

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
COORDENADORIA DO CURSO DE GEOGRAFIA

**ANÁLISE DAS ÁREAS DE REGENERAÇÃO NO PARQUE NACIONAL
CHAPADA DAS MESAS**

Autor: Fernanda Cristina Resende
Orientador: Gabriel Pereira

SÃO JOÃO DEL-REI-MG
Junho,2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
COORDENADORIA DO CURSO DE GEOGRAFIA

**ANÁLISE DAS ÁREAS DE REGENERAÇÃO NO PARQUE NACIONAL
CHAPADA DAS MESAS**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Geografia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia

Autor: Fernanda Cristina Resende

Orientador: Gabriel Pereira

SÃO JOÃO DEL-REI-MG
Junho, 2015

Agradecimentos

Ao meu Orientador Prof. Dr. Gabriel Pereira pela orientação, paciência e credibilidade.

À Dr^a Francielle Cardozo pela disponibilidade, conhecimento passado e orientação na finalização deste trabalho.

Aos amigos (as). Arlon Candido, Paula Resende, Pedro Rocha, Raquel Ramos e Tereza Beatriz pela amizade e a colaboração no desenvolvimento do trabalho.

A todos os familiares e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Resumo

O Cerrado é o principal tipo de vegetação no Brasil Central, cobrindo aproximadamente 22% do território nacional. Nas últimas décadas ocorreram nesse bioma grandes alterações dos elementos naturais por práticas agrícolas relacionadas, em grande parte, com o uso e manejo da cobertura vegetal causando, assim, modificações nas interações físico-químicas e biológicas dos componentes da superfície terrestre e na composição da atmosfera. A regeneração da vegetação nativa após corte e queima é importante no estabelecimento de manejo sustentável adequado em áreas exploradas. Para compreender e modelar os efeitos das queimadas e seu papel nas interações biosfera-atmosfera torna-se necessário o conhecimento do tamanho da queimada e das áreas de regeneração. Técnicas de análise de fatores ambientais e dados provenientes de satélites propiciam um grande potencial para aplicações práticas no meio-ambiente e na dinâmica do uso e cobertura da terra. Com a utilização de métodos de sensoriamento remoto é possível avaliar modificações nas comunidades de vegetação e suas alterações fenológicas. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar e mapear as áreas regeneradas a partir de quatro diferentes índices multiespectrais extraídos de imagens orbitais. Analisou-se a variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índices de Queimada Normalizados (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. Como resultados os índices EVI e NBR apresentaram melhor distinção entre as fisionomias vegetais, enquanto o índice NBR obteve resultado superior na análise das imagens-diferença, apresentando as áreas de regeneração.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS GERAIS	3
2.1 Objetivos Específicos	3
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	3
4. REVISÃO DA LITERATURA	4
4.1 Cerrado.....	4
4.2 Unidades de Conservação	6
4.3 Índices de Vegetação	7
5. METODOLOGIA.....	7
5.1 Índices Espectrais	7
5.2 Tratamento de Medidas.....	9
5.3 Métodos de conversão dos Níveis de Cinza (NC) em valores de Reflectância para o TM/Landsat 5.....	9
5.3.1 <i>Nível Digital para Radiância</i>	9
5.4 Radiância para Reflectância aparente	10
5.5 Reflectância da superfície estimada pelo modelo 6S.....	11
5.6 Transformada de Wavelet	12
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

Lista de figuras

Figura 1: Localização da Área de Estudo.....	3
Figura 2: Imagens dos anos de 1985 e 2011 com os Índices Espectrais NDVI e EVI.	13
Figura 3: Imagens dos anos de 1985 e 2011 com os Índices Espectrais NBR e SAVI.....	14
Figura 4: Imagens diferença dos índices EVI, NDVI, NBR e SAVI.	15
Figura 5: Área total de regeneração.	16
Figura 6: Recorte da área identificada com ocorrência de regeneração da vegetação entre os anos 1985 a 2011.	17
Figura 7: Variabilidade da Vegetação.	17

1. Introdução

O cerrado é o segundo bioma mais representativo do território brasileiro devido à sua biodiversidade, ocupando aproximadamente uma área de 2.036.448 km², cerca de 22% do território nacional (RATTER et al., 1996). É considerado também o bioma mais rico e ameaçado entre as savanas do mundo (KLINK, 1996).

Localizado na porção central do território brasileiro, o bioma Cerrado está inserido em zonas tropicais e subtropicais e apresenta uma grande diversidade de vegetação, de solo, de clima, de fisiografia e de fauna (COUTINHO, 1979), e sua extensa área incide sobre vários estados brasileiros, como Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná e São Paulo. Nesse bioma, ainda, encontram-se nascentes de grandes bacias hidrográficas como a do São Francisco e do Prata, desempenhando, com isso, um importante papel no processo de distribuição dos recursos hídricos do país (WERNEC LIMA e SILVA, 2008).

O cerrado apresenta, como uma de suas maiores riquezas, uma ampla diversidade florística, o que colabora para que o mesmo seja considerado a formação savânica de maior biodiversidade do planeta. Mas, com a intensa extração da vegetação natural do Cerrado para a produção de carvão, a introdução de espécies exóticas, como o eucalipto, e a rápida expansão da agricultura mecanizada contribuíram, e vêm contribuindo, significativamente para a diminuição das áreas naturais desse bioma (BRANNSTROM et al., 2008; FURLEY, 1999).

A partir do início de 1970 e até os dias atuais, se desenvolve no Cerrado um sistema agrário baseado na agricultura comercial moderna, que atualmente se expande aceleradamente e exporta excedentes para outras regiões do país e para o mercado internacional (ALVES, 2014).

Uma das consequências da utilização das áreas de Cerrado para a expansão da fronteira agrícola consiste no aumento da incidência do número de focos de queimadas. Frequentemente utilizadas, as queimadas se constituem como uma técnica de baixo custo para os agricultores. A forte pressão que áreas florestais sofrem devido ao aumento de áreas agricultáveis, faz com que o número de incêndios e a extensão de áreas queimadas aumentem consideravelmente (BATISTA, 2004).

O desmatamento e as queimadas são responsáveis por alterações na cobertura do solo e na superfície terrestre, o que ocasiona 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 mudança do uso e cobertura da terra, bem como áreas queimadas, podem ser detectadas a partir de dados obtidos por satélites, pois apresentam resposta espectral específica, sendo possível monitorá-las (TEOBALDO, 2013). Sendo assim, 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).

