



## Análise de Índices Espectrais para Estimativa de Áreas de Regeneração Florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas

### Analysys of Spectral Indexes to Estimate Forest Regeneration Areas in Chapada Das Mesas National Park

Fernanda Cristina Resende<sup>1</sup>, Tereza Beatriz Oliveira Soares<sup>2</sup>, Paula Resende Santos<sup>3</sup>, Gabriel Pereira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de São João del-Rei, fecrisresende@yahoo.com.br, Av. Visconde do Rio Preto, s/n, São João del-Rei, MG, 36301-360.

<sup>2</sup> Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, beatriz\_soares27@yahoo.com.br, Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG, 31270-901.

<sup>3</sup> Curso de graduação em Geografia, Universidade Federal de São João del-Rei, paularesendesantos@gmail.com, Av. Visconde do Rio Preto, s/n, São João del-Rei, MG, 36301-360.

<sup>4</sup> Departamento de Geociências, Universidade Federal de São João del-Rei, pereira@ufs.edu.br, Av. Visconde do Rio Preto, s/n, São João del-Rei, MG, 36301-360.

Recebido em 04 de junho, 2015 / Aceito em 19 de junho, 2015

#### RESUMO

O Cerrado é o principal tipo de vegetação no Brasil Central, cobrindo aproximadamente 22% do território nacional. Porém, nos últimos anos este bioma vem sofrendo forte degradação devido à expansão da fronteira agrícola do país, à utilização de queimadas para limpeza de pastagens e à ocorrência de numerosos incêndios florestais descontrolados, gerando consequências negativas, como a descaracterização e empobrecimento biológico. Neste contexto, a utilização de métodos de sensoriamento remoto permite avaliar modificações nas comunidades de vegetação e suas alterações fenológicas. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo mapear as áreas florestais em condições de regeneração nos Estados do Maranhão e Tocantins, que compreendem o Parque Nacional Chapada das Mesas, a partir da avaliação do desempenho de quatro diferentes índices espectrais extraídos de imagens orbitais. Analisou-se a variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Queimada Normalizada (NBR), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (EVI) de uma cena anterior e posterior à ocorrência da queima de biomassa. Posteriormente, foram geradas imagens diferença para quantificar o grau de mudança na vegetação. A análise dos índices espectrais indicou que os índices EVI e NBR apresentaram melhor distinção entre as fisionomias vegetais, principalmente o NBR, que obteve resultado superior na análise das imagens-diferença, apresentando as áreas de regeneração.

**Palavras-chave:** Regeneração; Índices de Vegetação; Sensoriamento Remoto.

#### ABSTRACT

The Cerrado is the main vegetation type in Central Brazil, covering approximately 22% of the national territory. However, in recent years this biome has suffered degradations due to agricultural frontier expansion, the use of fires to pastures cleaning and the occurrence of numerous uncontrolled forest fires, causing negative consequences, as the mischaracterization and biological impoverishment of the Cerrado. With remote sensing techniques is possible to analyze variations in vegetation community and alterations in vegetation phenology. Thus, the main objective of this study is the evaluation and mapping of regenerated areas derived from four different multispectral indices. The analysis was performed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Burnt Ratio (NBR), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and the Enhanced Vegetation Index (EVI) from two images, before and after the occurrence of

a fire. Subsequently difference images were generated to quantify the level of change in vegetation. The results showed that the EVI and NBR indices presented better distinction between the different vegetation types, while the NBR index obtained an improved result in the analysis of difference images, presenting the regeneration areas.

**Keywords:** Regeneration; Vegetation Indexes; Remote Sensing.

---

## 1. Introdução

O desmatamento e as queimadas são responsáveis por alterações na cobertura da superfície terrestre e geram diversas consequências, como a perda de fertilidade dos solos, má qualidade do ar, o comprometimento da biodiversidade e a emissão de gases traços e aerossóis para a atmosfera (PEREIRA et al., 2009). A intensa frequência de fogo numa região ocasiona a perda irreversível de alguns recursos genéticos, antes mesmo de se conhecer bem o potencial desses recursos florestais (SILVA, 2001 *apud* PEREIRA et al., 2004). Com a expansão da fronteira agrícola no país e o crescente aumento das atividades agropecuárias, as queimadas são frequentemente utilizadas, pois se constituem como uma técnica de baixo custo para os agricultores. A forte pressão que áreas florestais sofrem por aumento de áreas agricultáveis faz com que o número de incêndios e a extensão de áreas queimadas aumentem consideravelmente (BATISTA, 2004).

O Cerrado é um dos principais biomas brasileiros, pois além de conter uma rica biodiversidade, ocupa, aproximadamente, 22% do território (RATTER et al., 1996). A retirada da vegetação natural para a produção de carvão, a introdução de espécies exóticas, como o eucalipto, e a rápida expansão da agricultura mecanizada contribuíram significativamente para a diminuição das áreas naturais do bioma (BRANNSTROM et al., 2008; FURLEY, 1999).

