



**Aplicação de um Modelo de NDVI para Detecção
Multitemporal de Mudanças no Uso e Cobertura do Solo**
Multitemporal Change Detection Using the
NDVI Model in the Soil Use and Land Cover

Sumaia Resegue Aboud Neta; Edilson de Souza Bias;
Ricardo Seixas Brites & Celso Ap. Martins dos Santos

*Universidade de Brasília, Instituto de Geociências,
Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central, 70919-970, Brasília, DF, Brasil*
Emails: sumaiaaboud@gmail.com; edbias@gmail.com; brites.ricardo@gmail.com; celsomartins123@gmail.com
Recebido em: 20/07/2018 Aprovado em: 15/09/2018
DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_592_604

Resumo

O estudo objetivou aplicar um modelo de detecção de mudanças utilizando-se o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) na análise da evolução da cobertura vegetal no Distrito Federal, onde se situa a capital do Brasil, avaliando as mudanças em um período de 33 anos, entre 1984 e 2017. O NDVI foi calculado com base nas imagens Landsat 5 (TM) e 8 (OLI). A partir dos valores extraídos, uma operação de subtração de NDVI foi realizada. As anomalias foram espacializadas e o resultado de mudanças positivas e negativas analisado. O total de anomalias foi próximo de 185 km² (~ 6,4%), dos quais 130 km² foram de anomalias negativas (~ 4,5%) e 55 km² de positivas (~ 2%). As positivas representaram áreas que em 1984 não eram vegetação e se tornaram em 2017, como possíveis reflorestamentos, tendo crescido ao longo dos anos. As negativas são áreas com vegetação decrescente, indicando um possível desmatamento em virtude da diminuição da atividade fotossintética como, por exemplo, aquela ocasionada pela expansão urbana. Tal anomalia caracteriza-se pelos valores negativos de NDVI na operação de subtração. Da análise concluiu-se que o modelo pode ser aplicado como um indicador de oscilação e tendências multitemporais no uso e na cobertura do solo.

Palavras-chave: Uso do Solo; Cobertura do Solo; Detecção de Mudanças; NDVI; Sensoriamento Remoto

Abstract

The purpose of this study was to apply a change detection model using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to analyze the vegetation cover evolution in the Federal District, where the Brazilian capital is located, assessing the changes in a period of 33 years, between 1984 and 2017. The NDVI was calculated based upon Landsat 5 (TM) and 8 (OLI) imagery. From the extracted values, an operation of subtraction of NDVI was realized. The anomalies were spatialized and the result of changes positive and negative was analyzed. The total of anomalies was ~ 185 km² (~ 6.4%), where 130 km² were of negative anomalies (~ 4.5%) and 55 km² of positives (~ 2%). The positives represented the areas that in 1984 weren't vegetation and became in 2017, as in the case of reforested areas, growing over the years. The negatives are areas with decreasing vegetation, indicating a possible deforestation by the decrease in the photosynthetic activity, as example, because the urban expansion. This anomaly is characterized by the negative values of NDVI in the result of the subtraction operation. With the analysis, it was concluded that the model can be applied as an indicator of multitemporal oscillation and tendencies in the soil use and land cover.

Keywords: Soil Use; Land Cover; Change Detection; NDVI; Remote Sensing

1 Introdução

Uma das principais aplicações do Sensoriamento Remoto está na detecção de mudanças no uso e na cobertura do solo. Por meio da análise de uma série de imagens de satélites, com aquisição em momentos distintos, é feita uma comparação nas áreas de interesse objetivando identificar o que, onde e quanto foi modificado nas regiões de estudo, através das respostas espectrais dos alvos. Logo, modelos de detecção multitemporal de mudanças podem ser úteis no monitoramento de comportamentos, desde desmatamentos, expansão urbana até acompanhamentos de diferentes alvos ao longo do tempo, permitindo a gestão por órgãos fiscalizadores (Huang *et al.*, 2000; Rymasheuskaya, 2007).

Cada alvo possui um comportamento espectral diferenciado, com a capacidade de absorver, refletir ou transmitir a radiação eletromagnética de maneira peculiar ao longo das faixas do espectro, conforme as propriedades do objeto. O comportamento espectral permite definir suas feições, sendo caracterizada por meio de sua forma, intensidade e a localização de cada banda de absorção. Assim, a partir da caracterização do comportamento do alvo de estudo, é possível aplicar índices de monitoramento e extrair informações importantes dos alvos, tais como características da estrutura celular, espessura e quantidade de água da cultura (Gonzalez & Woods, 2000; Ponzoni *et al.*, 2015).

Conforme Medeiros (1987), a detecção de mudanças pode ser definida como as alterações ocorridas através do tempo sobre a superfície terrestre, onde se realiza comparações entre imagens obtidas em momentos distintos. O monitoramento dessas modificações pode ser realizado por meio de técnicas de análise visual e ou digital, utilizando dados obtidos em épocas diferentes, ou seja, dados multitemporais, pelos sistemas de sensoriamento remoto.

Segundo Jensen (2009), o método digital deve, sempre que possível, ser utilizado, sendo útil na correlação e comparação de imagens de épocas distintas, podendo ser vantajoso na identificação de mudanças na cobertura da terra, quando em comparação com a análise visual. Logo, as técnicas digitais de imagens, quando utilizadas na análise multitemporal de imagens

de satélite, são significativamente eficazes, sendo que tal dinâmica se dá em virtude da alta correlação entre a variação espectral na imagem com a mudança da superfície terrestre (Green *et al.*, 1994).

Há diferentes técnicas de detecção de mudanças, por meio de análise multitemporal digital das imagens, desenvolvidas nos últimos anos, não existindo um método universalmente aceito (Coppin *et al.*, 2004; Hall & Hay, 2003; Lu *et al.*, 2004; Tewkesbury *et al.*, 2015). Os parâmetros de escolha dessas técnicas dependem do objetivo da pesquisa, bem como das preferências do operador no uso de determinadas ferramentas. No geral, as técnicas podem ser agrupadas em cinco modalidades: razão entre bandas, diferença entre bandas, análise dos componentes principais, classificação espectral temporal e comparação de classificações individuais, sendo capazes de monitorar alterações no padrão de resposta espectral da vegetação em função do tempo, seja em virtude de alterações fenológicas das espécies vegetais ou por intervenções antrópicas (Coppin *et al.*, 2004; Graça, 2004; Jensen, 2009).

Quando as imagens que irão compor a análise temporal estão pouco distantes no tempo, com períodos de cinco anos ou menos, as regiões que porventura sofreram algum tipo de mudança podem representar uma parcela muito pequena da cena total, prejudicando a detecção. Nestes casos, pode ocorrer uma possível subestimação das áreas com alterações. Assim, uma amostragem estratificada e orientada por uma prévia diferença de bandas (ou geração de transformadas), pode melhorar a capacidade da detecção (Cakir *et al.*, 2006).

Entre os índices utilizados no monitoramento de mudanças, encontra-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o qual possui utilidade significativa na estimativa de parâmetros biofísicos, onde o conceito de razão reduz diferentes formas de ruídos multiplicativos como diferenças de iluminação, sombra de nuvens e certas variações topográficas (Rouse *et al.*, 1974; Silva, 2004).

O NDVI é um índice de expressiva importância na caracterização da vegetação, a partir de imagens de satélite, onde é possível o realce de culturas por operações matemáticas entre as bandas dos satélites

sensores. Portanto, o índice auxilia nas estimativas de biomassa, cobertura vegetal e na detecção de mudanças de padrão de uso e cobertura da terra (Carlson & Ripley, 1997; Shimabukuro, 1998).

