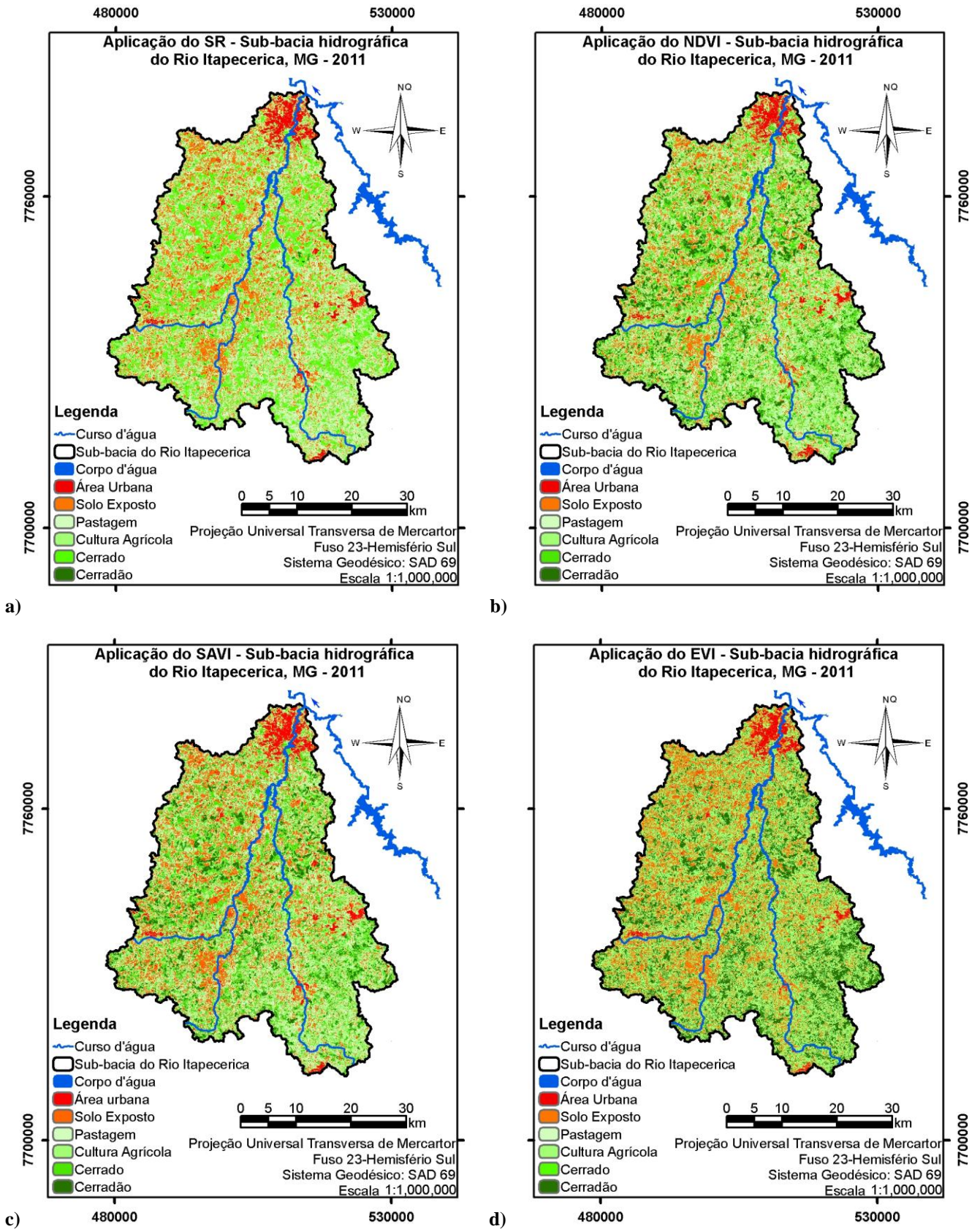
Uma peculiaridade inerente ao NDVI é a sua rápida saturação nos valores a partir de 0,875, o que o torna pouco sensível à detecção de variações no aumento da biomassa vegetal a partir de uma determinada fase de crescimento das plantas (Asrar *et al.*, 1984). O fato de a área de estudo estar sobre uma de altitude de aproximadamente 800m, de clima Cwa e umidade média explicam a saturação do NDVI e a maior sensibilidade do EVI, porque também está ligado ao índice de umidade, ao teor de água e às boas condições apresentadas no maior vigor da vegetação. É importante ainda ressaltar ainda que há interferência da atmosfera, pois os materiais em suspensão alteram os resultados dos índices.