A mudança do uso e cobertura da terra, bem como áreas queimadas, podem ser detectados a partir de dados obtidos por satélites, pois apresentam resposta espectral específica. Globalmente, o sensoriamento remoto é a principal ferramenta para o monitoramento da cobertura vegetal, pois permite obter dados de áreas extensas, em intervalos de tempo regulares, não sendo necessários numerosos e extensivos trabalhos de campo (FRANÇA e FERREIRA, 2005). A severidade de uma queimada influencia diretamente a capacidade de recuperação da vegetação e a composição de espécies pós-fogo (SCHEPERS et al., 2014). Para tanto, vários índices espectrais foram criados com o intuito de monitorar a cobertura vegetal, medir a densidade da vegetação e o vigor vegetativo e detectar os efeitos pós-fogo na vegetação.

Os índices espectrais possuem simplicidade conceitual e eficiência. Assim, estes possuem vantagens claras sobre outras metodologias de avaliação de severidade de queima e delimitação de áreas de regeneração. Esses índices utilizam as informações de reflectância da superfície de bandas específicas do espectro eletromagnético, em que a maioria envolve faixas do infravermelho próximo, devido à alta reflectância da vegetação nessa parte do espectro. Enquanto a maior parte dos índices utiliza apenas uma imagem, há também índices bitemporais que utilizam duas imagens, uma anterior e uma posterior à ocorrência do evento de regeneração (SCHEPERS et al., 2014). Sendo assim, esse artigo propõe estimar a regeneração da vegetação em uma área de cerrado a partir da utilização de quatro índices espectrais.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo corresponde à órbita/ponto 222/65 do satélite Landsat/5, que abrange parte do território dos Estados do Maranhão e Tocantins, como pode ser visualizado na **Figura 1**. Essa área foi escolhida devido à grande mudança no padrão de cobertura vegetal, com forte presença da agricultura e com a constante utilização do fogo, o que faz com que a vegetação apresente diferentes níveis de regeneração. Além disso, dentro da área encontra-se uma importante Área de Proteção Ambiental brasileira, o Parque Nacional da Chapada das Mesas (MA), que compreende uma área de 159.951,62 hectares, e abriga espécies ameaçadas, como o Tamanduá Bandeira e a Onça Parda. Grande parte da população do entorno do Parque utiliza o fogo com a finalidade de limpeza da área

para plantio de culturas de subsistência e renovação de pastagem. Além disso, há também grandes pecuaristas, com pastos formados que, devido aos menores custos, geralmente preferem o uso do fogo ao invés do uso de máquinas agrícolas (MMA, 2007).

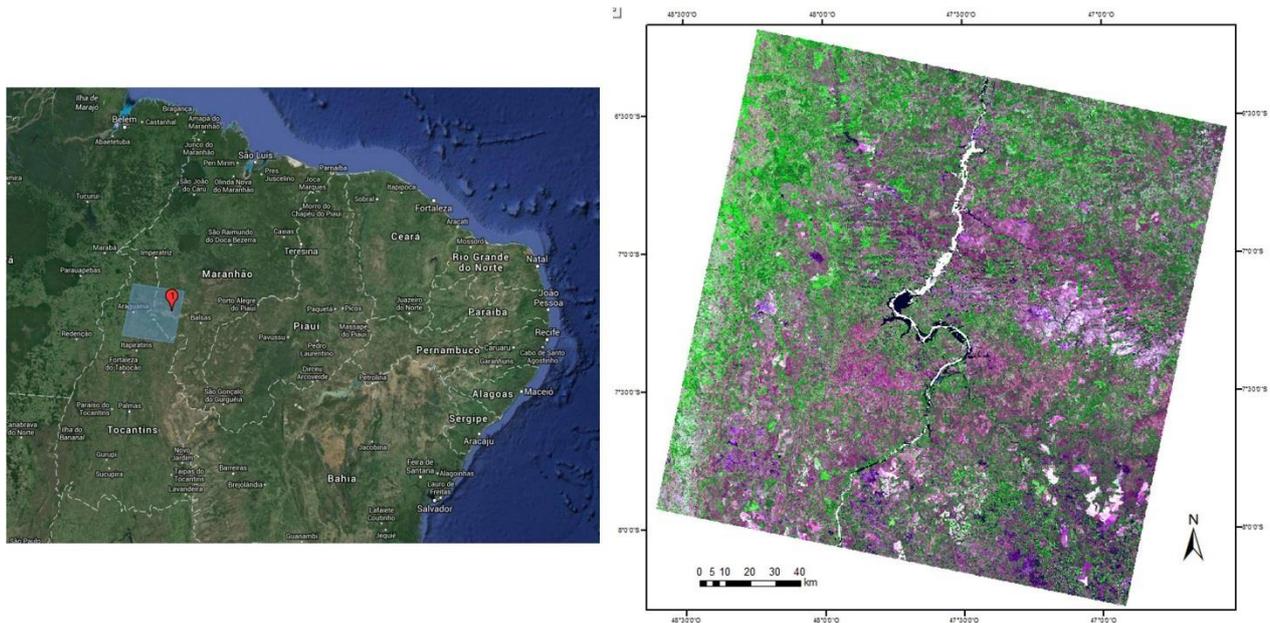


Figura 1: Localização da Área de Estudo.