As novas tecnologias de coleta e manuseio da informação espacial podem ser a resposta à gestão ambiental, pois subsidiam o processo de tomada de decisão com informação sobre o território. Estudos desenvolvidos nas últimas décadas, em relação à conservação de ambientes ameaçados, indicam que a educação ambiental, aliada a pesquisas científicas são fatores que podem gerar resultados positivos e duradouros (VALLADARES-PÁDUA et al., 2004).

Para compreender e modelar os efeitos das queimadas e seu papel nas interações biosfera atmosfera torna-se necessário o conhecimento do tamanho da queimada e das áreas de regeneração. Muitos modelos utilizam esses parâmetros para as estimativas de emissão de gases traços e aerossóis (HUBER, 1987). Desta forma, produtos de sensoriamento remoto oriundos de sensores a bordo de satélites orbitais são úteis para o mapeamento e monitoramento de áreas degradadas e/ou regeneradas. Para tanto, vários índices espectrais foram criados como 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 trabalho propõe estimar a regeneração da vegetação em uma área de cerrado a partir da utilização de quatro índices espectrais.

2. Objetivos Gerais

Analisar a evolução das áreas de regeneração do bioma Cerrado, nos anos de 1985 e 2011 e avaliar o desempenho de quatro índices de vegetação na região em estudo.

2.1 Objetivos Específicos

- Mapear as áreas de regeneração florestal que ocorreram na área de estudo a partir da utilização de índices espectrais nos anos de 1985 e 2013;
- Verificar qual tipo de índice é mais eficaz na identificação das áreas de vegetação e regeneração.

3. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo corresponde à cena da órbita ponto 222/65, 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 e por estar localizado também nesta região uma importante Área de Proteção Ambiental brasileira, o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM).

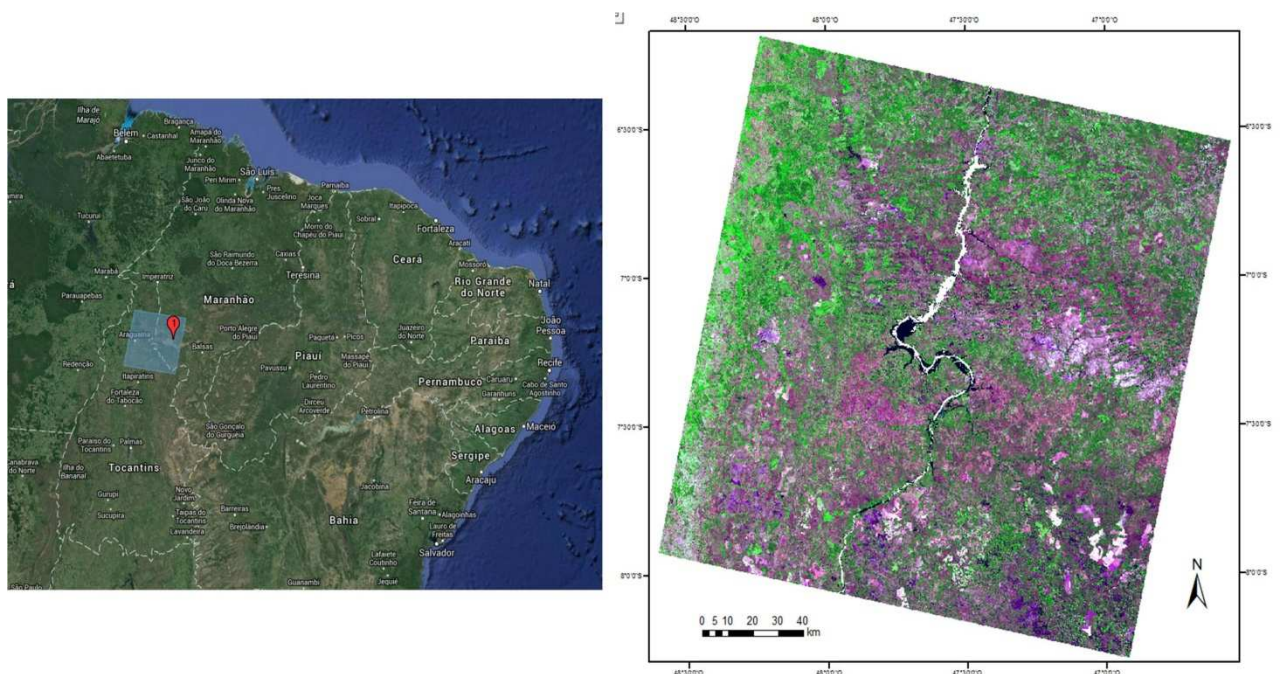


Figura 1: Localização da Área de Estudo.

Situado em uma região de prioridade extremamente alta para conservação da biodiversidade do bioma cerrado, incluindo na lista dos 25 “hotspots” mundiais, o Parque Nacional da Chapada das Mesas foi criado em 12 de dezembro de 2005. Abrange terras dos

municípios de Carolina, Estreito e Riachão, no sudeste do estado do Maranhão, compreendendo uma área de aproximadamente 159.951,62 hectares, dividido em duas áreas, uma com mais de 140.000 hectares e outra com 19.000 hectares (MMA, 2007).

A região é caracterizada por clima Tropical úmido, com temperaturas altas durante o ano todo. Possui duas estações bem definidas, com verão seco, entre os meses de maio a outubro e inverno chuvoso, entre novembro a abril, aproximadamente. Os totais pluviométricos anuais ficam entre 1.250 e 1.500 mm. A temperatura média anual é de cerca de 26,1°C, com mínimas de 25,2°C e máximas girando em torno dos 36°C.

A vegetação presente no é Parque típica do bioma Cerrado, caracterizado por distribuição de diversas fitofisionomias de aspectos savânicos e florestais, mas também é possível encontrar algumas espécies da Caatinga e da Amazônia. Nas áreas de solo arenoso, ocorrem fisionomias de Cerrado *estrito sensu* e campo sujo. Ao longo dos cursos d'água existem matas de galerias bem conservadas. Em locais com solo mais rico, principalmente em topo de serra, há manchas de matas semidecíduais. Podem ser encontrados no PNCM várias espécies vegetais com alto valor comercial, alvos de desmatamento ilegal, como: cedro, aroeira, ipê, jatobá, dentre outros. (MMA, 2007).

