



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA

**CLASSIFICAÇÃO POR MÍNIMA DISTÂNCIA EUCLIDIANA
DE SÉRIES TEMPORAIS NDVI – MODIS PARA
RECONHECIMENTO DE PADRÕES VEGETACIONAIS E DE
USO NA MESORREGIÃO SUL MARANHENSE**

Elaine Nisa da Rosa

Orientador: Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Brasília
2015

Elaine Nisa da Rosa

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA

**CLASSIFICAÇÃO POR MÍNIMA DISTÂNCIA EUCLIDIANA
DE SÉRIES TEMPORAIS NDVI – MODIS PARA
RECONHECIMENTO DE PADRÕES VEGETACIONAIS E DE
USO NA MESORREGIÃO SUL MARANHENSE**

Monografia apresentada ao
Departamento de Geografia da
Universidade de Brasília - UnB, como
parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Brasília
2015

Elaine Nisa da Rosa

**CLASSIFICAÇÃO POR MÍNIMA DISTÂNCIA EUCLIDIANA
DE SÉRIES TEMPORAIS NDVI – MODIS PARA
RECONHECIMENTO DE PADRÕES VEGETACIONAIS E DE
USO NA MESORREGIÃO SUL MARANHENSE**

Monografia apresentada ao
Departamento de Geografia da
Universidade de Brasília - UnB, como
parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Geografia.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior (UnB)
(orientador)

Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães (UnB)
(examinador)

Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes (UnB)
(examinador)

Brasília
2015

RESUMO

O uso de séries temporais de imagens de satélite é uma técnica promissora para o monitoramento ambiental do bioma Cerrado, que sofre intensa modificação da sua paisagem natural pela expansão de atividades do setor primário e secundário da economia no Brasil. O lançamento de plataformas que disponibilizam produtos gratuitamente subsidia muitos estudos referentes à detecção de mudança das fitofisionomias deste bioma. Neste propósito, o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo dos satélites TERRA e AQUA, é um instrumento promissor, fornecendo produtos da superfície terrestre, oceano e atmosfera, com boa resolução espectral, espacial e temporal. O presente trabalho tem o objetivo de identificar as assinaturas temporais das fitofisionomias do bioma Cerrado e áreas antropizadas localizadas na Mesorregião Sul Maranhense e classificá-las pelo método de Mínima Distância Euclidiana, após a elaboração da biblioteca de *endmembers* das imagens NDVI-MODIS, possibilitada pela análise exploratória do classificador ISODATA, o qual foi comparado com as delimitações vegetacionais e antrópicas dos dados vetoriais fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para a realização de tal objetivo, foi elaborada uma metodologia para tratamento dos ruídos, encontrados nas séries temporais das bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, no período entre o ano 2000 e 2012, do produto de reflectância da superfície (MOD09Q1). Elas foram filtradas pelo método da mediana, para a eliminação de valores aberrantes, e os ruídos que persistiram foram minimizados pela transformação MNF. Tal procedimento se mostrou eficaz para suavização dos espectros viabilizando um bom resultado para a modificação do produto MOD09Q1 em índice de vegetação. O ISODATA, que gerou 7 classes, possibilitou a identificação das fitofisionomias, áreas antropizadas e a água, na imagem NDVI para a classificação por Mínima Distância Euclidiana. Esta última conseguiu delimitar mais precisamente os alvos. Com resultados satisfatórios, a mínima distância mostra ser um bom método para mapeamentos regionais.