### 3. Metodologia

Neste trabalho foram testados quatro Índices Espectrais distintos. O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI, equação 1) que é amplamente empregado em diversos tipos de estudo sobre a cobertura vegetal, e está relacionado com a quantidade de vegetação sadia, utilizando a alta reflectância da vegetação nos comprimentos de onda da região do infravermelho próximo, e a absorção da radiação pela clorofila na região espectral do vermelho. Comprimentos de onda curtos são mais sensíveis aos efeitos da atmosfera e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI, equação 2) explora essa propriedade através da utilização da sensibilidade da faixa referente ao azul do espectro eletromagnético para calibrar a faixa referente ao vermelho. Além disso, melhora o sinal de vegetação, dissociando o *background* da vegetação com um fator de ajuste de fundo do dossel. O *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI, equação 3) é similar ao NDVI, porém adiciona o fator de correção do solo para minimizar os efeitos do *background*. Ainda, o *Normalized Burn Ratio* (NBR, equação 4) utiliza a faixa referente ao infravermelho próximo e substitui a banda referente ao Vermelho, utilizado no NDVI, pela região do espectro eletromagnético que corresponde ao infravermelho médio. Essa região do espectro é fortemente absorvida pelo teor de água na vegetação ou solos. A vegetação seca ou a exposição do solo seco após incêndio aumenta a reflectância e, assim, diminui o valor do índice NBR (SCHEPERS et al., 2014).

Para esse trabalho foram utilizadas duas imagens, uma do ano de 1985 e a outra de 2011, ambas da estação seca, do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5. Este sensor possui uma resolução espacial nominal de 30 metros, com resolução radiométrica de 8 bits e resolução temporal de 16 dias. Com o intuito de minimizar as distorções sistemáticas presentes nas imagens, foi realizada a correção geométrica, que permite a comparação multitemporal das imagens provenientes de satélites distintos. A base de referência, necessária à correção geométrica das imagens, foi obtida a partir das imagens *Geocover*, que são constituídas em dados da série de satélites Landsat, submetidas a procedimentos de ortorretificação para ajuste das imagens aos deslocamentos do relevo. Posteriormente, foi realizada a geração dos índices a partir dos seguintes modelos matemáticos:

$$\Delta NDVI = \left( \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \right)_{POS} - \left( \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \right)_{PRE} \quad (1)$$

$$\Delta EVI = \left[ 2G * \left( \frac{B4 - B3}{B4 + C_1 * B3 - B4 + C_2 * B1 + L} \right) \right]_{POS} - \left[ 2G * \left( \frac{B4 - B3}{B4 + C_1 * B3 - B4 + C_2 * B1 + L} \right) \right]_{PRE} \quad (2)$$

$$\Delta SAVI = \left[ \left( \frac{B4 - B3}{B4 + B3 + L} \right) * (1 + L) \right]_{POS} - \left[ \left( \frac{B4 - B3}{B4 + B3 + L} \right) * (1 + L) \right]_{PRE} \quad (3)$$

$$\Delta NBR = \left( \frac{B4 - B7}{B4 + B7} \right)_{POS} - \left( \frac{B4 - B7}{B4 + B7} \right)_{PRE} \quad (4)$$

Em que **b1**, **b3**, **b4** e **b7** representam as bandas do sensor TM, correspondentes às faixas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente; **pre** e **pós** representam as imagens anteriores e posteriores ao episódio de queimada; **L** é fator de ajuste para o solo; **G** é o fator de ganho, **C1** e **C2** são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera. Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 e G=2,5 (HUETE et al., 1997).

### 3.1 Métodos de conversão dos Níveis de Cinza (NC) em valores de Reflectância para o TM/Landsat 5

#### 3.1.1 Nível Digital para Radiância

Para a utilização de índices espectrais em imagens de satélite com o intuito de extração de dados quantitativos, é necessário que seja realizado a correção atmosférica das imagens. Chandler e Markham (2003) calibraram radiometricamente os parâmetros de conversão do sensor TM do Landsat 5 com procedimentos diferentes, aperfeiçoando a acurácia da calibração absoluta através de coletas em campo e de calibração cruzada com o ETM+ do Landsat 7.