O parque localiza-se na bacia do rio Tocantins em seu médio curso no sul do Estado do Maranhão, além de ser caracterizado pela grande biodiversidade ecológica e beleza cênica, possui, também, cursos d'água de diversos rios, tais como o rio Farinha (com suas inúmeras quedas d'água) e várias nascentes de cursos d'água de três importantes bacias hidrográficas, a do Parnaíba, Araguaia/Tocantins e do São Francisco. A região ainda abriga sítios arqueológicos caracterizados pela presença de inscrições rupestres e diversas espécies ameaçadas, como o Tamanduá Bandeira e a Onça Parda.

Grande parte da população do interior do PNCM, assim como da zona de amortecimento, são agricultores tradicionais e utilizam o fogo com a finalidade de limpeza da área para plantio de culturas de subsistência e renovação de pastagem. Nesta região, 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).

4. Revisão da Literatura

4.1 Cerrado

O território abrangido pelo Cerrado ocupa aproximadamente 204 milhões de hectares (SILVA, 1994), sendo o segundo maior bioma brasileiro perdendo apenas para a Floresta

Amazônica.

Como afirma Ribeiro e Walter (1998) o cerrado é um complexo vegetacional que possui analogias ecológicas e fisionômicas com outras savanas da América tropical, da África e Austrália. O bioma contém cerca de 10.000 espécies de plantas, 837 de aves, 120 de répteis, e 150 de anfíbios (MYERS et al., 2000). Apenas 3,88% da superfície ocupada pelo Cerrado está dentro de Unidades de Conservação e dentre elas está o Parque Nacional Chapada das Mesas, dividido em dois espaços territoriais e que se destaca pelo potencial biológico, hídrico e humano.

O bioma do Cerrado apresenta um clima Tropical sazonal, caracterizado por apresentar verões chuvosos e invernos secos. Como média anual de precipitação de 1500 mm, variando de 1200 a 2000 mm. As chuvas estão concentradas principalmente entre os meses de Outubro e Março, ao passo que a estação seca vai de Abril a Setembro, durante o período seco, que ocorre no meio do ano, alguns cursos d'água principais e secundários diminuem ou desaparecem (AB'SABER, 2003). Esta característica faz com que o bioma apresente duas estações bem definidas uma "seca" e outra "chuvosa".

O relevo é predominantemente plano e/ou suavemente ondulado. Aproximadamente 50% de sua área compreendem altitudes que variam de 300 a 600 metros acima do nível do mar, apenas de 5% de sua área apresenta altitudes superiores a 900 metros. As maiores elevações encontradas no bioma são; o Pico do Itacolomi (1.797m), na Serra do Espinhaço; e o Pico do Sol (2.070m), na Serra do Caraça e a Chapada dos Veadeiros (1.676m) (COUTINHO, 1979).

Segundo Ribeiro e Walter (1998), o bioma Cerrado apresenta onze tipos fitofisionômicos, estando enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), Savânicas (Cerrado Sentido Restrito, Parque Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo), alguns dos quais, ainda, apresentam subtipos.

As formações florestais apresentam os tipos de vegetação onde predominam espécies arbóreas, ocorrendo também, formação de dossel. Enquanto a Mata Ciliar e a Mata de Galeria estão associadas à presença de cursos de água, já o Cerradão e Mata Seca ocorrem nos interflúvios do bioma. Atualmente admite-se que a alternância do regime de chuvas, ocasionando a redução da água disponível na estação seca, a ação do fogo e o tipo de solo contribuíram de forma decisiva para formatar a vegetação do bioma cerrado tal como conhecemos hoje (ALVES, 2014).

Nota-se um avanço progressivo da supressão e degradação do bioma Cerrado nos

últimos anos, devido, principalmente, à expansão urbana e ao avanço da fronteira agropecuária, impactando de forma drástica extensas áreas de ecossistemas naturais presentes no Cerrado e substituindo gradualmente a paisagem por um mosaico homogêneo composto por áreas agrícolas (SANTOS et al., 2010).

4.2 Unidades de Conservação

As áreas protegidas existem desde o ano 250 a.c, quando na Índia já se protegiam certos animais, peixes e áreas florestadas (IBAMA, 2004). Porém, foi somente no século XIX, que surgiram as primeiras pretensões na criação de unidades de conservação, sendo o marco histórico deste tipo de iniciativa o Parque Nacional de Yellowstone, criado em 1877 (Schenin *et.al.*, 2004).

No Brasil, a primeira área protegida criada foi a o Parque Nacional do Itatiaia (Rio de Janeiro), sendo criado com base no Código Florestal Brasileiro de 1934. Esse parque representou a materialização de longos anos de debates e mobilizações iniciadas durante o período colonial e imperial (Medeiros, 2003).

Com o decorrer dos anos de estudos, propostas e conseqüentemente tramitações no Congresso Nacional, em 18 de julho de 2000 foi criada a Lei nº 9.985 que implementou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), onde as Unidades de Conservação seriam espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos sob regime especial de administração, a qual se aplica garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, as Unidades e Conservação são divididas em dois grandes grupos:

- Unidades de Proteção Integral;
- Unidades de Uso Sustentável.

Segundo Brasil (2000), a proteção integral ou de uso indireto requer manutenção dos ecossistemas livres das alterações causadas por interferência humana, com o objetivo básico a conservação da natureza, sendo admitido o uso indireto de seus recursos, através de ações de interpretação e educação ambiental, pesquisas científicas e atividades de recreação conforme previsto em lei.

As Unidades de Conservação de Uso Sustentável possuem como objetivo básico a compatibilização da conservação da natureza com o uso sustentável de parte de seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

4.3 Índices de Vegetação

A partir da década de 70, principalmente após o lançamento do satélite Landsat-1, diversos autores têm desenvolvido e trabalhado com os Índices de Vegetação (BARET et al., 1989; HUETE, 1988; JORDAN, 1969; RICHARDSON; WIEGAND, 1977) com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio (FERREIRA, 2012).

Os índices de vegetação resultam da combinação da medida da radiação eletromagnética refletida pela vegetação em algumas bandas espectrais do espectro eletromagnético, que guardam uma certa relação com a quantidade e o Estado da vegetação (Coura, 2007), além disso, os índices minimizam os efeitos de fatores externos sobre os dados espectrais e permitem a inferência de características do dossel florestal e do uso e ocupação da terra.