O cálculo do NDVI é realizado a partir da razão entre a diferença das reflectâncias das bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (R), pela soma das reflectâncias dessas bandas (Jensen, 2009):

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

O índice representa a magnitude normalizada que varia entre -1 e +1, resultante da diferença entre a reflectância das bandas espectrais do infravermelho próximo e do vermelho. Logo, quanto mais próximo do valor 1, maior a probabilidade da presença da vegetação. Quanto mais próximo de -1, maior o indício da presença de solos expostos e rochas na área analisada (Carlson & Ripley, 1997; Jensen, 2009; Shimabukuro, 1998).

Na Figura 1, é apresentada a reflectância da vegetação sadia e seca, em duas das faixas do espectro eletromagnético, onde é possível evidenciar que o NDVI da vegetação sadia é superior ao da vegetação seca.

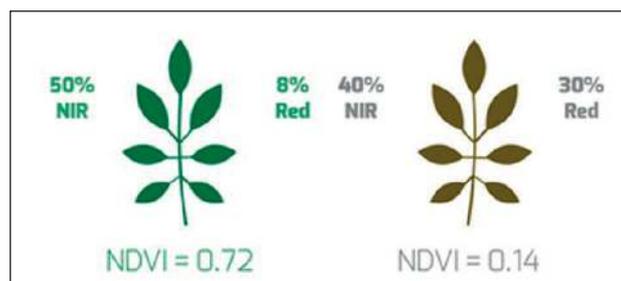


Figura 1 Percentual de reflectância de NDVI no NIR e no RED para as folhagens sadia e seca (Ortiz & Shaw, 2011).

Segundo Novo (1989), o NDVI permite monitorar a quantidade de vegetação, sendo que na proporção em que há um acréscimo de vegetação verde, há um aumento na reflexão da banda do infravermelho próximo e uma diminuição na reflexão da banda do vermelho. Assim, há uma potencialização do aumento da razão, expressa na equação 1.0, realçando a vegetação e tornando-a expressiva na cena.

Para Teotia *et al.* (2003), o NDVI pode ser utilizado na classificação da cobertura vegetal e mapeamento da capacidade de uso da terra. Ainda, há estudos que utilizam o índice para monitoramento de áreas degradadas, como a análise proposta por Kazmierczak (1998) para o sertão nordestino, bem como as detecções de mudanças ambientais por meio do índice, realizada por Pettorelli (2005). Em conjunto com ferramentas de geoprocessamento e algoritmos personalizados, é possível também realizar a análise de evolução temporal de determinada região, a partir da comparação entre a cobertura vegetal vigente e a passada, estimando o percentual de áreas devastadas, sendo útil no monitoramento de atividades fotossintéticas e em comparações de variações sazonais e interanuais (Bezerra *et al.*, 2011; Ponzoni *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2009).

O objetivo deste artigo foi implementar um modelo de detecção de mudanças, por meio do Cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, para monitorar a evolução da cobertura vegetal em diferentes áreas.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região Centro-Oeste do Brasil e concentra parte do Distrito Federal e entorno, incluindo a divisa com o estado de Goiás, conforme Figura 2. Possui latitude 15°33'15.60''S, 15°57'49.79''S e longitude 48°19'25.40''W, 47°43'8.71''W, englobando uma área próxima de três mil km² (GDF, 2015).

Na porção Oeste, concentra-se parte da divisa com o estado de Goiás, próximo à cidade de Águas Lindas de Goiás (mostrado no destaque com a letra "A"). Pelo lado Leste tem-se o limite da região administrativa de Sobradinho, conforme letra "B". No destaque, em "C" encontra-se a região central de Brasília, conhecida por Plano Piloto, em "D" a região administrativa de Recanto das Emas e, em "E", a de São Sebastião.

O Distrito Federal (DF) é ocupado pelo Cerrado, o segundo maior bioma da América do Sul, contendo uma ampla diversidade de fauna e flora. Possui

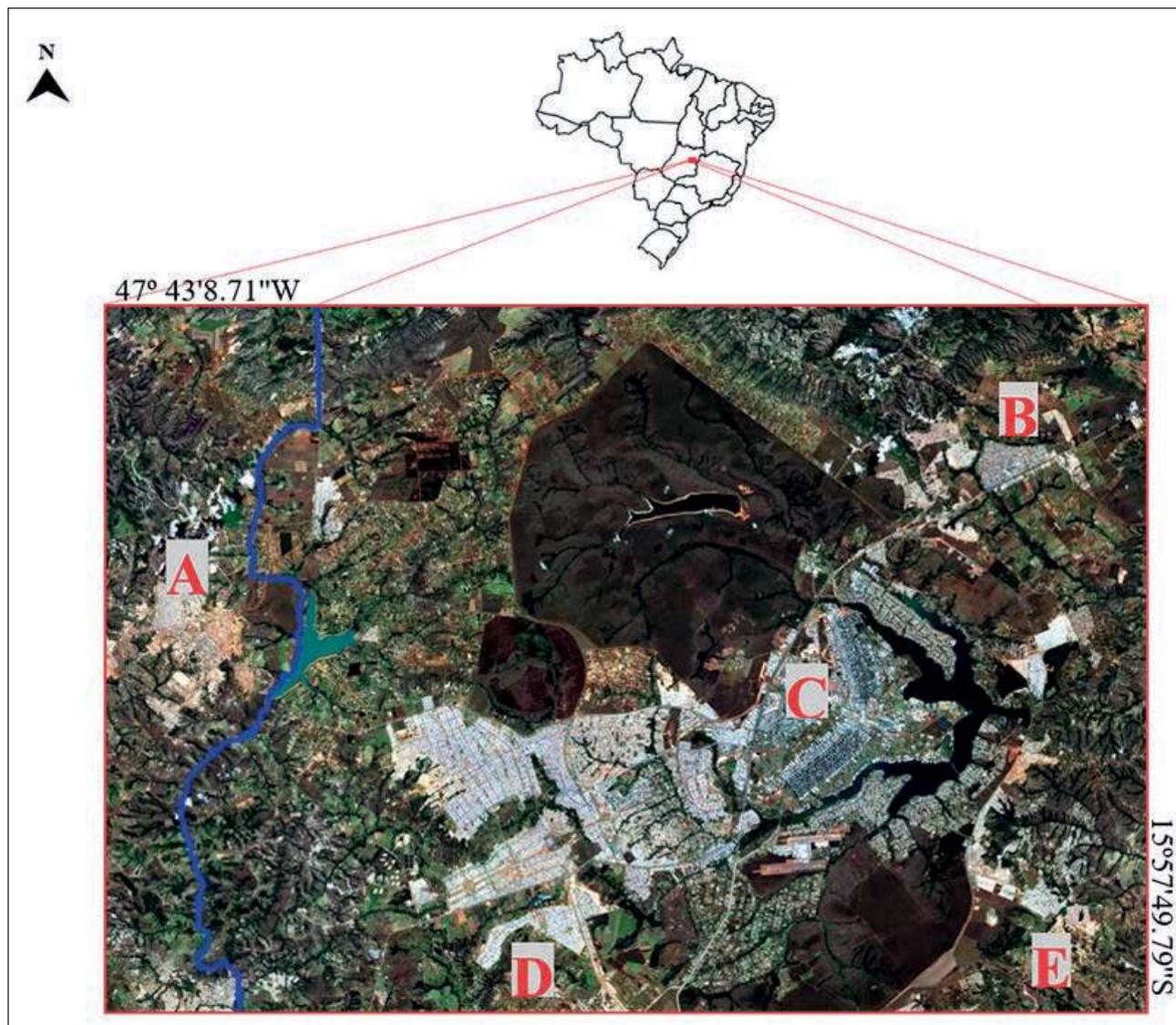


Figura 2 Localização da Área de Estudo na região do Distrito Federal e entorno: Imagem Landsat 8 (OLI) de 06/06/2017 na composição colorida (4)R, (3)G, (2)B. A linha azul representa a divisa de Estado. No destaque “A”, encontra-se à cidade de Águas Lindas de Goiás. Em “B”, concentra a região administrativa de Sobradinho. Em “C” encontra-se a região do Plano Piloto de Brasília. Em “D” a região de Recanto das Emas e em “E” de São Sebastião.

clima tropical e temperatura média de 22°C. Além de ser uma unidade autônoma da federação, onde está a sede do Governo Federal com seus poderes Executivo, Legislativo e Judiciário, o DF tem as mesmas competências legislativas reservadas aos estados e municípios. Porém, diferente dos estados, a Capital Brasília não é dividida em cidades e bairros, e sim em 31 Regiões Administrativas (RAs) e no Plano Piloto, constituindo a área urbana e zona rural (IBGE, 2010).