Palavras-Chave: MODIS, NDVI, assinaturas temporais, ISODATA, Mínima Distância Euclidiana, Mesorregião Sul Maranhense.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
1. INTRODUÇÃO	8
2. ÁREA DE ESTUDO	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. SENSOR MODIS.....	14
3.2. CUBO 3D.....	16
3.3. TRATAMENTO DE RUÍDO.....	17
3.3.1. Filtro da Mediana.....	17
3.3.2. Transformação MNF.....	18
3.4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA.....	19
3.5. CLASSIFICAÇÃO.....	20
4. RESULTADOS	22
4.1. RESULTADO DO TRATAMENTO DO RUÍDO.....	22
4.2. RESULTADO DO CÁLCULO DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI.....	26
4.3. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO.....	29
5. CONCLUSÃO	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização	10
Figura 2. Mapa das fitofisionomias do bioma Cerrado na Mesorregião Sul Maranhense	12
Figura 3. Visualização da série temporal em cubo 3D.....	17
Figura 4. Ruído por falha de varredura do sensor	18
Figura 5. Resultado do primeiro passo do filtro de mediana (linha vermelha) em comparação com o espectro da imagem original (linha azul).....	22
Figura 6. Resultado do segundo passo da filtragem por mediana (linha vermelha) em comparação com o espectro da imagem original (linha azul).	22
Figura 7. Resultado das imagens após a filtragem por mediana – (A) imagem bruta banda 1; (B) processamento 1 da banda 1; (C) processamento 2 da banda 1; (D) imagem bruta banda 2; (E) processamento 1 da banda 2; (F) processamento 2 da banda 2.	23
Figura 8. Gráfico de altos valores (banda 2)	24
Figura 9. Produtos MNF (banda2) – (A) imagem 1; (B) imagem 10; (C) imagem 119.	24
Figura 10. Perfil espectral da mediana (passo 2) (linha verde) e do MNF inverso para banda 2 (linha roxa)	25
Figura 11. Perfil espectral da mediana (passo 2) (linha azul) e do MNF inverso para banda 1 (linha vermelha).....	25
Figura 12. Imagem da componente 283 do MNF inverso (banda 1).....	25
Figura 13. Imagem NDVI	26
Figura 14. Perfis espectrais dos alvos no produto NDVI	27
Figura 15. Detecção de mudança por queima da vegetação – (A) imagem do dia 7 de Janeiro de 2001; (B) imagem do dia 29 de Agosto de 2010	28
Figura 16. Detecção de mudança por influência antrópica – (A) imagem do dia 22 de Abril de 2000; (B) imagem do dia 20 de Julho de 2009.....	29
Figura 17. Composição colorida do MNF banda 1.	30
Figura 18. Resultado da Classificação – (A) Mínima Distância Euclidiana; (B) ISODATA.	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Caracterização das bandas 1 a 19 do Sensor MODI	15
TABELA 2 – Caracterização das bandas de 20 a 36 do sensor MODIS.....	15

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento em longo prazo busca detectar mudanças sofridas por um objeto para compreender as variações ocorridas em um período de tempo (SINGH, 1989), e observação contínua e sistematicamente, constituindo um procedimento de controle e avaliação. O monitoramento orbital subsidia o Estado no planejamento, controle, recuperação, preservação e conservação dos recursos naturais, principalmente em amplas regiões com pouca fiscalização.

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil¹, ocupa 2.036.448 km² da área total, cerca de 22% do território. Abrange os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos enclaves do Amapá, Roraima e Amazonas (CARVALHO, 2005). Ele é conhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11,627 espécies de plantas nativas. Pela sua complexidade e extensão engloba um mosaico de vegetação, verticalmente estruturada por espécies herbáceas, arbustivas e arborescentes (SAMPAIO, 2007), apresentando fisionomias florestais, savânicas e campestres. Mesmo sendo um bioma de grande importância biológica é o que possui menos áreas protegidas (8,21% da área total) (GANEM; DRUMMOND; FRANCO, 2008), dando espaço para expansão da fronteira agrícola.

Espectros da vegetação do Cerrado apresentam grandes variações entre os períodos de seca e chuva, tanto em nível biofísico como bioquímico (ASNER, 1998; CARVALHO, 2005). O comportamento temporal dos Índices de Vegetação fornece informações sobre as características fenológicas das plantas, como a variação do dossel da vegetação, presença de pigmentos, entre outros (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2008; CARVALHO JÚNIOR; HERMUCHE; GUIMARÃES, 2006).

O sensor MODIS, acoplado aos satélites TERRA e AQUA, oferece dados com alta resolução espectral, com 36 bandas referentes a um intervalo no espectro eletromagnético, resolução espacial em que as cenas possuem resolução que vão de 250 a 1000 m, e temporal, de 1 a 16 dias. Tais características fornecem dados para estudos dos ecossistemas. O produto MOD09Q1 é constituído dos dados de reflectância espectral da superfície terrestre, com intervalo temporal de 8 dias. Ele pode ser transformado em índice de vegetação, NDVI, que é formado pela divisão entre a banda 1 (faixa espectral do vermelho), e 2 (faixa espectral do

¹ O primeiro é o Amazônico.

infravermelho próximo). Ele ressalta a vegetação, indicando se ela pode ou não ser fotossinteticamente ativa.