As características espectrais, espaciais e temporais são importantes na identificação de alvos a partir de sensoriamento remoto. Ao longo do tempo, as características espectrais e espaciais de alvos do dossel vegetativo e do uso e ocupação da terra, bem como áreas queimadas ou desmatadas variam, dependendo do estágio de desenvolvimento da regeneração da vegetação ou do tipo de cultura.

Os Índices de Vegetação devem ser capazes de identificar pequenas variações no desenvolvimento fenológico da vegetação e não podem ser muito influenciados pelas variações do solo, do ângulo de visada do sensor das condições atmosférica e do ângulo solar. Desta forma, os índices devem ser utilizados com certo cuidado, pois estes, foram desenvolvidos para atender condições específicas de análise, já que têm como objetivo ampliar o sinal da vegetação e reduzir os efeitos da atmosfera, geometria da cena e do solo (Jackson e Huete, 1991).

5. Metodologia

5.1 Índices Espectrais

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. Para melhor compreensão da localização no espectro a **tabela 1** apresenta os intervalos espectrais de cada banda provenientes do sensor TM do satélite Landsat 5.

Tabela 1 – Faixa espectral das bandas do TM/Landsat 5

TM/Landsat 5
450–520 nm (banda 1)
520-600 nm (banda 2)
630-690 nm (banda 3)
760-900 nm (banda 4)
1550-1750 nm (banda 5)
2080-2350 nm (banda 7)

5.2 Tratamento de Medidas

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 as equações:

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

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

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

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

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, o **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)

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

5.3.1 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_{λ} representa a radiância para a banda expressa em $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$.

Tabela 2 - L_{\min} e L_{\max}

Banda (Landsat)	Radiância Mínima ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)	Radiância Máxima ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)
1	-1,52	193
2	-2,84	365
3	-1,17	264
4	-1,51	221
5	-0,37	30,2
7	-0,15	16,5

5.4 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_λ 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:

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

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

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

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

φ = latitude em graus e h = ângulo horário

5.5 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.

5.6 Transformada de Wavelet

Para decomposição e filtragem da série temporal de EVI/MODIS foi utilizada a Transformada de Wavelet, onde $\varphi(t)$ é uma função de oscilação com energia finita e média nula, conforme a seguintes Equações:

$$W_w(a, \tau) = \int f(t) \varphi_{a,\tau}^*(t) dt \quad (11)$$

$$\varphi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi_{a,\tau} \left(\frac{t - \tau}{a} \right) \quad (12)$$

onde, $s(t)$ é o sinal de entrada analisado e φ^* é a wavelet mãe ou base. Nesta equação, a largura da wavelet é determinada pelo parâmetro de escala “a” enquanto o seu centro é determinada pelo parâmetro “b”. A variável “t” representa o intervalo de tempo na série temporal na qual é realizada a integração. A Transformada de Wavelet tem a vantagem de manter as informações relacionadas à largura (escala) e a localização (tempo) das características presentes em $s(t)$ (Antunes e Lamparelli, 2011)

A aplicação da Transformada de Wavelet numa série temporal de EVI requer a definição dos parâmetros ordem e potência da wavelet mãe que definem o comportamento da curva. Ordem é uma medida de suavidade, em que valores mais elevados produzem mais suavização. Potência corresponde ao número de coeficientes retidos da série temporal de EVI. Uma maior potência gera uma wavelet mais estreita com mais detalhes de escala, mas pode reter mais ruído. Uma menor potência remove mais ruído pela forma mais larga da wavelet, podendo capturar tendências, mas pode perder detalhes fenológicos (Galford et al., 2008).

6. 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 (**2a e 2b**), estas áreas foram melhor discriminadas em relação aos outros alvos, quando comparados aos resultados provenientes do NDVI (**2a e 2d**).