Em relação à alteração dos níveis de cinza em radiância em cada banda, é indispensável o conhecimento dos fatores de escalonamento dos níveis de cinza, radiância mínima e máxima, e dos valores de nível de cinza máximo e mínimo, descrita por Chander e Markham (2003) como:

$$L_{\lambda} = \left\{ \left[ \left( \frac{L_{\lambda\max} - L_{\lambda\min}}{NC_{\max}} \right) * NC \right] + L_{\lambda\min} \right\} \quad (5)$$

Em que  $L_{\lambda\max}$  e  $L_{\lambda\min}$  representam o valor de máxima e mínima radiância escalonados para cada banda do sensor TM;  $NC$  representa o nível de cinza de cada pixel da imagem;  $NC_{\max}$  representa o nível de cinza máximo e  $L_{\lambda}$  representa a radiância para a banda expressa em  $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ .

#### 3.1.2 Radiância para Reflectância aparente

O cálculo da reflectância aparente, através da radiância aparente, proporciona alta acurácia em situações de céu com baixa nebulosidade, permitindo a comparação de imagens de diversos sensores,

já que as diferenças na irradiância no topo da atmosfera e os efeitos do ângulo solar zenital são obtidos com precisão. A reflectância aparente é obtida a partir da expressão:

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot \left(\frac{d_m}{d}\right)^2}{E_{sol\lambda} \cdot \cos\theta_{zenital}} \quad (6)$$

Em que cada banda espectral  $L_\lambda$  representa a radiância aparente de cada pixel;  $d$  e  $d_m$  representam, respectivamente, a distância instantânea e média Sol-Terra em unidades astronômicas;  $E_{sol\lambda}$  é a irradiância solar média no topo da atmosfera e  $\cos \theta_{zenital}$  representa o cosseno do ângulo zenital. A irradiância média no topo da atmosfera ( $E_{sol\lambda}$ ) foi obtida através do Espectro Solar proveniente do Centro Mundial de Radiação (*World Radiation Center*).

Para a obtenção dos cálculos da distância média Sol-Terra e do cosseno do ângulo zenital foram utilizadas as seguintes expressões:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (7)$$

$$\left(\frac{dm}{d}\right)^2 = 1,00011 + 0,034221 \cdot \cos x + 0,00128 \cdot \text{sen} x + 0,000719 \cdot \cos 2x + 0,000077 \cdot \text{sen} 2x \quad (8)$$

$$\text{Sendo } x = \left[ \left( \frac{360(n-1)}{365} \right) \right], \text{ onde } n \text{ representa o dia juliano} \quad (9)$$

$$\cos\theta_{zenital} = \text{sen}\varphi \cdot \text{sen}\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos h \quad (10)$$

$\varphi = \text{latitude em graus e } h = \text{ângulo horário}$

### 3.1.3 Reflectância da superfície estimada pelo modelo 6S

Para a correção dos efeitos atmosféricos utilizando o modelo *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S), baseada em parâmetros físicos da atmosfera (VERMOTE et al., 1997) foi necessária a transformação dos níveis de cinza em valores de reflectância aparente.

A aquisição de parâmetros atmosféricos para serem utilizados no 6S é uma condição necessária para a aplicação do modelo. Após este procedimento, os dados foram inseridos no modelo, adotando como parâmetros iniciais: visibilidade de 70 km, atmosfera tropical e modelo de aerossóis continental. Como nas imagens adquiridas não havia presença de nuvens, constituiu-se da modelagem da radiação solar para a situação de céu limpo e assumiu-se que os principais efeitos atmosféricos são a absorção pelos gases (dióxido de carbono, oxigênio, vapor de água e ozônio) e espalhamento pelas moléculas dos gases atmosféricos.

## 4. Resultados e Discussão

As **Figuras 2 e 3** apresentam os Índices Espectrais EVI, NDVI, NBR e SAVI para os anos de 1985 e 2011, respectivamente. Na **Figura 2**, as áreas de vegetação densa estão representadas pela cor verde. Percebe-se que nos resultados provenientes do EVI, estas áreas foram melhor discriminadas em relação aos outros alvos, quando comparados aos resultados provenientes do NDVI.