O Plano Piloto engloba as Asas Sul e Norte. Entre as RAs centrais estão Lago Sul, Lago Norte, Sudoeste, Octogonal, Cruzeiro Velho e Cruzeiro Novo. Adiante, entre 6 e 25 km do Plano Piloto, estão as “cidades satélites” ou entorno, que possuem administração própria, sob coordenação do Governador do Distrito Federal e da SUCAR (Secretaria de Estado de Coordenação das Administrações Regionais). Entre elas estão: Gama, Taguatinga, Brazlândia, Sobradinho, Planaltina, Paranoá, Núcleo Bandeirante, Ceilândia, Guará, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião,

Recanto das Emas, Candangolândia, Riacho Fundo I e II, Varjão, Park Way, SCIA, Jardim Botânico, Itapoã, SIA, Vivente Pires e Fercal (GDF, 2015).

2.2 Metodologia

No estudo foram utilizados dados ópticos do Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI), respectivamente dos meses de Junho de 1984 e de 2017, os quais imageiam uma área de 185 km com altitude de 705 km, cujas especificações estão na Tabela 1 (USGS, 2013).

	Landsat 5 (TM)	Landsat 8 (OLI)
Imagem	11/06/1984	06/06/2017
Órbita	Polar Sol-Síncrona	Circular
Bandas Espectrais	Azul (B1), Verde (B2), Vermelho (B3), NIR (B4), SWIR1 e 2 (B5 e B7) e Termal (B6)	Coastal (B1), Azul (B2), Verde (B3), Vermelho (B4), NIR (B5), SWIR1 e 2 (B6 e B7), Pancromática (B8) e Cirrus (B9)
Resolução Temporal	16 dias	16 dias
Espacial	30 m (B1, B2, B3, B4, B5 e B7) e 120 m (B6)	15 m (B8) Pancromática e 30 m Multiespectral
Radiométrica	8 bits	12 bits

Tabela 1 Especificações do Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI) (USGS, 2013).

O Landsat 5 foi inativado em 22/11/2011 e o Landsat 8 ainda encontra-se ativo. As imagens utilizadas datam de 11 de Junho de 1984 e 06 de Junho de 2017, sendo adquiridas por download, de forma gratuita, por meio do site <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>. Os aplicativos utilizados para processamento dos dados foram o Envi e IDL 4.8. O software Envi foi utilizado no pré-processamento dos dados e extração dos NDVIs das imagens, conforme descrito na seção 2.2.1 e 2.2.2. O IDL foi utilizado para aplicação do algoritmo de diferença de NDVIs nas cenas.

O procedimento metodológico contempla três etapas, conforme Figura 3.

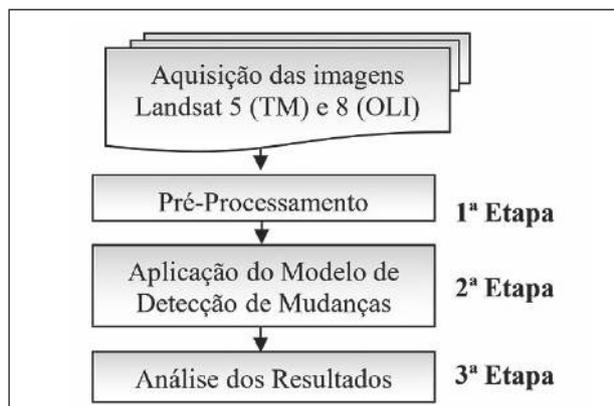


Figura 3 Fluxograma da Metodologia.

2.2.1 Metodologia – Pré-Processamento

A primeira etapa consistiu no pré-processamento das imagens, onde realizou-se o recorte da área de estudo seguido pelos procedimentos de tratamento nas cenas, tais como a correção geométrica e transformações radiométricas de correção e normalização.

Na correção geométrica foi realizado o georreferenciamento de pontos de controle, imagem a imagem, tendo a finalidade de evitar possíveis distorções sistemáticas introduzidas durante o processo de aquisição das cenas, além de colocar as imagens na mesma posição de pixel para detecção de mudanças (D'Alge, 2001).

Para a correção radiométrica o método empregado foi do Histograma Mínimo, onde há a subtração do mínimo valor digital encontrado em uma banda espectral, sendo útil na redução do efeito atmosférico nas cenas e importante quando se utiliza técnicas de realce por divisão de canais (Chander *et al.*, 2009).

A normalização radiométrica foi efetuada em virtude do cálculo dos índices de vegetação requerer a conversão dos valores digitais para valores físicos, como a radiância e a reflectância (Ponzoni *et al.*, 2015). Assim, houve a calibração das imagens Landsats, onde os valores de reflectância aparente no topo da atmosfera (TOA) foram utilizados para a extração dos índices de NDVIs.

Carvalho & Baptista (2015), ao compararem os efeitos da conversão de radiância para reflectância de superfície, por meio da correção atmosférica,

com a reflectância aparente no topo da atmosfera, observaram através de análises estatísticas que não há diferenças significativas nos resultados gerados para o cálculo do Índice de Vegetação. A variação observada, tanto nas bandas quanto nos espectros, foi de 0 a 6% para diferentes alvos, sendo que a área de estudo concentrou parte do território do Distrito Federal e entorno, mesma região englobada na presente pesquisa. Estudos de Jesus *et al.* (2015) corroboram ao apresentado, sendo que os resultados em imagens Landsat (para o monitoramento de queimadas e de áreas com vegetação), mostraram-se altamente correlacionados quando comparados os efeitos da correção atmosférica por meio da reflectância TOA e de superfície, indicando baixo impacto e similaridade dos valores de acurácia.

Em virtude de índices de vegetação, como o NDVI, realizarem uma diferença normalizada nas imagens, encobrem parcialmente as interferências atmosféricas e minimizam eventuais variações de ângulos solares e de visada dos sensores (Holben, 1986). Dessa forma, em decorrência da normalização realizada no NDVI e de estudos recentes (Carvalho & Baptista, 2015; Jesus *et al.*, 2015) evidenciarem uma variação inexpressiva nos resultados após a transformada da radiância em reflectância de superfície, neste artigo foi adotada a reflectância aparente.

2.2.2 Metodologia – Aplicação do Modelo de Detecção de Mudanças

Na segunda etapa, os seguintes procedimentos foram executados objetivando a aplicação do modelo de detecção de mudanças por NDVI:

Extração dos valores de NDVI da imagem Landsat 5 (TM) de 1984

Extração dos valores de NDVI da imagem Landsat 8 (OLI) de 2017

Subtração das imagens de NDVIs:

$$\text{NDVI}_{\text{Diferença}} = \text{NDVI}_{2017} - \text{NDVI}_{1984}$$

Análise da imagem NDVI_{Diferença}:

Gerar Estatística da NDVI_{Diferença}

Calcular Anomalias

A partir do pré-processamento realizado na 1ª etapa, foi aplicado o modelo de detecção de mudanças por NDVI. Inicialmente, foi gerado o mapa de NDVI para cada uma das imagens de entrada, objetivando verificar os valores dos índices na imagem mais recente e na mais antiga. Na sequência, aplicou-se a operação de subtração de NDVIs nas imagens, objetivando analisar a alteração na cobertura vegetal, ou vigor de biomassa, entre as imagens. Quanto maior o valor na imagem diferença, maior o aumento da representatividade dos elementos fotossinteticamente ativos entre as imagens de 2017 e 1984, ou seja, de incidência de vegetação e conseqüentemente de NDVI. Ainda, quanto maior o valor negativo nas regiões, maior a perda de vegetação. Já as regiões com valores de diferença próximos a zero correspondem às áreas sem a presença significativa de mudanças (Lourenço & Landim, 2004).