O presente trabalho tem o objetivo de identificar as assinaturas temporais NDVI-MODIS das fitofisionomias do bioma Cerrado e áreas antropizadas, e gerar um mapa de uso e cobertura da terra na mesorregião sul maranhense utilizando o método de Mínima Distância Euclidiana

2. ÁREA DE ESTUDO

A mesorregião sul maranhense localiza-se entre os paralelos $6^{\circ}02'25''$ e $10^{\circ}26'45''$ de latitude sul e os meridianos $44^{\circ}11'25''$ e $47^{\circ}50'00''$ de longitude oeste. Esta região possui 227.932 habitantes e uma área de 67.899,8 km². É formada pelas microrregiões Chapadas das Mangabeiras, Gerais de Balsas, e Porto Franco. Contém 19 municípios e é limitada geograficamente pelos estados de Tocantins (sudoeste) e Piauí (sudeste) (Figura 1).

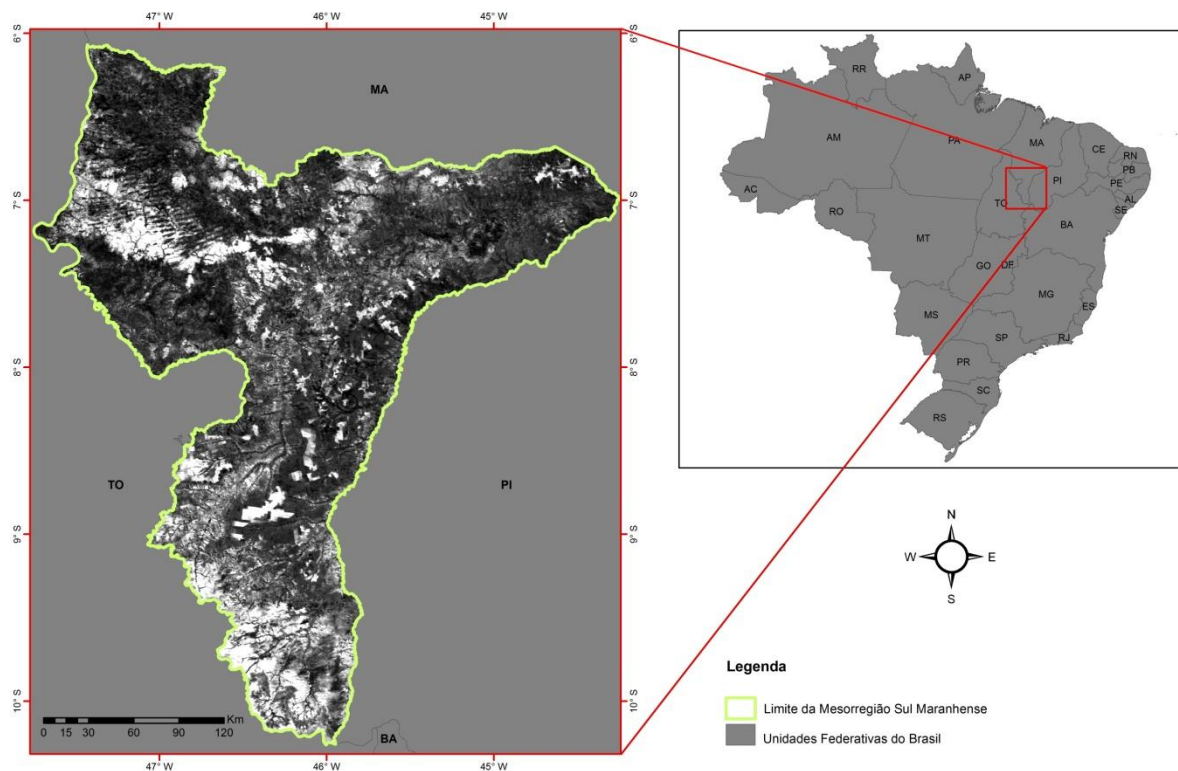


Figura 1. Mapa de Localização

As formas de relevo suave são predominantes na região. As unidades geomorfológicas se encontram em bacias e coberturas sedimentares Fanerozóicas. Possui estrutura geomorfológica ao norte das Chapadas e Planos do rio Farinha, Tabuleiros de Balsas e Depressão do Médio Tocantins. Na região mais central os Chapadões do Alto Parnaíba e Vão da Bacia do Parnaíba. E na porção sul as Cabeceiras do Parnaíba, Patamares da Chapada das Mangabeiras e Chapa das Mangabeiras (IBGE, 2011).

A região sofre influência do clima subúmido e semi-árido (mais ao leste) (classificação de Thornthwaite), pois se localiza na porção mais central do país. Sofre influência da massa equatorial continental (MEC), massa tropical atlântica (MTA), tropical continental (MTC) e massa polar atlântica (MPA) (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Tem o verão quente e úmido (de outubro a maio) e inverno quente e seco (entre os

meses de junho a setembro), na porção subúmida, e na semiárida tem por característica a escassez de água na maior parte do ano. A média anual de temperatura varia entre 22°C e 29°C (MARANHÃO, 2011).