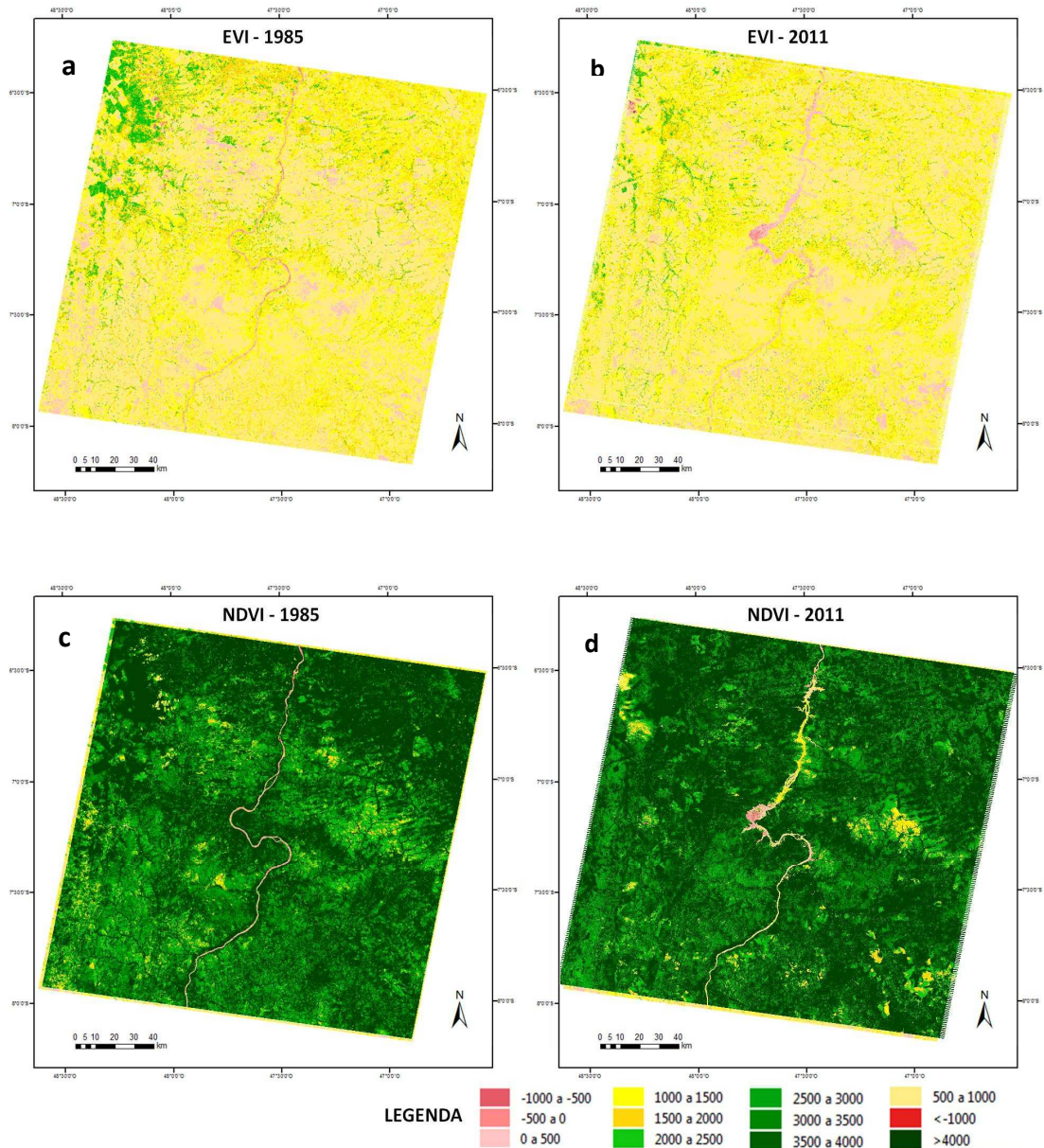


Figura 2: Imagens dos anos de 1985 e 2011 com os Índices Espectrais NDVI e EVI.

Na **Figura 3**, as áreas em tons amarelos representam o solo exposto e as áreas verdes a vegetação, provenientes do SAVI (**3c e 3d**). 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 (**3a e 3b**) 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.

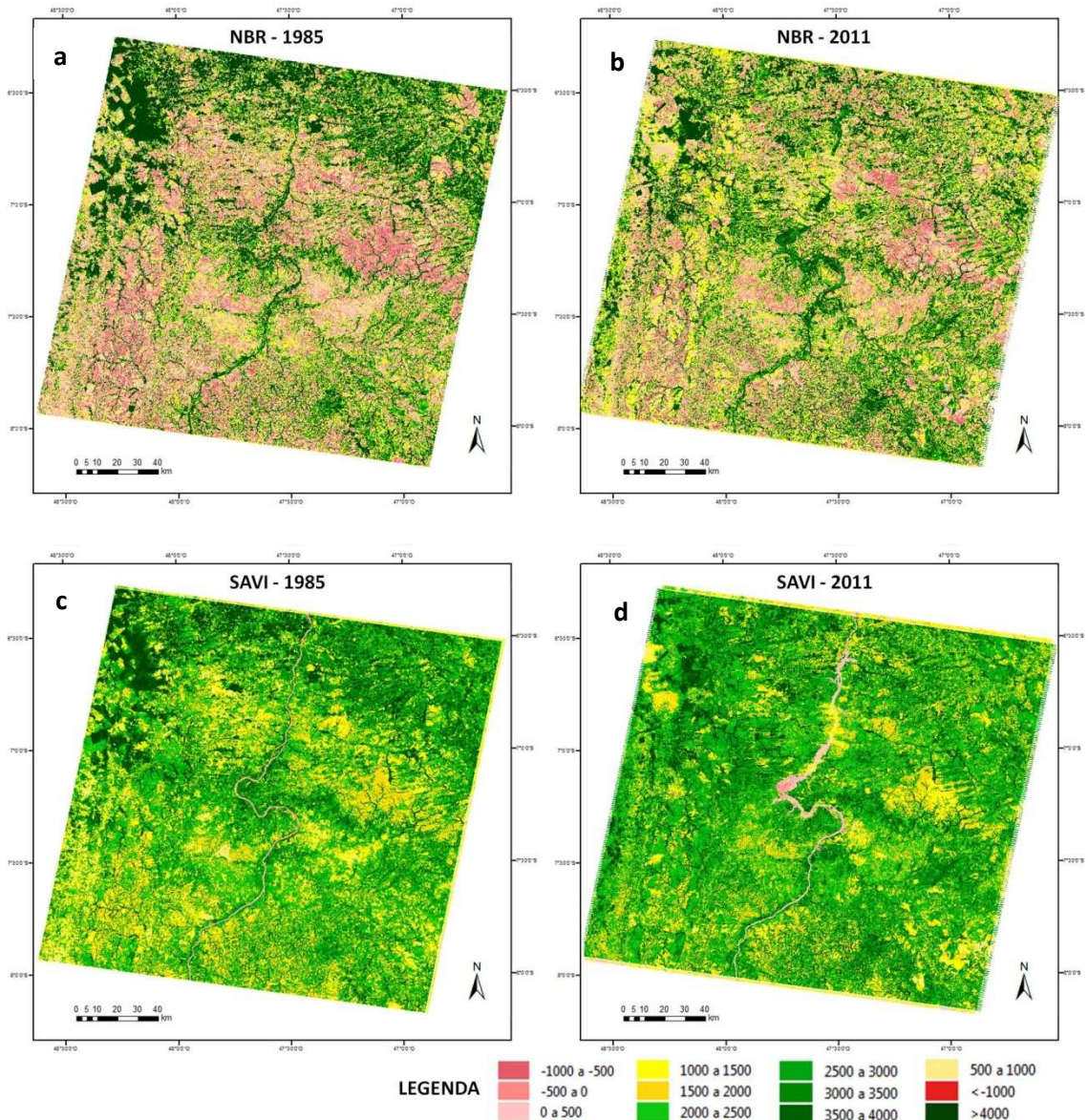


Figura 3: Imagens dos anos de 1985 e 2011 com os Índices Espectrais NBR e SAVI.

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 (**4c**) e o NDVI (**4b**) apresentam comportamento semelhantes, no entanto o NBR apresentou uma melhor distinção das áreas vegetais regeneradas. Já os índices do SAVI (**4d**) e EVI (**4a**) não apresentaram grandes distinções entre os dosséis vegetais após a análise das imagens-diferença.