Com o objetivo de caracterizar o comportamento das mudanças, foi realizada uma análise exploratória na imagem resultante da subtração do NDVI. Foi gerado o histograma da imagem e realizada análise estatística, tendo como base os valores de mínimo, máximo, média e desvio padrão da imagem diferença. A análise objetivou verificar a oscilação do desvio padrão em torno da média e, conseqüentemente, detectar o percentual de mudanças a partir do limiar definido.

Thiam (1997) mencionou um princípio em que os valores de uma imagem diferença seguem uma distribuição normal em torno da média. Na Figura 4, é demonstrada uma curva de Distribuição Normal, com média (μ) 0 e desvio padrão (σ) de 1. Por meio do σ , é possível controlar o grau de dispersão da distribuição para ambos os lados da curva, ou seja, o grau de mudanças esperado a partir da delimitação dos limiares inferiores e superiores da distribuição a partir da média. Quando se delimita um valor de 2σ em torno de μ , estatisticamente a distribuição englobará em torno de 95% dos dados (Thiam, 1997).

Segundo Sohl (1999), um limiar de 2σ em torno da μ , produz resultados satisfatórios quando aplicados na imagem em que se analisa a diferença de NDVI para detecção de mudanças, em especial na caracterização de áreas de agricultura e floresta.

Neste estudo, adotou-se o limiar de 2σ em torno da μ para a detecção de mudanças. As regiões do histograma da imagem diferença com oscilação inferior à -2σ em torno da μ foram definidas como áreas de

anomalias negativas. Já as oscilações superiores à $+2\sigma$ como anomalias positivas, conforme Figura 4.

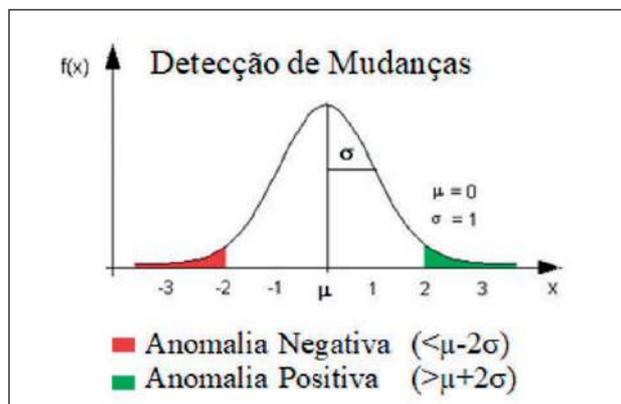


Figura 4 Detecção de Mudanças com Anomalias Negativas e Positivas.

No histograma da imagem diferença de NDVI, o intervalo de $\mu-2\sigma$ até $\mu+2\sigma$ conterá os pixels sem ocorrências significativas de mudanças, conforme o limiar estabelecido de desvio padrão ($\pm 2\sigma$). Fora do intervalo, nas extremidades do histograma, estão os pixels com mudanças significativas durante a evolução temporal entre as imagens, sendo classificados como anomalias negativas e positivas. As anomalias negativas são áreas com provável perda de vegetação, apresentando tonalidades escuras na imagem diferença, próximas às nuances de preto, indicando na cena mais antiga um maior índice positivo de NDVI, em comparação a imagem mais recente. Desse modo, na subtração dos NDVIs, as áreas apresentam valores baixos, indicando a presença de vegetação na cena mais antiga. Já as anomalias positivas são áreas com provável incidência de vegetação, sendo regiões que apresentam tonalidades claras na imagem diferença, próximas da tonalidade branca, indicando que na imagem mais antiga havia um menor índice de NDVI, em comparação a mais recente. Portanto, quando da subtração dos NDVIs, as áreas apresentam valores altos, sugerindo a presença de vegetação na cena mais recente. Como exemplo, podem ser caracterizadas como áreas de regeneração da cobertura vegetal ou de ciclos de práticas agrícolas. Já as regiões entre as anomalias são áreas sem a presença significativa de mudanças, apresentando tonalidades cinza, oscilando entre o preto e branco (Eastman & Fulk, 1993; Ferrari *et al.*, 2011).

2.2.3 Metodologia – Análise dos Resultados

A terceira etapa consistiu na análise dos resultados do modelo de detecção de mudanças por NDVI. As anomalias foram espacializadas, objetivando a análise visual de interpretação e validação, bem como da verificação das regiões de mudanças. Uma região de interesse (ROI) foi definida para cada anomalia: a positiva, a negativa e os valores entre as anomalias. Cada ROI teve por intuito concentrar todos os pixels englobados em cada faixa estabelecida de limiar. Por fim, foi verificado o percentual de mudanças entre a cena de 1984 e de 2017.

3 Resultados e Discussões

Na Figura 5 são apresentados os NDVIs gerados, conforme seção 2.2.2. Figura 5 Imagens Landsat 5 (TM) 1984 e Landsat 8 (OLI) 2017 com os respectivos NDVIs. As letras de “A” até “E” indicam a localização de Brasília e entorno.

As composições coloridas foram aplicadas nas bandas SWIR1 (R), NIR (G) e Verde (B). As letras de “A” até “E” indicam a localização de Brasília e entorno, conforme Figura 2. Pela inspeção visual das composições, é possível notar que na imagem de 2017 há avanço da expansão urbana ao redor de “A”, “D” e “E”, bem como diminuição da vegetação próxima às letras “B” e “C”.

Na Figura 6, em A é apresentada a imagem diferença de NDVI. A operação de subtração foi realizada a partir da cena mais recente. Em B encontra-se o resultado da espacialização dos ROIS, onde na cor vermelho estão discriminadas as anomalias negativas, na verde as anomalias positivas e em branco as regiões sem a presença significativa de mudanças (entre anomalias).

A Figura 7 exibe o resultado da espacialização dos ROIS de anomalias negativa e positiva sobre a imagem diferença de NDVI. As letras elucidam a localização de Brasília e entorno, conforme discriminado na Figura 2. Por meio da imagem, foram extraídos os atributos estatísticos, os quais estão apresentados na Tabela 2. De acordo com os atributos extraídos da imagem diferença, a evolução temporal ao longo de 33 anos (comparando a imagem de 1984 com a de 2017) resultou em uma região de mudanças em torno de 185 km² (6,34%). Destes, cerca de 130