O sul maranhense possui vegetação típica do bioma Cerrado. A figura 2 demonstra o mapa de vegetação elaborado a partir de dados de vegetação da Amazônia Legal, pois dentro do estado do Maranhão ela equivale a 80% do território, uma área de 264 mil Km² (MARANHÃO, 2011), em formato *shapefile* disponibilizados gratuitamente² pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os dados da região de interesse foram recortados e convertidos de Datum SAD 69 para WGS 84. As classes estão de acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1992), sendo composto por: Savana Florestada (Sd), Savana Arborizada (Sa), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Savana Parque (Sp) e Áreas Antrópicas (AA).

A Savana Florestada (Cerradão) é uma formação florestal constituída por espécies de plantas lenhosas de baixo e pequeno porte, bem tortuosas, que possuem ritidoma cortiçoso, ou seja, a parte mais velha do tronco da árvore que se destaca em forma de casca rígida (IBGE, 1992). A maioria delas são perenifólias, com algumas árvores que perdem suas folhas em períodos de estiagem. Elas possuem a capacidade de captar água em maior profundidade, devido às características climáticas do ambiente, com poucos nutrientes na estação seca (plantas xeromorfas). Além disto, a estrutura arbórea forma dossel contínuo. Exibindo, também, estratos arbustivos e herbáceos (RIBEIRO; WALTER, 1998).

A Savana Arborizada (Campo Cerrado) possui uma fisionomia de vegetação rala, com árvores raquíticas e retorcidas, de troncos com ritidoma cortiçoso. Há presença de subarbustos esparsos e estrato herbáceo-graminoso (IBGE, 1992). Esta fitofisionomia sofre forte influência das queimadas naturais típicas de ambientes que possuem estação seca severa.

A formação campestre está representada pela Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa, que corresponde em Ribeiro e Walter (1998) ao Campo Sujo e Limpo, respectivamente. A primeira possui uma predominância do estrato herbáceo-arbustivo, entremado por árvores lenhosas de porte pequeno. Já a segunda não apresenta árvores e as áreas são ocupadas por estratos graminosos e herbáceos (IBGE, 1992). Elas também estão sujeitas a queimadas.

² Através do link: http://www.dpi.inpe.br/amb_data/Shapefiles/veg_Amz_SIPAM.zip

São encontradas também as Matas de Galeria caracterizadas por acompanharem cursos de água, onde a vegetação forma um corredor fechado sobre eles, formando um dossel contínuo e homogêneo. As espécies lenhosas situadas nesta fitofisionomia não perdem suas folhas na época de estiagem (RIBEIRO; WALTER, 1998).