As imagens resultantes da álgebra de mapas para cada índice foram submetidas a um processo de divisão por classes buscando representar aproximadamente as classes obtidas na classificação original RGB543. A Figura 3 apresenta as imagens finais e as classes de uso e cobertura do solo definidas neste estudo.

A Tabela 1 apresenta as áreas de cobertura vegetal estimada para os índices de vegetação dentre os intervalos determinados para cada categoria de tipo de cobertura vegetal utilizada e índice de vegetação aplicado.

**Tabela 1:** Área estimada para cada tipo de uso e cobertura do solo a partir dos índices de vegetação SR, NDVI, EVI e SAVI.

Tipo de uso e cobertura do solo	SR		NDVI		EVI		SAVI	
	Área (km <sup>2</sup> )	Índice (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Índice (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Índice (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Índice (%)
Área Urbana	75,46	3,75	263,48	11,90	260,86	12,95	261,86	13,00
Solo Exposto	438,46	21,77	339,82	15,35	272,17	13,52	271,17	13,47
Pastagem	763,99	37,94	550,49	24,87	436,85	21,69	448,85	22,29
Cultura Agrícola	220,29	10,94	471,73	21,31	445,52	22,12	424,42	21,08
Cerrado	503,34	24,99	416,6	18,82	416,11	20,66	441,26	21,91
Cerradão	12,25	0,61	171,67	7,75	182,28	9,05	166,23	8,25
Σ-Total	2013,79	100	2013,79	100,00	2013,79	100,00	2013,79	100



**Figura 3:** Índices de vegetação obtidos para a Sub-Bacia Hidrográfica do Vale do Rio Itapecerica.  
a) Índice de Vegetação da Razão Simples (SR); b) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI);  
c) Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI); d) Índice de Vegetação Melhorado (EVI).

A variação do coeficiente se relaciona à média e ao desvio padrão da amostra, possibilitando uma inferência relativa. O SR apresentou a maior variação em torno da média, o que pode ser justificado pela sua formulação. Os demais apresentaram comportamento similar, com pequeno aumento na variação do EVI com relação ao NDVI e SAVI. Na Tabela 2, são apresentados alguns parâmetros estatísticos calculados para as imagens-índice.

**Tabela 2:** Parâmetros estatísticos calculados para os índices de vegetação SR, NDVI, EVI e SAVI.

Parâmetros estatísticos	SR	NDVI	EVI	SAVI
Mínimo	0,34	-0,44	-0,19	-0,19
Média	4,21	0,57	0,32	0,34
Máximo	33,02	0,96	2,74	0,70
Desvio padrão	2,21	0,12	0,08	0,08
Coefficiente de Variação	0,52	0,21	0,25	0,23

A avaliação geral verificou que os índices possibilitaram uma boa distinção entre as categorias de cobertura vegetal definidas, exceto o SR, que apresentou problemas para algumas áreas, devido às interferências atmosféricas e do solo. Isso explica a dificuldade em diferenciar área urbana e solo exposto, além de áreas com vegetação mais densa.

Para o NDVI, a faixa de valores para solo exposto, áreas urbanas (desprovidos de cobertura vegetal) e água apresentou-se ligeiramente alta. Valores próximos a zero tendem a representar solo exposto e valores negativos, água. Contudo, essas pequenas variações no range para o NDVI mostram-se recorrentes em função de fatores externos. Os valores do NDVI para solo exposto estão geralmente entre 0,05 e 0,30 (Huete e Tucker, 1991), no entanto, devido à grande variabilidade das propriedades ópticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouco ou nenhuma cobertura vegetal.

Entre os índices avaliados, o melhor desempenho foi atribuído ao SAVI, que pode ser devido às condições de solo na sub-bacia, que, aparentemente, têm grande influência sobre os valores de reflectância. Dessa forma, os valores para vegetação densa, esparsa e rala para o SAVI confirmam os obtidos por Santiago *et al.* (2009) e Vieira da Silva *et al.* (2009).