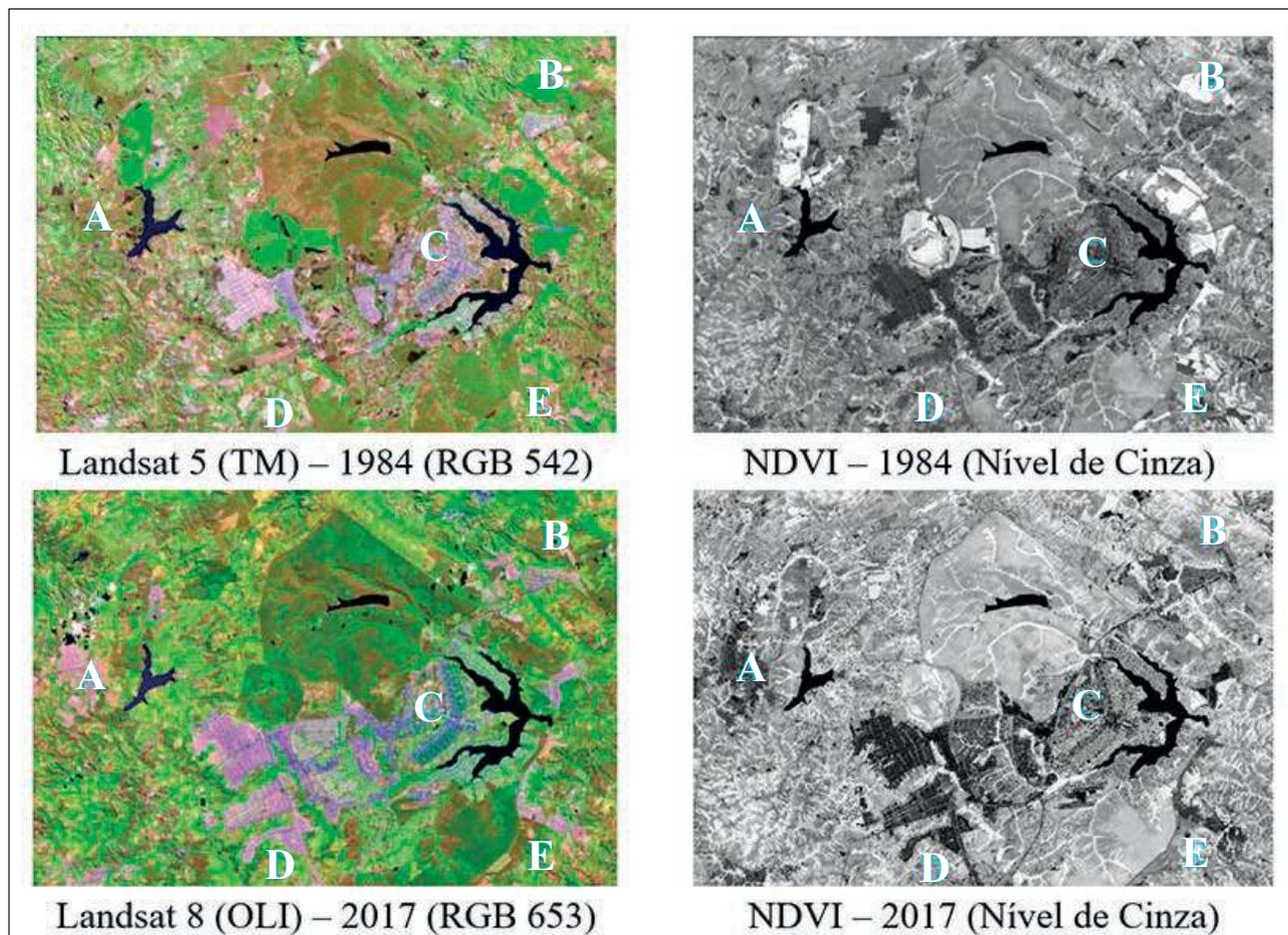


Figura 5 Imagens Landsat 5 (TM) 1984 e Landsat 8 (OLI) 2017 com os respectivos NDVIs. As letras de “A” até “E” indicam a localização de Brasília e entorno.

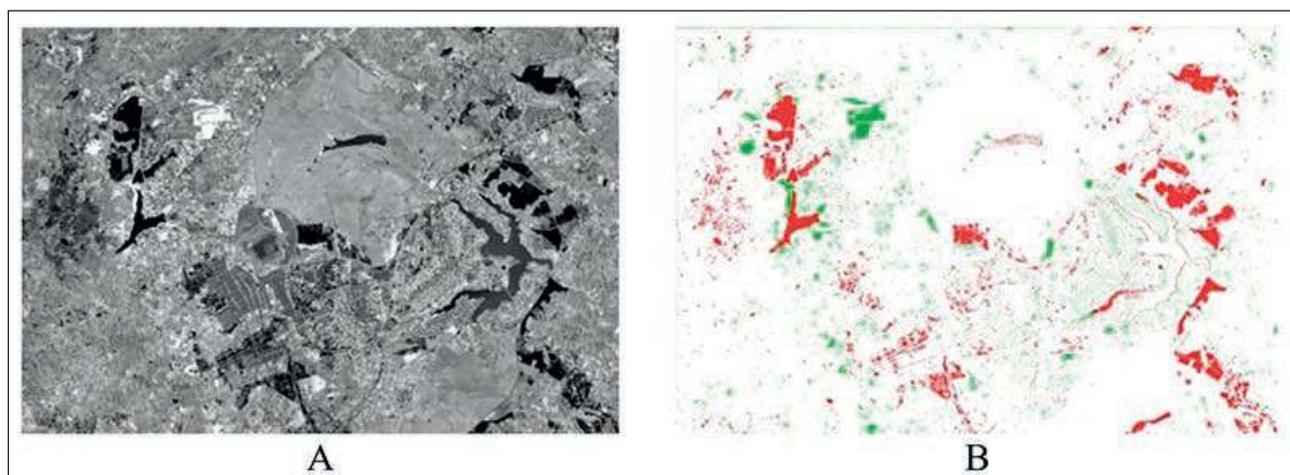


Figura 6 Em A, a imagem resultante da operação de subtração entre as imagens de NDVIs. Em B, a espacialização dos ROIs com as anomalias negativa (vermelho), positiva (verde) e regiões sem mudanças (branco).

km² referem-se às anomalias negativas e 55 km² às anomalias positivas. A imagem de 2017, comparada à de 1984, possui um quantitativo próximo de 2% de anomalia positiva, indicando um possível incremento da vegetação verde, na região do Distrito Federal e entorno. Tal valor é caracterizado pela diferença positiva de NDVIs nas imagens, indicando que na região de estudo há uma área aproximada de 61.000 pixels que em 1984 não eram vegetação e que se tornaram mais tarde, como mostrado na imagem de 2017, indicando possíveis reflorestamentos ou áreas agrícolas. Assim, na imagem de 1984, as áreas que não eram vegetadas apresentaram uma resposta espectral, convertida em NDVI, com tonalidades escuras, próximas ao preto. Em contrapartida, na imagem de 2017, quando as mesmas regiões são analisadas, apresentaram tonalidades claras. Assim, quanto mais próximas da nuance de branco, Figura 6 (a), maior a incidência de NDVI, e conseqüentemente, de vegetação na cena.

Atributo Imagem NDVI	Valores	
Valor Mínimo	-1,26029	
Valor Máximo	1,42863	
Média (μ)	0,11348	
Desvio Padrão (σ)	0,161923	
Total da Cena		(100%)
Quantidade de Pixels	3.246.210	
Área (km ²)	2.921,59	
Anomalia Negativa (< $\mu - 2\sigma$)	-0,210369	(4,46%)
Quantidade de Pixels	144.735	
Área (km ²)	130,26	
Anomalia Positiva (> $\mu + 2\sigma$)	0,437323	(1,88%)
Quantidade de Pixels	61.034	
Área (km ²)	54,93	
Entre Anomalias [$\mu - 2\sigma$; $\mu + 2\sigma$]	[-0,210369; 0,437323]	(93,66%)
Quantidade de Pixels	3.040.441	
Área (km ²)	2.736,40	

Tabela 2 Valores Estatísticos da Imagem Diferença de NDVI.