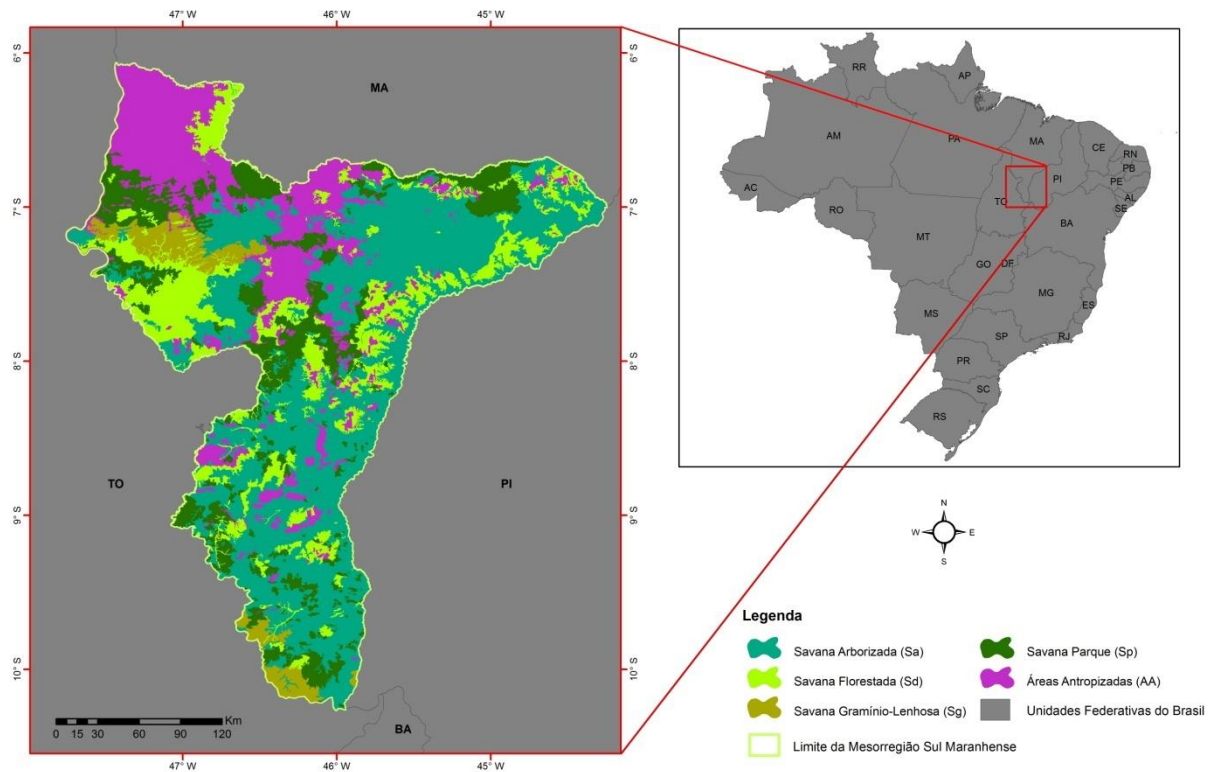


Figura 2. Mapa das fitofisionomias do bioma Cerrado na Mesorregião Sul Maranhense

Possui ocorrência dos solos: Latossolo Amarelo (em área de relevo pouco ondulado), Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos, Podzólico Vermelho Amarelo Concrecionário, e nas altitudes menores encontram-se o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, Terra Roxa estruturada e solos Litólicos (UEMA, 2011).

Estudos recentes revelam a expansão da fronteira agrícola no sul do Maranhão ligada, principalmente, às atividades de cultivo de soja e arroz, da pecuária, e outras atividades, como extrativismo vegetal e mineração (IBGE, 1997). A transformação da vegetação, em maior parte, está ligada às atividades ilícitas, comprometendo o bioma Cerrado na área de estudo. O programa de Monitoramento dos biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), que cobre 216 mil km² do Cerrado apresenta que até 2009, 30% da área monitorada de paisagem natural foi desmatada (MARANHÃO, 2011). Entre os anos de 2008 e 2009 os municípios de Balsas (área de 13.144 km²) e Riachão (6.370km²), integrantes da mesorregião ficaram entre os 20 municípios do Brasil que mais desmataram o Cerrado. O primeiro devastou uma área de 92,92

km² de vegetação natural do seu território (0,71%), e o segundo cerca de 58,62 km² do bioma (0,92%) da sua área (MMA, 2011). Comprovando a importância do monitoramento ambiental para subsidiar medidas de planejamento, controle, recuperação, preservação e conservação, auxiliando os órgãos responsáveis na definição de políticas ambientais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O processamento computacional será iniciado a partir da aquisição das imagens do produto MOD09Q1 do MODIS para a montagem das séries temporais das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, que serão tratadas para efeitos de ruídos através da filtragem por mediana e transformação MNF. Após esta etapa, será calculado o índice de vegetação NDVI. Por fim, será feita uma análise exploratória utilizando o ISODATA para então aplicar a classificação por Mínima Distância Euclidiana.

3.1. SENSOR MODIS

Para entender a dinâmica das mudanças climáticas e ambientais na Terra, assim como seus impactos, o programa da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) ESE (*Earth Science Enterprises*) financia o projeto EOS (*Earth Observing System*), que lançou em dezembro de 1999 o satélite TERRA (com início de coleta de dados em fevereiro de 2000), e em maio de 2002 o satélite AQUA. Ambos possuem o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Este sensor oferece produtos para estudos científicos de análise temporais como: atividade vulcânica, expansão urbana, produção agrícola, desmatamento, entre outros (JUSTICE *et al.*, 2002). Ele apresenta ampla cobertura espacial e espectral (BARKER *et al.*, 1992) e tem alta sensibilidade radiométrica, fornecendo boa resposta para cada banda (STRAHLER *et al.*, 1996).

O sensor MODIS possui 36 bandas (tabelas 1 e 2) (LATORRE *et al.* 2003). As 19 primeiras componentes (405 nm a 2155 nm)³ contêm o intervalo de 1-7 bandas para estudos terrestres, 8-16 para análises oceânicas e 17-19 para mediações atmosféricas. A porção termal situa-se no intervalo de bandas 20-36⁴ (3660nm a 14385nm).