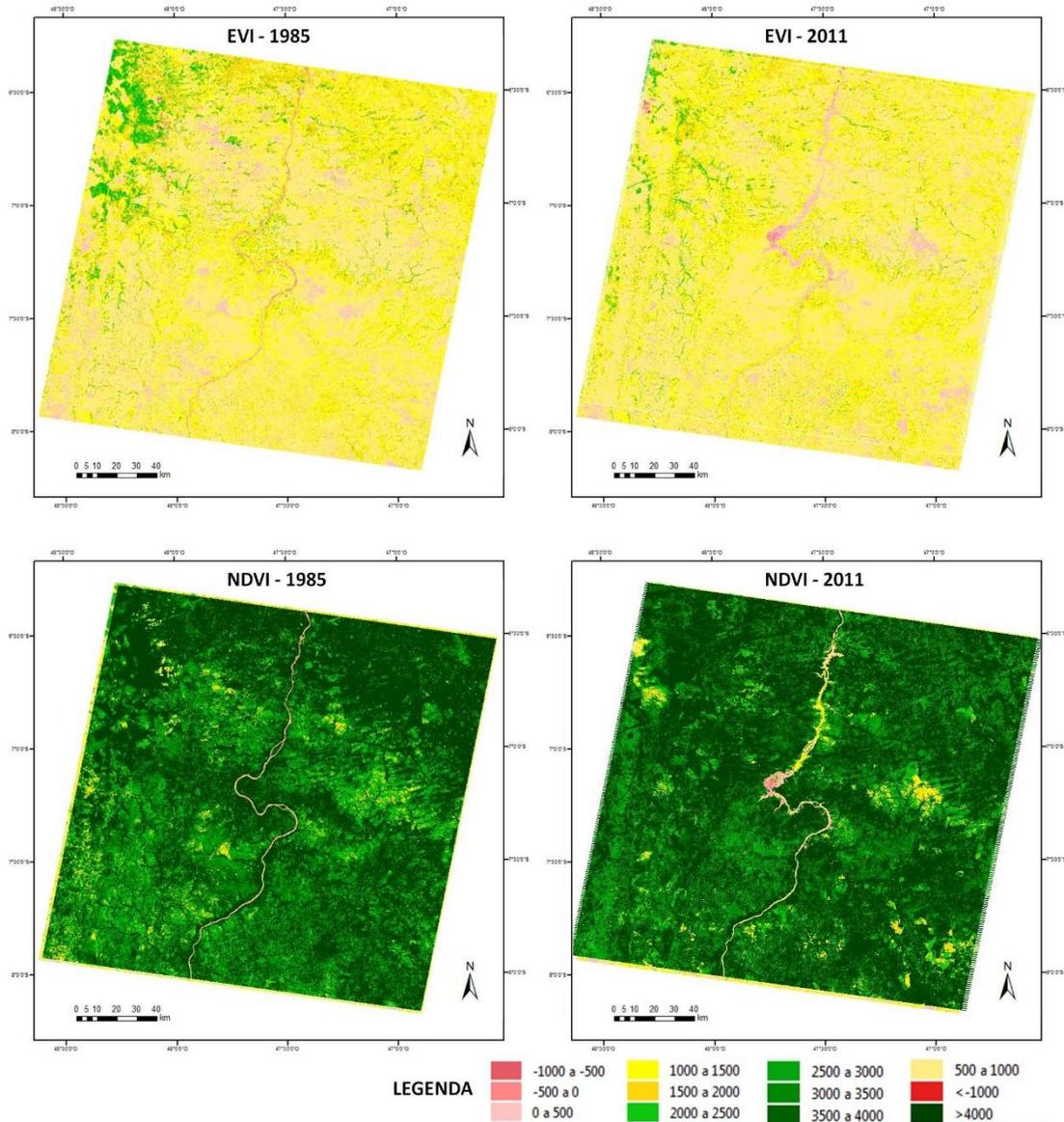


Figura 2: Imagens dos anos de 1985 e 2011 com os Índices Espectrais NDVI e EVI.

Na **Figura 3**, as áreas em tons amarelos representam o solo exposto e as áreas verdes a vegetação, provenientes do SAVI. Percebe-se que estes três índices, EVI, NDVI e SAVI, obtiveram resultados visualmente muito distintos em relação à discriminação dos alvos presentes na cena. No NBR a coloração vermelha representa as áreas de solo exposto e a cor verde escura, a vegetação densa, apresentando resultados visuais similares com os do SAVI. Assim, percebe-se que os índices EVI e NDVI apresentaram variações sutis, mesmo entre classes extremas, como campo e floresta densa, tornando difícil a discriminação destas classes. Em contrapartida, os índices NBR e SAVI evidenciam, visualmente, uma melhor distinção entre as fisionomias vegetais.