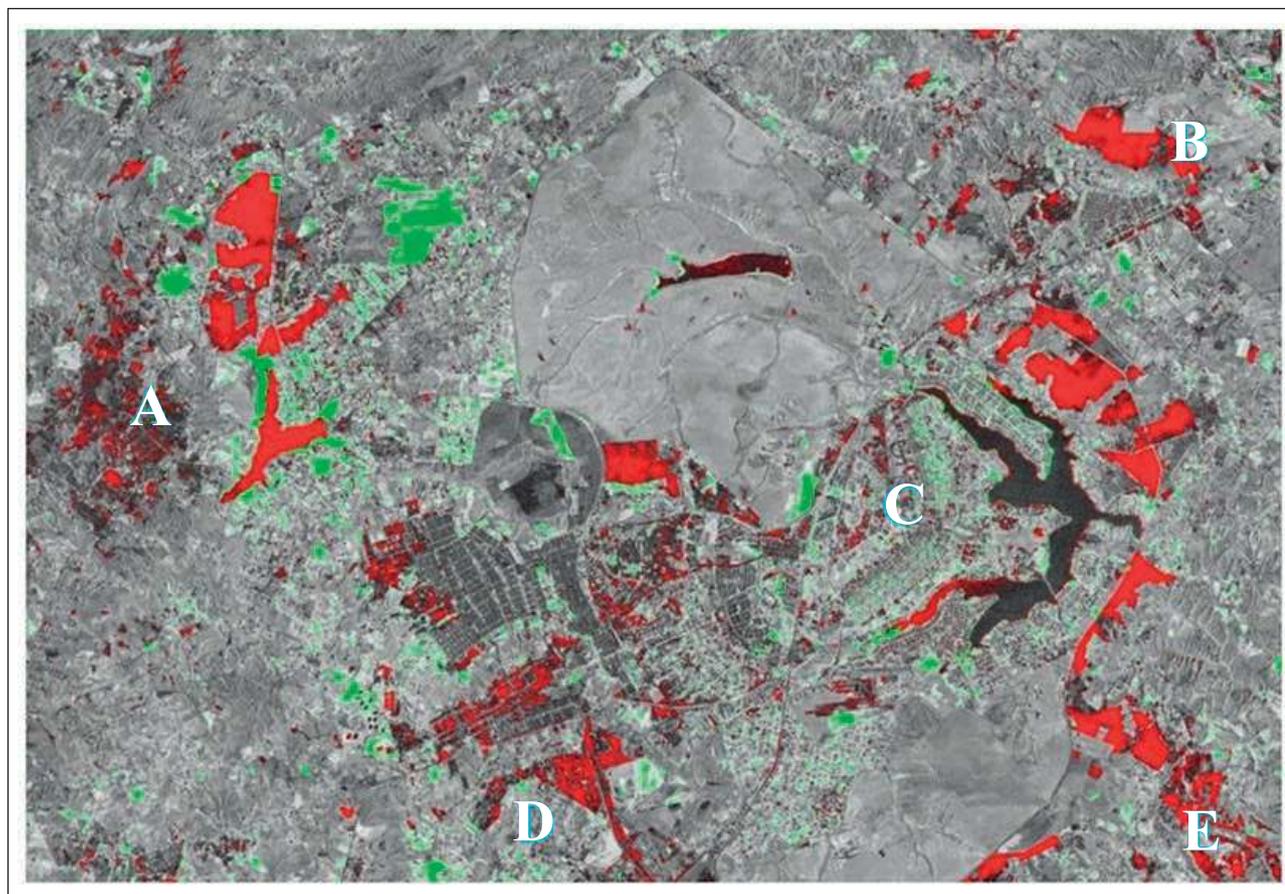


Figura 7 Imagem resultante da operação de subtração de NDVIs: ROIs espacializados com as mudanças de anomalias negativa (vermelho) e positiva (verde). As letras de “A” até “E” indicam a localização de Brasília e entorno.

Em relação à anomalia negativa, a área de estudo possui um decréscimo de vegetação, possivelmente causado pelo processo de desmatamento, próximo de 4,5%. Tal valor é caracterizado pelos valores negativos de NDVIs no resultado da operação de subtração, indicando que na região estudada há uma área de cerca de 145.000 pixels que em 1984 eram vegetação e que em 2017 não eram mais. Como exemplo, podem ser áreas de desmatamento resultante da expansão urbana.

Na Figura 8 é apresentado recorte com anomalias negativas e positivas. O polígono localiza-se entre a latitude 15°36'23.81"S, 15°47'26.99"S e longitude 48°15'2.84"W, 48°5'58.48"W em uma área da RA de Brazlândia, caracterizada pelo expressivo segmento de atividade agrícola, responsável por mais de 23% da produção total do DF (Costa, 2011).

No destaque de número 1, é demonstrada uma área com anomalia positiva com incremento de vegetação entre as imagens de 1984 e 2017, sendo representada na imagem de diferença de NDVI a espacialização da anomalia na coloração verde. Na imagem de 1984, pela resposta espectral do alvo na composição colorida gerada, além do formato dos polígonos, há indícios de que se trata de solo exposto, podendo indicar desmate ou solo preparado para o cultivo. Na imagem de 2017, a resposta espectral do alvo indica a incidência de vegetação, corroborando as imagens de NDVIs geradas para cada uma das datas.

Em virtude das áreas escuras, na cena mais antiga, o alvo possuía valores menores de NDVI em comparação com a imagem mais recente, o que evidencia uma maior presença fotossintética na área.

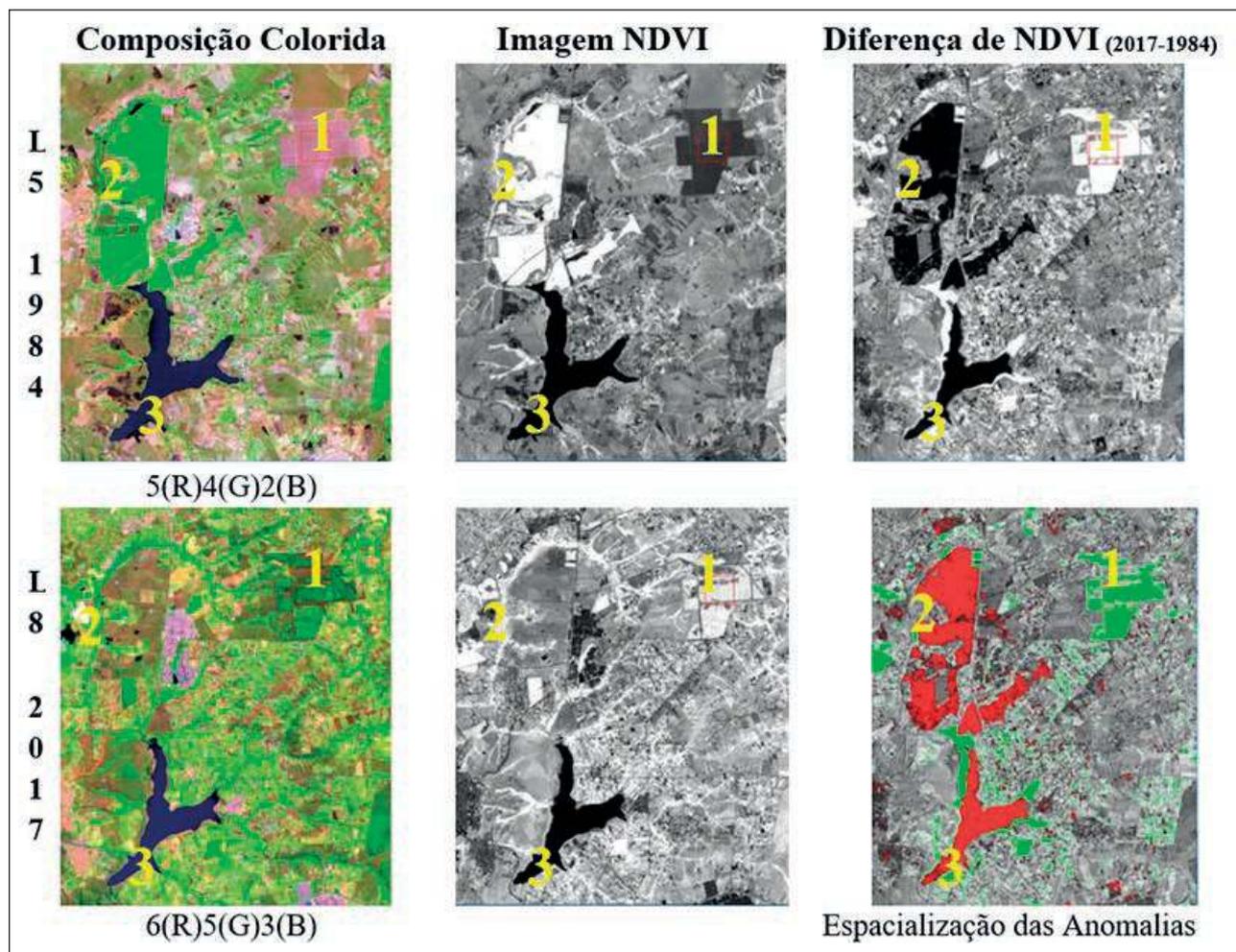


Figura 8 Vista parcial da área de estudo: Imagens Landsat 5 (TM) de 1984 e Landsat 8 (OLI) de 2017, contendo amostras de anomalias negativas (vermelho) e positivas (verde), representadas pelos números de 1 a 3.