As componentes do MODIS relativas aos estudos da superfície terrestre possuem resolução espacial de 250 metros, uma no intervalo espectral do vermelho (banda 1) e a outra no infravermelho próximo (banda 2) e de 500 metros – no intervalo do azul (banda 3), verde (banda 4)⁵, infravermelho de ondas curtas (banda 5), banda 6 e 7. Sua variação temporal é entre 1 a 16 (JUSTICE *et al.*, 1998) dias possibilitando uma enorme quantidade de recortes para um determinado intervalo de tempo.

³ Posição na região do espectro eletromagnético.

⁴ Com exceção da banda 26 (1360-1390 nm).

⁵ As bandas 1, 3 e 4 dizem respeito à região do visível no espectro eletromagnético.

TABELA 1 – Caracterização das bandas 1 a 19 do Sensor MODIS

Uso Primário	Banda	Larg. de Banda (nm)	Rad. Espectral	Resol. Espacial	SNR ⁽³⁾
Superfície terrestre/nuvem	1	620-670	21,8	250	128
				1000	
				1000	
				1000	
	2	841-875	24,7	250	201
				1000	
Propriedades da superfície /nuvem	3	459-479	35,3	500	243
	4	545-565	29	500	228
	5	1230-1250	5,4	500	74
	6	1628-1652	7,3	500	275
	7	2105-2155	1	500	110
Cor dos Oceanos/Fitoplâncton/Bioquímica	8	405-420	44,9	1000	880
	9	438-448	41,9	1000	838
	10	483-493	32,1	1000	802
	11	526-536	27,9	1000	754
	12	546-556	21	1000	750
	13	662-672	9,5	1000	910
	14	673-683	8,7	1000	1087
	15	743-753	10,2	1000	586
Vapor d'água Atmosférico	16	862-877	6,2	1000	516
	17	890-920	10	1000	167
	18	931-941	3,6	1000	57
	19	915-965	15	1000	250

Fonte: Latorre et al.(2003)

TABELA 2 – Caracterização das bandas de 20 a 36 do sensor MODIS

Uso Primário	Banda	Larg. de Banda(nm)	Rad. Espectral	Resol. Espacial	NEΔT ⁽⁴⁾
Temperatura nuvens/superfície	20	3660-3840	0,45	1000	0,05
	21	3929-3989	2,38	1000	2
	22	3929-3989	0,67	1000	0,07
	23	4020-4080	0,79	1000	0,07
Temperatura Atmosférica	24	4433-4498	0,17	1000	0,25
	25	4482-4549	0,59	1000	0,25
Cirrus	26	1360-1390	6	1000	150 ⁽⁵⁾
Vapor d' água	27	6535-6895	1,16	1000	0,25
	28	7175-7475	2,18	1000	0,25
	29	8400-8700	9,58	1000	0,05
Ozônio	30	9580-9880	3,69	1000	0,25
Temperatura nuvens/superfície	31	10780-11280	9,55	1000	0,05
	32	11770-12270	8,94	1000	0,05
Altitude Topo da nuvem	33	13185-13485	4,52	1000	0,25
	34	13485-13785	3,76	1000	0,25
	35	13785-14085	3,11	1000	0,25
	36	14085-14385	2,08	1000	0,35

Fonte: Latorre et al.(2003)

As imagens MODIS, do satélite TERRA, foram adquiridas no site da NASA⁶, estando georreferenciadas e corrigidas dos efeitos atmosféricos - nuvens, aerossóis, entre outros (TELLES *et al.*, 1995). Os dados estão armazenados no formato HDF (*Hierarchy Data Format*) com projeção cartográfica Sinusoidal.

O presente trabalho utilizou o produto da reflectância de superfície MOD09Q1, no período 2000-2012. As imagens são composições de oito dias, com o propósito de diminuir a ocorrência de ruídos nas cenas. O primeiro ano possui 40 imagens, diferente dos demais com 46, pois a coleta de imagens do sensor MODIS se inicia a partir do dia 49 do ano 2000, no calendário Juliano. Totalizando 1184 componentes⁷ com resolução de 250 metros e comprimentos de onda centrados em 648 nm (banda 1) e 858 nm (banda 2).

Como as bandas empregadas correspondem ao intervalo no espectro eletromagnético do vermelho e do infravermelho próximo, e o produto escolhido ser um *input* para geração de vários outros, podemos, assim, calcular o índice de vegetação NDVI (SAMPAIO, 2007), muito utilizado para análise espectral da cobertura vegetal (MENESES; NETTO, 2011).