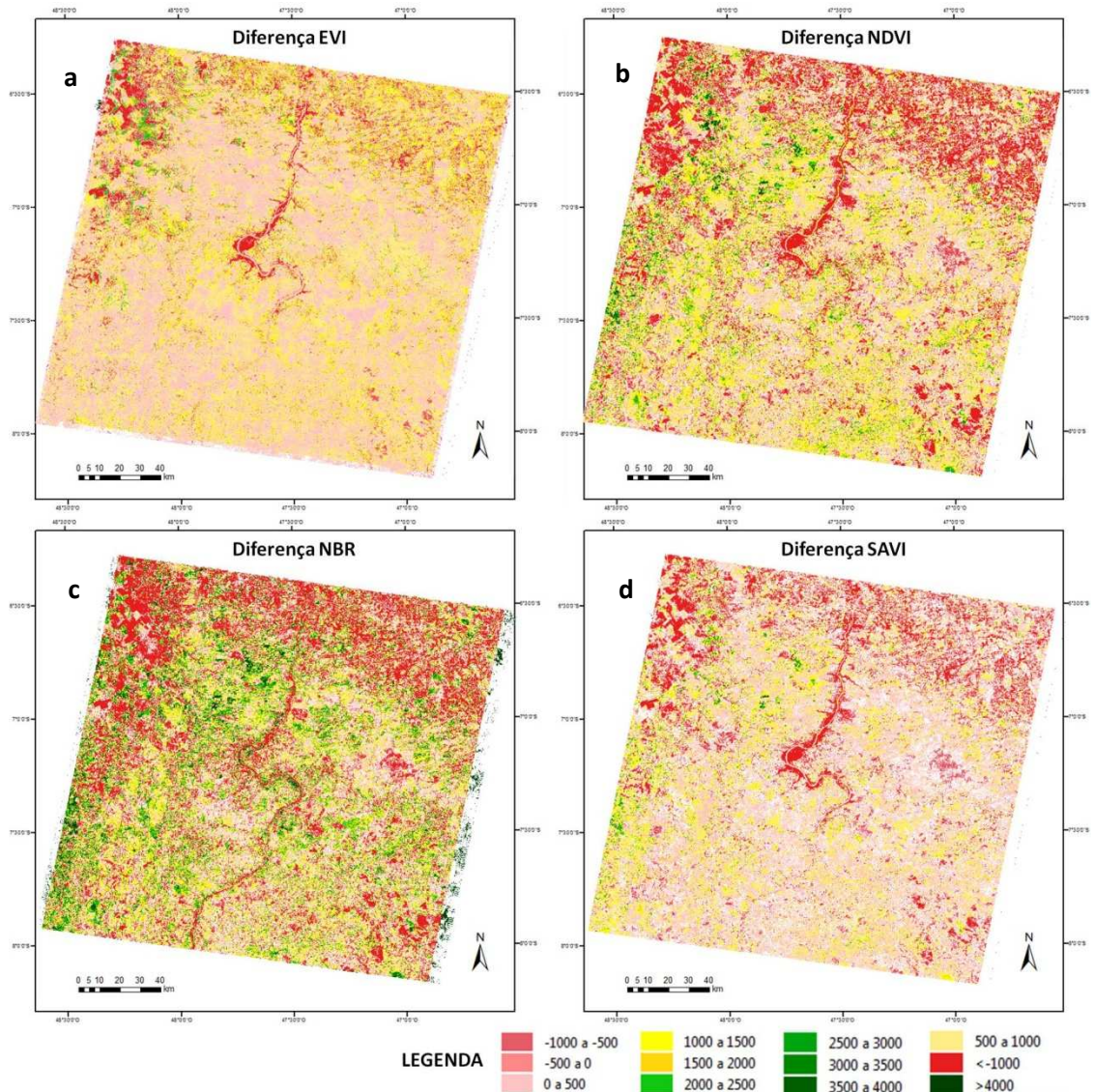


Figura 4: Imagens diferença dos índices EVI, NDVI, NBR e SAVI.

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 fitofisnomias 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 (**5c**) apresentou visualmente melhores resultados comparado aos outros três índices utilizados, denotando uma maior distinção nas áreas vegetais regeneradas. O NBR é um índice por diferença normalizada da refletância relativa às bandas 4 e 7 do Thematic Mapper (TM), possivelmente por esse ser o único índice, utilizado na metodologia, que analisa a banda 7, infravermelho distante, do TM para a identificação das áreas de regeneração que permite discriminar a umidade tanto na vegetação quanto no solo, denotando assim melhores resultados.

Com relação aos outros índices de vegetação, percebe-se que os mesmos expressam similaridade em relação aos seus valores, apresentando, visualmente, praticamente os mesmos resultados. Do ponto de vista do sensoriamento remoto, nota-se que todos os Índices Espectrais analisados mostram-se sensíveis às variações na vegetação. Porém, 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.