Assim, quando da operação de subtração de NDVIs, a anomalia positiva é comprovada, conforme a espacialização do ROI, mostrando, por exemplo, a aplicação do modelo no monitoramento de áreas agricultáveis.

O polígono indicado pela numeração 2 engloba a região de Brazlândia, assim como o polígono 1. No entanto, conglobera uma área com anomalia negativa, conforme a espacialização do ROI na cor vermelha. Logo, indica que na cena de 1984 a região representava uma possível área com cobertura vegetal e consequentemente com forte atividade fotossintética, a qual não existe mais na imagem de 2017 (seja por desmatamento, colheita de área agrícola e/ou expansão urbana, entre outros). Conforme evidenciado na imagem de NDVI da cena mais antiga, a região possuía tonalidade próxima a nuance branco, indicando valores de NDVI próximos de 1, comportamento característico de áreas vegetadas. Porém, na cena mais recente, a tonalidade clara vibrante tornou-se escura, ocorrendo perda de vegetação e valores tendendo aos menores índices de NDVI, confirmando a imagem diferença de NDVI com polígono escuro, indicando a anomalia negativa conforme o limiar definido. Apesar disso, é possível inferir que na imagem de 2017 a terra estava sendo preparada para o plantio, pré-germinação ou pós-colheita, diferente do que ocorreu em 1984, onde outras culturas já poderiam estar em cultivo. Portanto, pela forma dos polígonos, ambas as imagens indicam práticas agrícolas na área de anomalia negativa.

A feição representada pelo número 3 destaca o Lago do Descoberto, localizado no entorno do DF, fazendo limite com o estado de Goiás. Conforme observado nas composições coloridas, a tonalidade escura mostra a resposta espectral da água. A diferença de NDVI expõe um comportamento anormal negativo para a região. Assim, se as características da água do lago fossem mantidas entre as cenas, na imagem diferença os pixels deveriam ter um valor próximo de zero. Como uma anomalia negativa foi observada, podem ter ocorrido mudanças nas características da água, como a presença de algas clorofiladas em 1984 e sua ausência em 2017. Na espacialização da anomalia na imagem de 2017, há um incremento de vegetação ao redor do lago, representado pela cor branca na

imagem de diferença do NDVI, expondo maior atividade fotossintética na borda do lago, comparado ao cenário de 1984.

Para Kuplich *et al.* (2013), por meio do monitoramento de anomalias é possível verificar o padrão sazonal da vegetação e os efeitos de mudanças ambientais e climáticas em séries temporais. No estudo de Leivas *et al.* (2014), foram extraídas anomalias negativas e positivas do Índice de Vegetação Padronizado (IVP) para monitorar o cultivo de soja no Sul do Brasil, onde constatou-se que as áreas com anomalias negativas, com baixo vigor da vegetação, coincidiram com períodos de estiagem na região, impactando negativamente a produtividade do grão. Para Roseback *et al.* (2010), as anomalias obtidas por meio do NDVI, a partir de dados MODIS/TERRA, mostraram-se eficientes na identificação de variações sazonais de diferentes coberturas vegetais, bem como no acompanhamento de períodos secos e chuvosos.

A Figura 9 evidencia um recorte com anomalias negativas nas regiões do Itapoã, Lago Norte e Paranoá. As anomalias encontram-se próximas às latitudes 15°44'10.02"S, 15°48'14.87"S e longitudes 47°49'12.55"W, 47°44'4.64"W – sendo representados pelos números 1, 2 e 3. Comparando as duas imagens, a região que antes tinha vegetação e nuances claras de NDVI, apresenta um expressivo processo de urbanização, baseado nas formas urbanas retratadas na cena de 2017. Este fato se reflete na diferença de imagem, onde a vegetação com nuances claras foi substituída por tonalidades escuras, devido à perda de atividade fotossintética causada pelo processo de expansão urbana, demonstrado pelos loteamentos na cena de 2017.

4 Conclusões

O modelo aplicado de NDVI mostrou-se uma alternativa eficiente no monitoramento da evolução temporal de mudanças na região do Distrito Federal e entorno, ao longo de 33 anos. A validação visual das cenas permitiu caracterizar e comprovar a veracidade das anomalias, mediante o limiar proposto. O modelo de NDVI apresentou-se como um indicador de forte tendência para o monitoramento, não somente para a caracterização da vegetação, como também para o

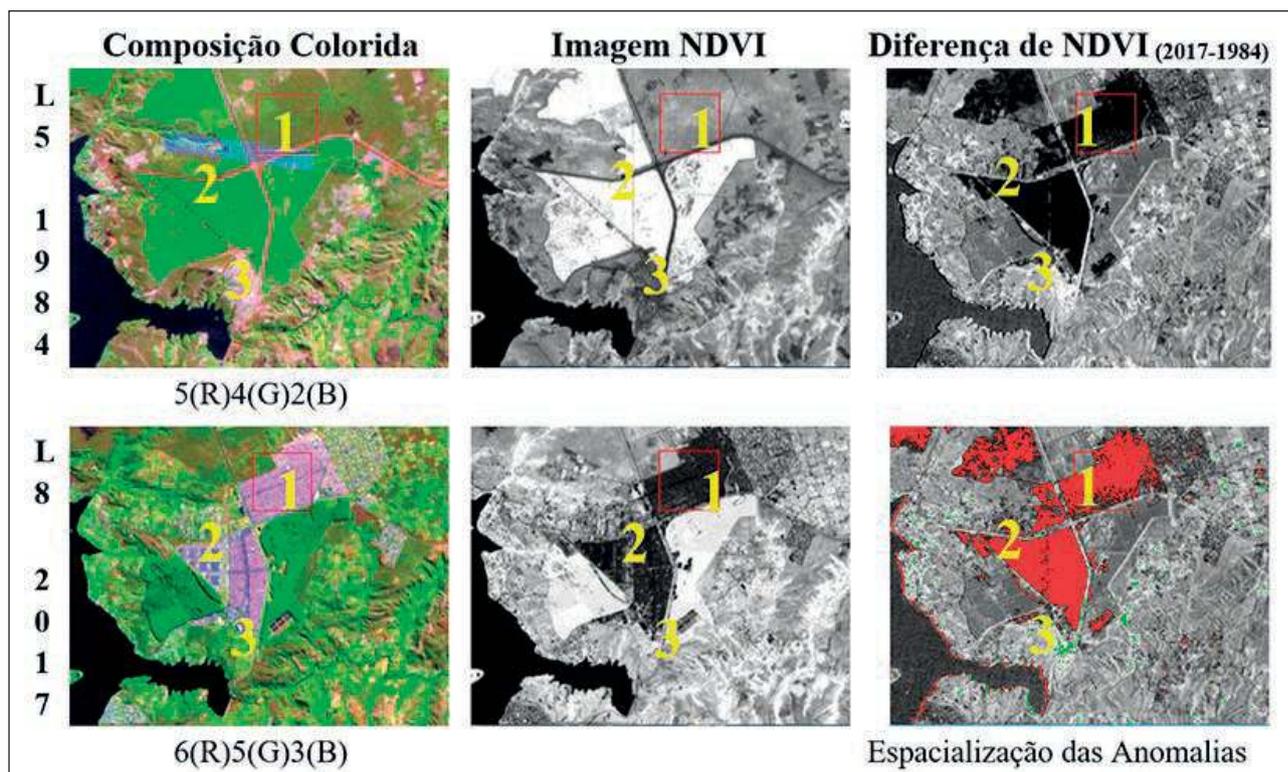


Figura 9 Vista parcial da área de estudo: Imagens Landsat 5 (TM) de 1984, Landsat 8 (OLI) de 2017, contendo amostras de anomalias negativas (vermelho), representadas pelos números de 1 a 3.