3.2. CUBO 3D

As imagens foram convertidas da projeção sinusoidal para o sistema de projeção geográfica, e do formato dos dados HDF (*Hierarchy Data Format*) para o GEOTIFF. As imagens de cada banda foram empilhadas formando dois cubos temporais, obtendo-se curvas temporais dispostas em sequências de dias Julianos de cada ano (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2008). A Figura 3 demonstra a representação do cubo em três dimensões, onde os eixos “x” e “y” são as coordenadas geográficas, e o eixo “z” a curva temporal dos alvos.

A área de estudo abarcava duas cenas (*tiles* h13v09 e h13v10) que foram mosaicadas. Por fim, realizou-se o recorte espacial da área de estudo (Figura 1).

⁶ <http://reverb.echo.nasa.gov>

⁷ 592 componentes para a banda 1 e 592 para banda 2.

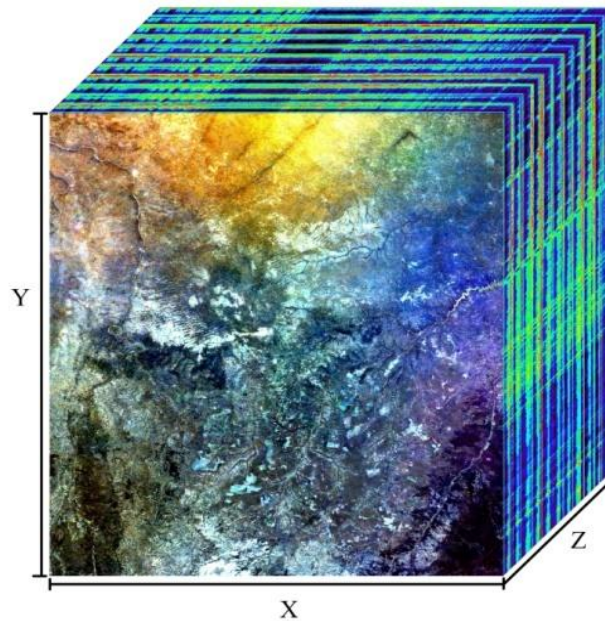


Figura 3. Visualização da série temporal em cubo 3D.

3.3. TRATAMENTO DE RUÍDO

3.3.1. Filtro da Mediana

A passagem do filtro convolucional de mediana é utilizada para minimizar os efeitos de ruídos não desejados, no caso em questão, valores negativos abruptos no espectro devido a erro de detecção ou cobertura de nuvens. Esta técnica de filtragem espacial utiliza uma janela móvel, estabelecida pelo pesquisador, que varre a curva temporal substituindo o valor do pixel central pelo valor da mediana da janela, eliminando os valores extremos e os ruídos (Carvalho Júnior *et.al.*, 2012). A figura 4 demonstra um ruído abrupto na curva temporal referente à perda de uma porção da imagem no mês de agosto do ano 2000. Diversos tamanhos de janelas foram testados. O melhor resultado foi utilizando duas vezes o filtro de mediana uma primeira com janela 11x11 e tolerância para picos de 0,05 e uma segunda com uma janela de 7x7, sem tolerância.