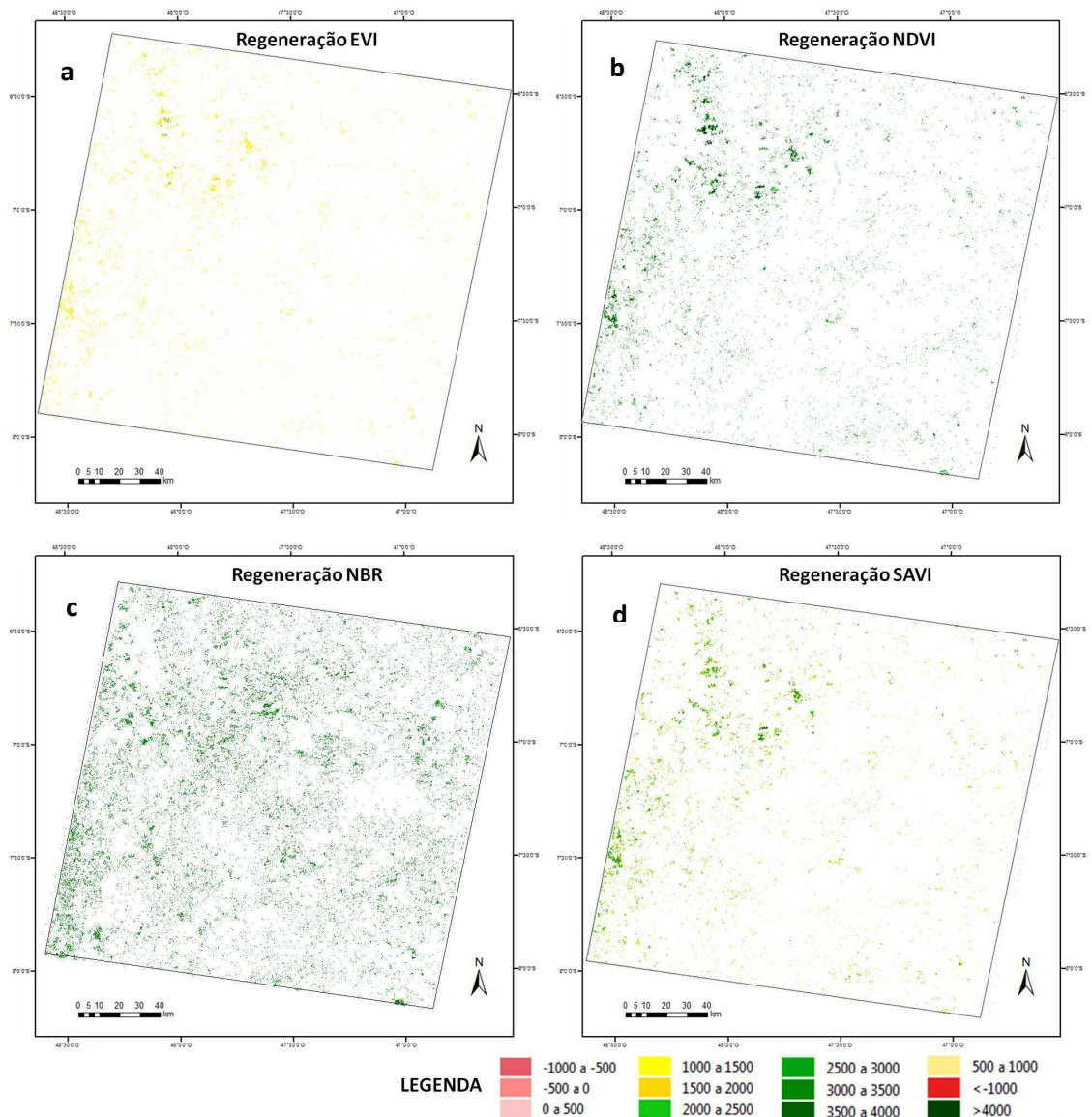


Figura 5: Área total de regeneração.

A **figura 7** exibe a variabilidade da regeneração da vegetação em uma determinada região da área de estudo, localizada pela longitude -47.993602 e pela latitude -6.643827 (**figura 6**), corresponde à cena da órbita ponto 222/65 do satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper). A área-ponto escolhida para aplicação do índice de variabilidade está delimitada, na

figura 6, pelo círculo amarelo e as áreas delimitadas pelos círculos vermelhos demonstram outras áreas que também ocorreram regeneração na vegetação.

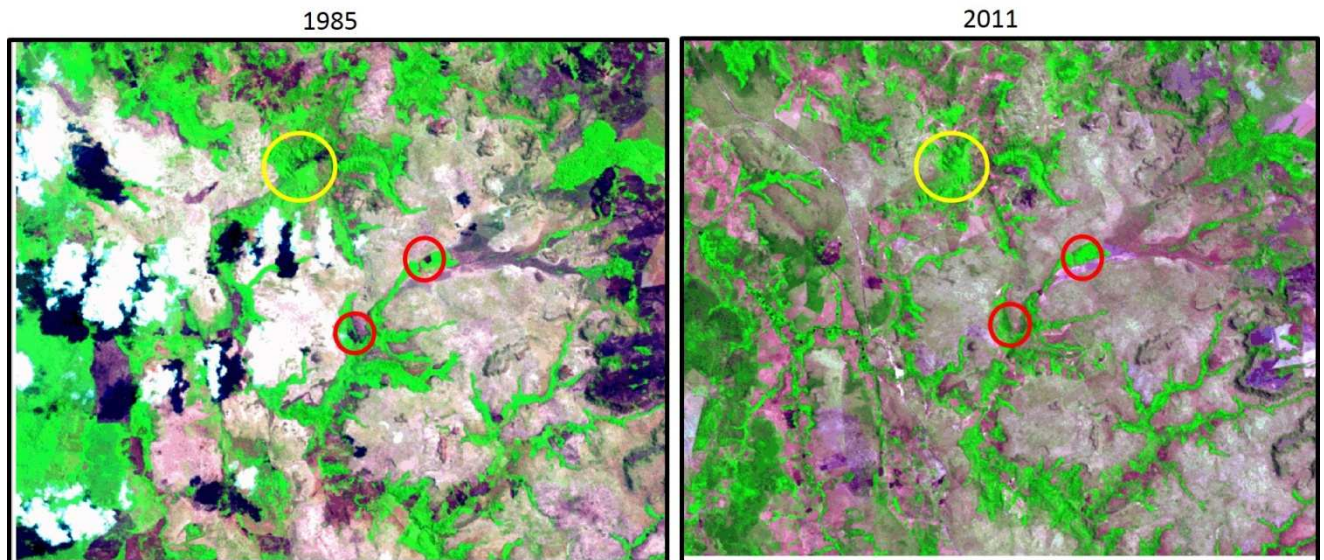


Figura 6: Recorte da área identificada com ocorrência de regeneração da vegetação entre os anos 1985 a 2011.