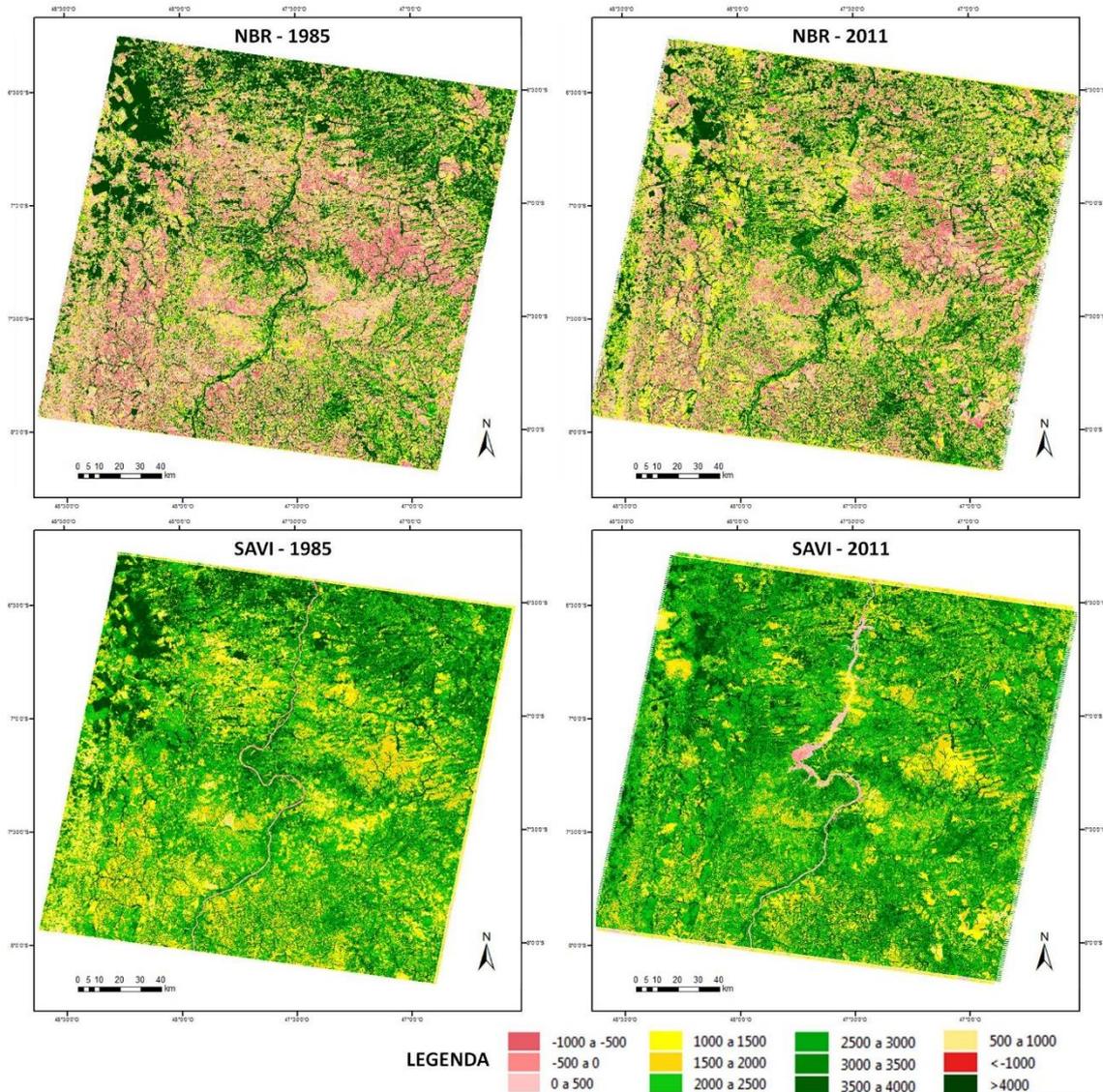


Figura 3: Imagens dos anos de 1985 e 2011 com os Índices Espectrais NBR e SAVI.

A **Figura 4** mostra as imagens diferença dos índices EVI, NDVI, NBR e SAVI para os anos de 1985 e 2011. Foi calculado a diferença entre os valores de cada ano para detectar e quantificar as áreas em que ocorreram alteração nas classes, ou seja, acréscimo (representado pelos tons verdes) ou redução (representado pelos tons vermelhos) na vegetação. É importante ressaltar que as imagens resultantes do cálculo desta diferença detectam todas as alterações na vegetação. Assim, quando os quatro índices são comparados, percebe-se que o NBR e NDVI apresentam comportamento semelhantes, no entanto o NBR apresentou uma melhor distinção das áreas vegetais regeneradas. Já os índices do SAVI e EVI não apresentaram grandes distinções entre os dosséis vegetais após a análise das imagens-diferença.