acompanhamento da expansão urbana e de regiões com maiores incidências de desmate ao longo dos anos. Para trabalhos futuros sugere-se a criação de uma ferramenta que possibilite o disparo automatizado de alertas mediante um percentual delimitado de detecção de pixels de mudanças, ou seja, de anomalias negativas e positivas. Assim, a ferramenta poderia ser utilizada, como exemplo, por órgãos fiscalizadores, desde para o monitoramento do crescimento vegetativo de culturas (do pré-plantio, ciclo vegetativo inicial, pleno, de maturação e colheita) até o acompanhamento de áreas de expansão urbana e de preservação ambiental, utilizando o modelo de diferenças de NDVIs para monitoramento e controle.

5 Referências

- Bezerra, M.V.C.; Silva, B.B. & Bezerra, B.G. 2011. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7):709-717. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.
- Cakir, H.I.; Khorram, S. & Nelson, S. 2006. Correspondence analysis for detecting land cover change. *Remote Sensing of Environment*. New York, NY: Elsevier, 102(3):306-317.
- Carlson, T.N. & Ripley, D.A. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3):241-252.
- Carvalho, A.A.; Baptista, G.M.M. 2015. Influência da Correção Atmosférica na Conversão dos Dados de Radiação para Reflectância para o Cálculo do EVI em Imagem Rápida. *Revista Brasileira de Cartografia*. 67(7):1371-1390.
- Chander, G.; Markham, B.L. & Helder, D.L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 OLI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5):893-903.
- Copping, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B. & Lambin, E. 2004. Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9):1565-1596.
- Costa, G.G. 2011. *As regiões administrativas do Distrito Federal de 1960 a 2011*. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 165 p.
- D'Alge, J.C.L. 2001. *Cartografia para Geoprocessamento. Introdução à ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, INPE, 32 p.
- Eastman, J. & Fulk, M. 1993. Long sequence time series evaluation using standardized principal component. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59(6):991-996.

- Ferrari, J.L.; Santos, A.R. & Garcia, R.F. 2011. Análise da Vegetação por Meio da Subtração de Imagem NDVI na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego do Horizonte, Alegre, ES. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, 8(3):3-18.
- GDF. GOVERNO DE BRASILIA. 2015. *Geografia. Localização*. Disponível em: <www.df.gov.br/index.php/2015/10/21/333/>. Acesso em: 11 jan. 2018.
- Gonzalez, R.C.; Woods, R.E. 2000. *Processamento de imagens digitais*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 509 p.
- Graça, P.M.L.A. 2004. *Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças*. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, Tese de Doutorado, 275 p.
- Green, K.; Kempla, D. & Lackey, L. 1994. Using remote sensing to detect and monitor landcover and land use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(3):331-337.
- Hall, O. & Hay, G.J. 2003. A Multiscale Object specific Approach to Digital Change Detection. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(4):311-327.
- Holben, B. 1986. Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11):1417-1434.
- Huan, C.; Townshend, J.R.; Zhan, X.; Hansen, M.; DeFries, R. & Sohlberg, R. 2000. Detecting Land Cover Changes Based on Their Trajectories in the Spectral Space. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS), Honolulu, 2000, IEEE, *Proceedings*, 5:1984-1986.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Censo Demográfico 2010.
- Jensen, J.R. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos, Parêntese, 604 p.
- Jesus, S.C.; Setzer, A.; Morelli, F.; Cândido, P.A.; Melchiori, A.E. 2015. Efeito da correção atmosférica na classificação de índices espectrais para o mapeamento de áreas queimadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa, Brasil. *Anais*, João Pessoa, INPE, p. 368-375.
- Kazmierczak, M.L. 1998. Desenvolvimento algoritmo para Modelar a Susceptibilidade de Desertificação no Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos, Brasil. *Anais*, Santos, INPE, p. 133-143.
- Kuplich, T.M.; Moreira, A. & Fontana, D.C. 2013. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(10):1116-1123.
- Leivas, J.F.; Andrade, R.G.; Victoria, D.C.; Torresan, F.H.; Vicente, L.E.; Teixeira, A.H.C.; Bolfe, E.L. & Barros, T.R. 2014. Avaliação do Índice de Vegetação Padronizado no Monitoramento Indicativo de Estiagens em Períodos Críticos da Soja no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 66(5):1145-1155.
- Lourenço, R.W. & Landim, P.M.B. 2004. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normatizada “NDVI” utilizando krigagem indicativa. *HOLOS Environment*, 4(1):38-55.
- Lu, D.; Mausel, P.; Brodizio, E. & Moran, E. 2004. Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12):2365-2407.
- Medeiros, J.S. 1987. *Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS/Landsat*. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, Dissertação de Mestrado, 81 p.
- Novo, E.L.M. 1989. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. Edgar Blucher, SP.
- Ortiz, B & Shaw, J.N. 2011. *Basics of Crop Sensing*. Alabama Cooperative Extension System. Alabama A&M and Auburn Universities, Alabama, USA, 6 p.
- Pettorelli, N.; Vik, J.O.; Mysterud, A.; Gaillard, J.M.; Tucker, C.J. & Stenseth, N.C. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9):503-510.
- Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. & Kuplich, T.M. 2015. *Sensoriamento Remoto da Vegetação*. São Paulo, Oficina de Textos, 164 p.
- Rodrigues, J.O.; Andrade, E.M.; Chaves, L. & Arraes, F. 2009. Avaliação da dinâmica da cobertura vegetal na bacia Forquilha, Ceará, Brasil pelo uso do NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal, Brasil. *Anais*, Natal, INPE, p. 6125-6132.
- Rosemback, R.; Ferreira, N.J.; Shimabukuro, Y.E. & Conforte, J.C. 2010. Análise da Dinâmica da Cobertura Vegetal na Região Sul do Brasil a partir de Dados MODIS/TERRA. *Revista Brasileira de Cartografia*, 62(2):401-416.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. & Harlan, J.C. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. *Greenbelt: NASA*, 1974. 371 p.
- Rymasheuskaya, M. 2007. Land Cover Change Detection in Northern Belarus. *Proceeding of Scan GIS*, p. 255-260.
- Shimabukuro, Y.E. 1998. Índice de Vegetação e Modelo Linear de Mistura Espectral no Monitoramento da região do Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, p.1729-1737.
- Silva, E. 2004. *Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, Dissertação de Mestrado, 146 p.
- Sohl, T. 1999. Change Analysis in the United Arab Emirates: an investigation of techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65:475-484.
- Teotia, H.S.; Silva, I.F.; Santos, J.R.; Veloso Jr, J.F. & Gonçalves, J.L.G. 2003. Classificação da cobertura vegetal e capacidade de uso da terra na região do Cariri Velho, através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte, Brasil. *Anais*, Belo Horizonte, INPE, p. 1969-1976.
- Tewkesbury, A.P.; Comber, A.J.; Tate, N.J.; Lamb, A. & Fisher, P.F. 2015. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. *Remote Sensing of Environment*, 160:1-14.
- Thiam, A.K. 1997. *Geographic Information Systems and Remote Sensing Methods for Assessing and Monitoring Land Degradation in the Sahel Region: The case of South Mauritania*, Department of Geography, Clark University, Massachusetts, USA. Ph.D. Thesis.
- USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2013. *Landsat Project Description*. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php>. Acesso em: 02 fev. 2018.