O EVI mostrou-se mais adequado na separação de classes mais densamente vegetadas apresentando, comportamento similar ao SAVI, com limites de classe bem semelhantes e equivalente desempenho na identificação das coberturas vegetais.

Os resultados obtidos demonstraram que a área coberta por vegetação pode ser estimada, a níveis aceitáveis, por meio das imagens TM/Landsat 5, corroborando com os resultados alcançados em estudos semelhantes, e.g., Albuquerque *et al.* (2011), Silva e Moreira (2011).

#### 4. Conclusões

Os índices de vegetação mostraram-se adequados à avaliação dos tipos de cobertura vegetal presentes na Sub-Bacia do Vale do Rio Itapecerica. O SAVI e o EVI apresentaram comportamentos similares e com melhor desempenho na identificação das classes de cobertura vegetal predominantes. O SR apresentou maior coeficiente de variação para a sub-bacia estudada, decorrente provavelmente de sua própria formulação. Os demais índices de vegetação apresentaram coeficiente de variação na mesma ordem de grandeza. Os limites de classe para os índices de vegetação avaliados variaram segundo valores predominantes na literatura observada, excetuando-se o NDVI para áreas de baixa densidade de vegetação.

Autores como Novais *et al.* (2011) e Ferreira *et al.* (2011) empregaram em seus estudos, além dos índices de vegetação, o NDWI (*Normalized Difference Water Index*), obtendo bons resultados na análise de Áreas de Preservação Ambiental e de caatinga/agricultura irrigada, respectivamente. Desse modo, são necessárias pesquisas que investiguem essa questão com maior profundidade, analisando se a aplicação desse índice fornecerá resultados superiores aos obtidos por meio da análise baseada somente em índices de vegetação.

## Referências Bibliográficas

- Albuquerque, C. K.; Cruz, C. B. M.; Barros, R. S. Sensibilidade de índices de vegetação para classificação do estado de conservação da cobertura florestal. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1652-1659.
- 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, Madison**, v. 76, p. 300+306, Jun. 1984.
- Braga, F. A.; Lima Filho, A. D.; Horta, A. C. S.; Sousa, F. F.; Ferreira, H. G. **Projeto de recuperação da mata ciliar do rio Itapecerica no perímetro urbano de Divinópolis**. Divinópolis: FUNEDI/UEMG, 2003(Relatório final).
- CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1983. v.4. (Série de Publicações Técnicas, 10)
- Cruz, M. A. S.; Souza, A. M. B.; Jesus, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1357-1365.
- Ferreira, H. S.; Silva, H. A.; Oliveira, T. H.; Neto, R. X. M; Galvêncio, J. D.; Pimentel, R. M. M. Avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação de caatinga e agricultura irrigada do município de Petrolina – PE através do NDVI, NDWI e Temperatura da Superfície. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1843-1850.
- Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, 113, p.893-903, 2009.
- Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25:295-309, 1988.
- Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; van Leeuwen, W. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sens. Environ**, n.59, p.440-451, 1997.
- Huete, A. R.; Tucker, C. J. Investigation of soil influences in AVHRR red and near - infrared vegetation index Imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1223-1242, 1991.
- Jackson, R. D.; Huete, A. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, 11:185-200, 1991.
- Jordan, C. F. **Derivation of leaf area index from quality of light on the Forest floor**. Ecology, 50:663-666, 1969.
- Markham, B. L.; Barker, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.
- Moreira, R. C. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos. 2000.
- Novais, L. R.; Lima, A. C.; Rodrigues, J. A.; Costa, A. M. S.; Borges, E. F.; Anjos, C. S. Análise da vegetação da Área de Preservação Ambiental de São Desidério-BA, a partir do NDVI e NDWI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1888-1894.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. v.1. 140 p.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, **Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.
- Santiago, M.M.; Alves da Silva, H.; Oliveira, T.H; Galvêncio, J.D. Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo-PE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3003-3009.
- Silva, A. M.; Moreira, E. B. M. Avaliação espaço temporal do índice de vegetação (NDVI) no manguezal de Maracáipe – PE, através de imagens do satélite Landsat 5 TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1570-1575.
- Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.
- Vieira da Silva, C.A.; Alves da Silva, H.; Oliveira, T.H; Galvêncio, J.D. Uso do Sensoriamento Remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá – PE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3079-3085.