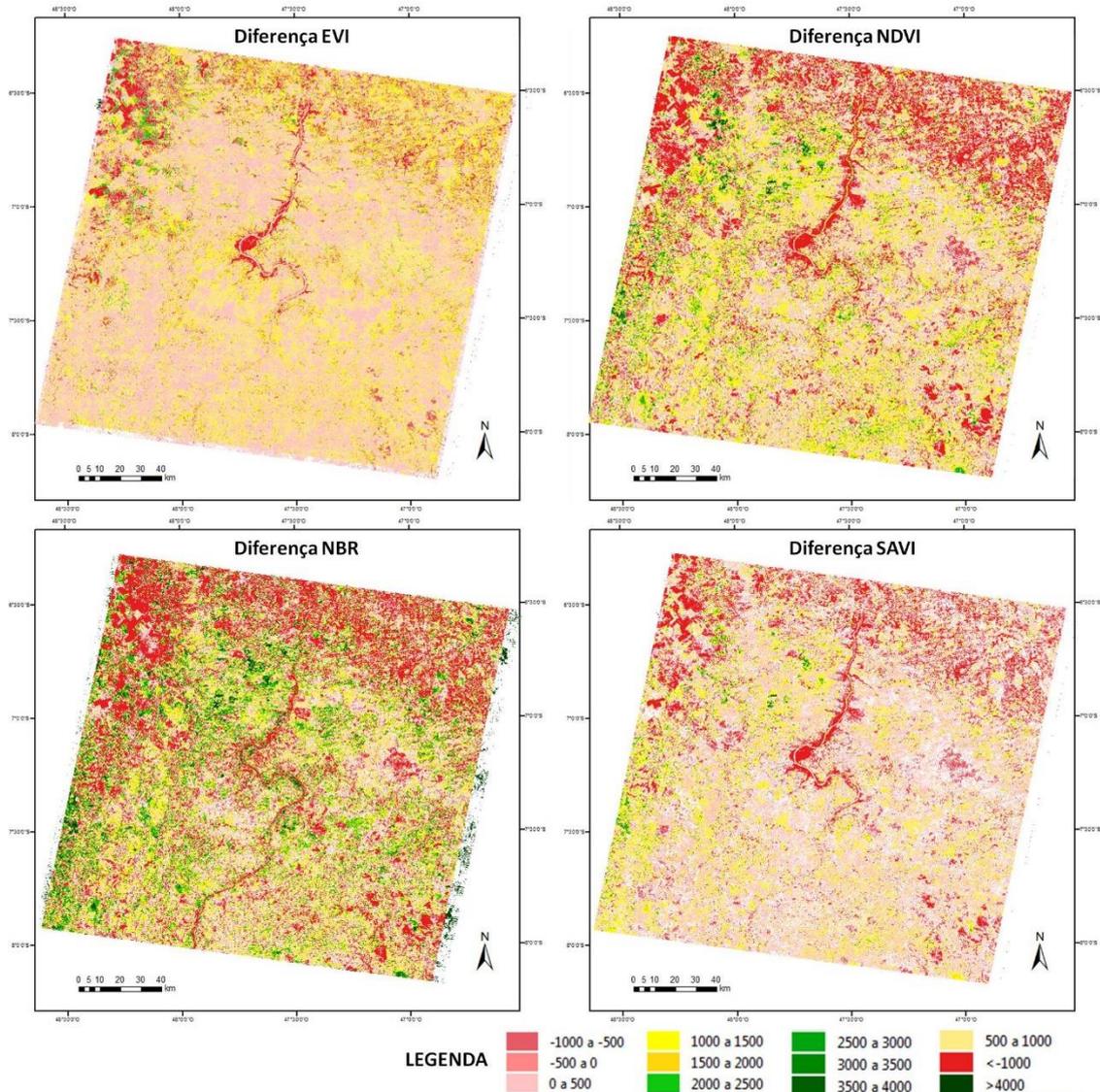


Figura 4: Imagens diferença dos índices EVI, NDVI, NBR e SAVI.

A **Figura 5** exibe a delimitação das áreas que apresentaram mudança no padrão de uso e cobertura do solo, provenientes dos quatro índices espectrais, EVI, NDVI, NBR e SAVI, analisados, na qual permite constatar que as regiões em tons amarelos e verdes, representam um acréscimo de fitofisionomias vegetais, ou seja maior vigor regenerativo após o ano 1985, enquanto as regiões mais claras representam pouca ou ausência de mudança na vegetação. Sendo assim, percebe-se que o índice NBR apresentou visualmente melhores resultados comparado aos outros três índices utilizados, denotando uma maior distinção nas áreas vegetais regeneradas. Com relação aos outros índices de vegetação, percebe-se que os mesmos expressam similaridade em relação aos seus valores, apresentando praticamente os mesmos resultados.

Do ponto de vista do sensoriamento remoto, nota-se, que todos os Índices Espectrais analisados se mostram sensíveis a variações de vegetação. Mas, cabe salientar, que os índices podem sofrer alterações em relação ao solo, ângulo de visada, horário de medição, entre outros fatores, podendo interferir na distinção dos dosséis vegetais em função das diferentes percentagens de cobertura vegetal durante o período de crescimento.