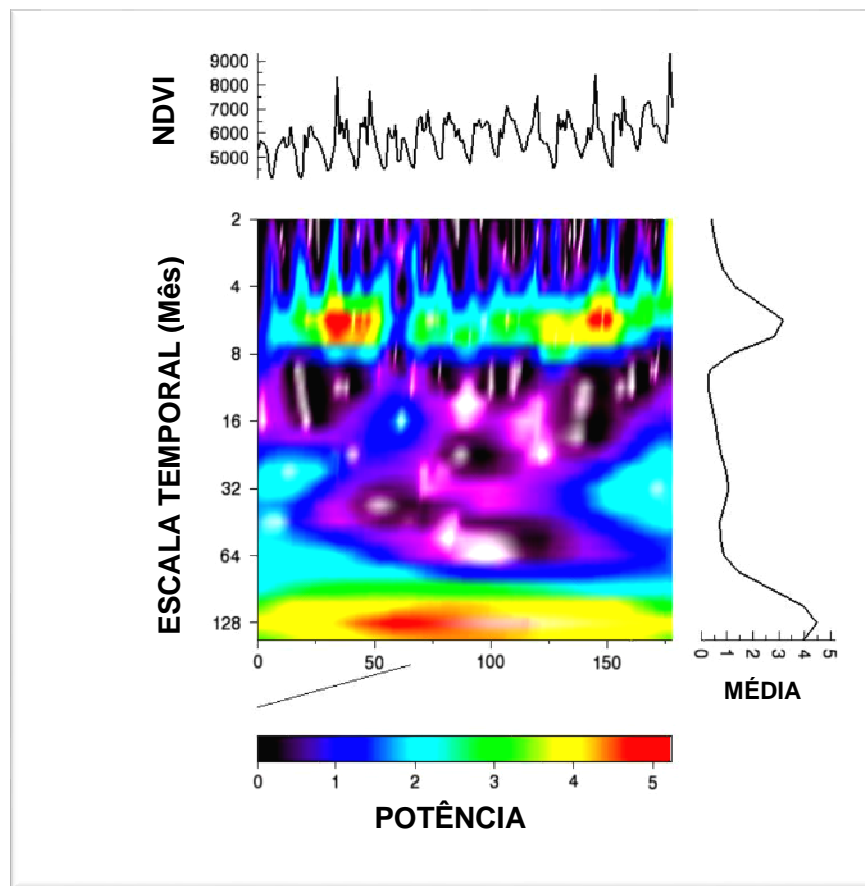


Figura 7: Variabilidade da Vegetação.

Para a descrição da variabilidade da regeneração para a compreensão dos resultados de agrupamento foi realizada a partir dos dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), esse índice expressa valores que representam maiores índices de vegetação quando está mais próximo a 10.000 correspondendo ao aumento da vegetação, representado na figura pela tonalidade vermelho e amarelo, enquanto os valores que apresentam baixos índices de vegetação estão mais próximos do zero ou são valores negativos, representando pelas tonalidades verde, azul e azul claro.

O gráfico gerado apresenta os dados semestrais agrupados sobre a mudança da vegetação entre os anos de 2000 a 2014, observa-se que o vigor vegetativo está crescendo com o passar dos meses, indicando que nesta área a vegetação está se regenerando, pois ela passou de 5500/4000 em 2000 para 9000/8000 em 2014. Desta forma, ao analisar o gráfico percebe-se que antes nesta área ocorria à presença de campo sujo e com o passar dos anos foi se tornando uma área de vegetação secundária.

7. Considerações finais

O emprego de índices espectrais consiste numa 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.

O conhecimento por ora adquirido com o presente trabalho não encerra as análises sobre a regeneração florestal na cena de estudo, ao contrário abre outras possibilidades para novas pesquisas, atualizações e/ou levantamentos de informações desta e de outras regiões do bioma Cerrado.

8. Referências bibliográficas

- AB'SABER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê editorial, 2003.
- ALVES, Evandro. **Cerrado em quadrinhos: experiências e contribuições para o ensino de Geografia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2014.
- ANTUNES, J. F. G.; LAMPARELLI, R. A. C. **Monitoramento da cultura da cana-de-açúcar utilizando a Transformada de Wavelet em séries temporais de dados EVI/MODIS**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011, INPE.
- BATISTA, A. C. **Deteção 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.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.985. Regulamenta o art. 225, parágrafo 1º, incisos I, II, III e IV da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 2000. 14 pp.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.** 41 <11>: 2674-2677, 2003.
- COURA, S. M. C. **Mapeamento de vegetação do estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- COUTINHO, L.M. **Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado**. III - A precipitação atmosférica de nutrientes minerais. 1979. Revista Brasileira de Botânica, 2:97-103.
- FERREIRA, M. P. **Análise da dinâmica da cobertura florestal no oeste do estado de São Paulo utilizando imagens de satélite**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2012.

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

Galford, G. L.; Mustard, J. F.; Melillo, J.; Gendrin, A.; Cerri, C. C., Cerri, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 2, p. 576-587, 2008.

HUBER, O. Neotropical savannas: their flora and vegetation. **Trends in Ecology and Evolution**. v. 2, n. 3, 1987. p. 67-71.

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

IBAMA. **Roteiros metodológicos: plano de manejo de uso múltiplo das reservas extrativistas federais.** Organizadores: Ecio Rodrigues, Alberto Costa de Paula, Carla Medeiros y Araujo. Brasília: Ibama, 2004.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, n.11, p.185-200, 1991.

Klink, C.A. **Relação entre o desenvolvimento agrícola e a biodiversidade.** Pp 25-27. In: Pereira, R.C. & Nasser, L.C.B. (Ed.) Biodiversidade e produção sustentada de alimentos e fibras nos cerrados. 1º Simpósio Internacional de savanas neotropicais. EMBRAPA, Brasília-DF, Brasil. 1996.

MEDEIROS, R. **A política de criação de áreas protegidas no Brasil: evolução, contradições e conflitos.** Anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil – RODRIGO MEDEIROS 6 3 Conservação, vol 1. Curitiba: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza & Rede Pró Unidades de Conservação, 2004.

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

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B.D. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature** v. 403.

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.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**, p. 87-166. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15n) na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, 2010. v.34, p. 1185-1194

SCHENIN, Pedro Carlos; COSTA, Alexandre Marino; CASARIN, Vanessa Wend. Unidades de Conservação: Aspectos Históricos e sua Evolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Ufsc, 2004. p. 1 - 7.

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.

SILVA, L. L. O papel do estado no processo de ocupação das áreas de Cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Caminhos da Geografia**, v. 1, n. 2, p. 24-36, 1994.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. de M. **Quantificação do Grau de Severidade de Queimada em Unidades de Conservação no Distrito Federal por meio dos Índices Espectrais dNBR e RdNBR**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE

VALLADARES-PÁDUA, C.; CULLEN JR., L.; PÁDUA, S.M.; DITT, E.H. **Combinando comunidade, conectividade e biodiversidade na restauração da paisagem no Pontal do Paranapanema como estratégia de conservação do corredor do rio Paraná.** In: Arruda, M.B.; Sá, L.F.S.N. (Org.) *Corredores Ecológicos – Uma abordagem integradora de ecossistemas no Brasil.* Brasília: Ed. IBAMA, 2004. p. 67-80.

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.** 35 <3>: 675-686, 1997.

WERNECK LIMA, J. E. F e SILVA, E. M. **Resursos Hídricos do Bioma Cerrado.** In: SANO S. M. et al. *Cerrado: ecologia e flora.* Brasília: DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2008, p. 89 - 106