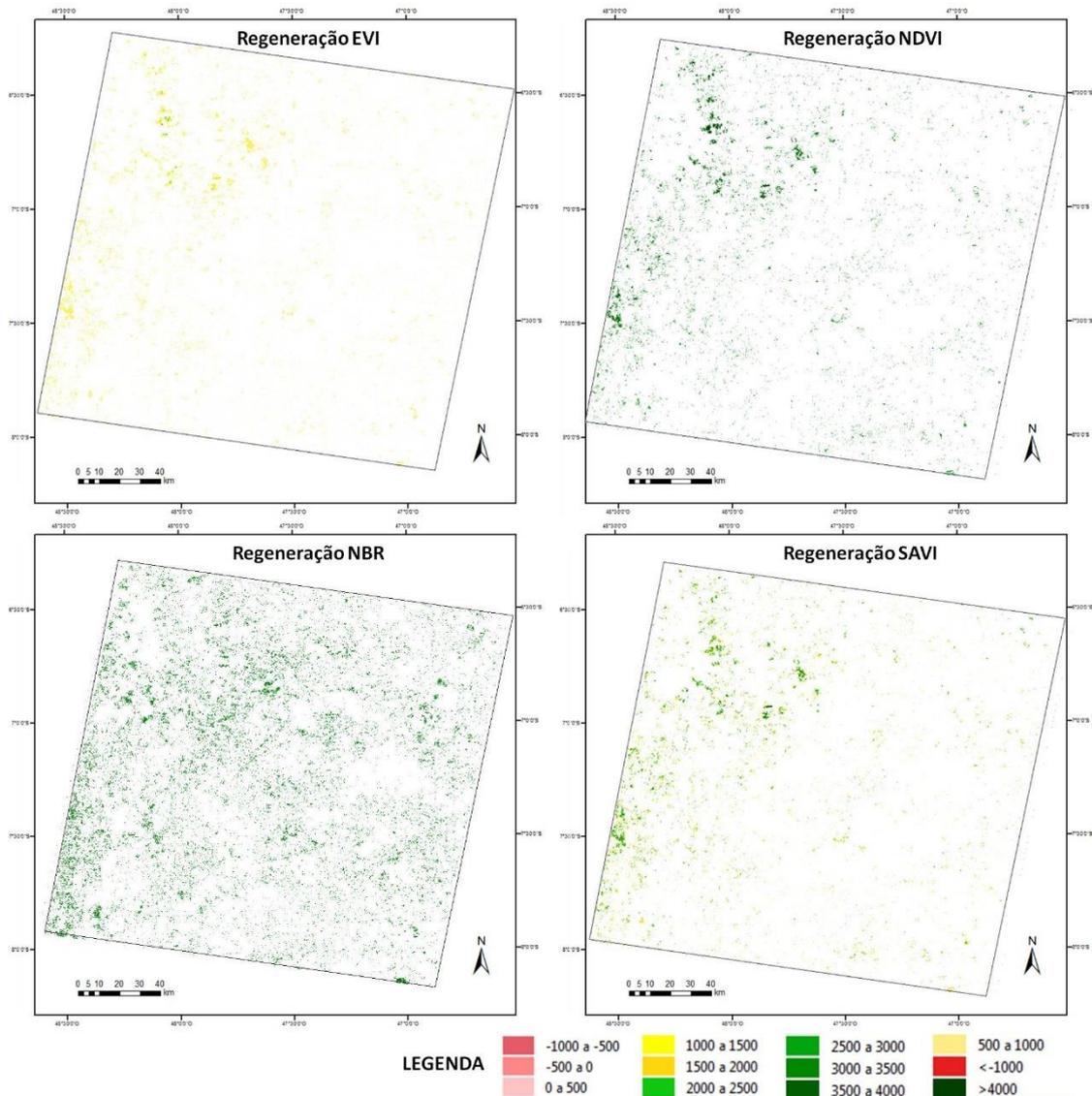


Figura 5: Área total de regeneração.

## 5. Considerações finais

O emprego de índices espectrais consiste em uma importante ferramenta que pode ser utilizada para a obtenção de áreas regeneradas a partir de queima ou corte da vegetação. A metodologia proposta neste trabalho possibilitou a comparação de duas imagens com diferentes datas e a obtenção de informações de forma rápida e criteriosa. A partir das observações e análises das imagens, foi possível observar que, apesar das semelhanças entre os índices, existem também pequenas diferenças, que podem implicar em análises distintas da vegetação. Assim, percebe-se que os valores obtidos para o NBR apresentaram o melhor contraste entre as áreas regeneradas e não regeneradas.

## Referências Bibliográficas

BATISTA, A. C. Detecção de Incêndios Florestais por Satélites. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 237 - 241, 2004.

BRANNSTROM, C., JEPSON, W., FILIPPI, A., XU, X., REDO, D. Land Change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative Analysis and Implications for Land-Use Policy. **Land Use Policy**, v. 25, n. 4, p. 455 - 608, 2008.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 41 n. 11, p. 2674 - 2677, 2003.

FRANÇA, D.A.; FERREIRA, N.J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, INPE, pp. 3017-3023, 16-21/abril/2005.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v.8, p. 223 - 241, 1999.

HUETE, A.; Liu, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440 - 451, 1997.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional da Chapada das Mesas**. 2007.

PEREIRA, C. A.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, A. B. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do cerrado. **Floresta**, v.34 (2), p. 95-100, 2004.

PEREIRA, G.; FERREIRA, N. J.; MORAES, E. C.; CARDOZO F. S; FREITAS S. R. Análise das áreas queimadas e das emissões dos gases do efeito estufa no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro – Santa Catarina. **Geosul**, v. 24, n. 47, p. 113-130, 2009.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; ATKINSON, R.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. **Edinburgh J. Bot.** v. 53, p. 153 - 180, 1996.

SCHEPERS, L.; HAEST, B.; VERAVERBEKE, S.; SPANHOVE, T.; BORRE, J. V.; GOOSSENS, R. Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX). **Remote Sens.**, v. 6, p. 1803 - 1826, 2014.

VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675 - 686, 1997.