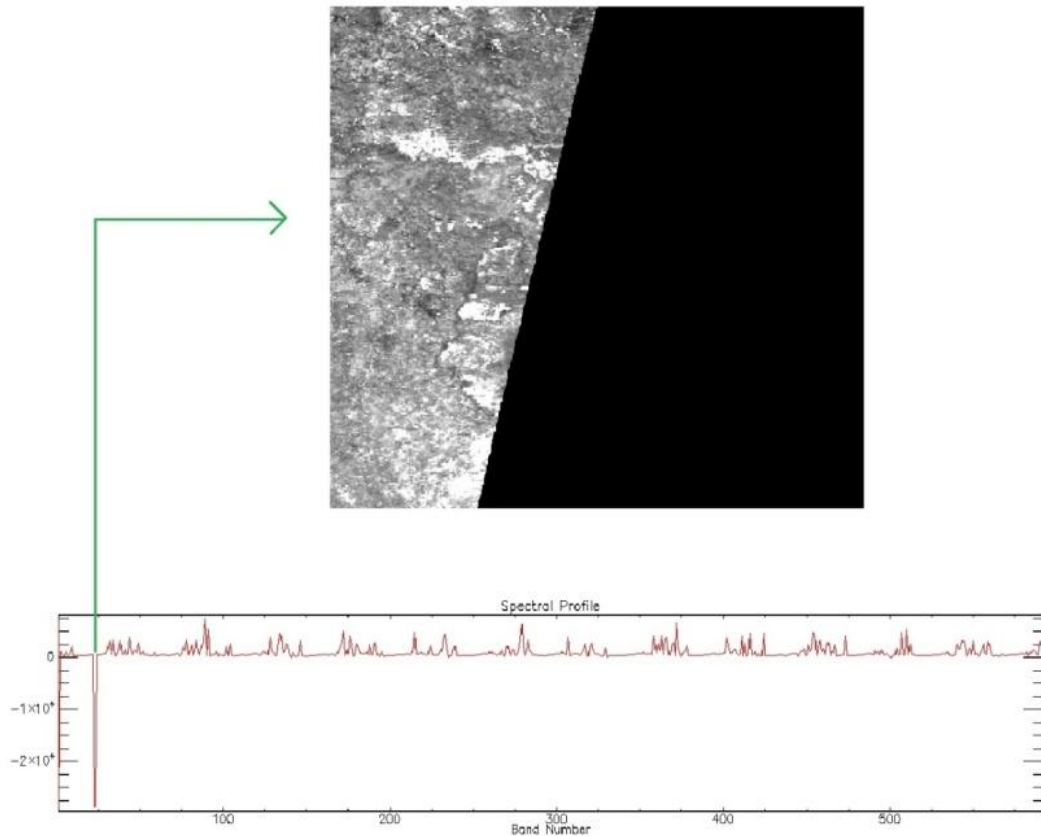


Figura 4. Ruído por falha de varredura do sensor

3.3.2. Transformação MNF

Complementarmente, foi utilizada para eliminar o ruído branco a transformação por fração mínima de ruído (MNF), método baseado no campo da Análise de Principais Componentes (APC) que opera segregando o ruído do sinal concentrando as informações para um número reduzido de dimensões (GREEN *et al.*, 1988).

A transformação MNF inicialmente foi utilizada em imagens hiperespectrais (GREEN *et al.*, 1988; Carvalho Júnior *et al.* 2002), mas também pode ser utilizada em dados temporais com resultados positivos na identificação da formação florestal de Mata Seca no bioma Cerrado na bacia do rio Paranã utilizando dados do MODIS (Carvalho Júnior *et al.* 2006).

Para a minimização do ruído no cubo temporal utilizando a transformação MNF considera-se as seguintes etapas: a) aplicação da transformação linear MNF segregando o sinal, que será concentrado nas primeiras bandas, do ruído, referente às bandas finais; b) análise do gráfico de altos valores e imagem para determinar quantas bandas serão utilizadas, relativas ao sinal; e c) realizar a transformação inversa do MNF descartando a porção ruidosa

e redistribuindo o sinal para o total de bandas da série temporal (COUTO JÚNIOR *et al.*, 2011).

3.4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA

Ponzoni e Shimabukuro (2007) destacam que a relação entre a Radiação Eletromagnética (REM) e uma folha é sujeita a elementos químicos (pigmentos fotossintetizante e moléculas de água) e estruturais (disposição dos tecidos da folha), que determinam os fenômenos da absorção, transmissão e reflexão.

Para Baret *et al.* (1989) 90% da resposta espectral da vegetação está contida nas regiões do vermelho (V), e do infravermelho próximo (IVP) do Espectro Eletromagnético. A primeira encontra-se no intervalo de comprimento de onda do visível (0,38 a 0,76 μm), onde é observada maior absorção (na região do azul e do vermelho) da radiação pelos pigmentos responsáveis pela fotossíntese, em maior parte realizada pela clorofila que a faz no vermelho (0,620 a 0,670 μm). Em decorrência disto há uma baixa reflectância nestas bandas. Na região do verde ocorre uma maior reflectância, dando o aspecto de coloração verde para as folhas (COURA, 2007; ROSA; ROSENDO, 2005). No IVP (0,841 a 0,875 μm) existe uma menor absorção e valores de reflectância elevados “devido ao espalhamento interno sofrido pela radiação em função da disposição da estrutura morfológica da folha, aliado ainda ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas” (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007, p.43)⁸.

As duas regiões espectrais aqui explanadas (vermelho e infravermelho próximo) são comumente empregadas em Índices de Vegetação (IV).

O IV utilizado neste trabalho foi o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (ROUSE *et al.*, 1973) ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada descrito pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(P_{IVP} - P_V)}{(P_{IVP} + P_V)}$$

onde P_{IVP} é a reflectância do infravermelho próximo (banda 2 - 0,858 μm); e P_V é a reflectância no vermelho (banda 1 - 0,648 μm). O produto do NDVI é uma imagem monocromática em tons de cinza com variações no brilho, que se alteram entre os valores -1 e

⁸ Estes fenômenos podem variar em uma vegetação não sadia (como exemplo, infecção por fungos e *senescência*) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

+1. Quanto mais próximo do valor 1 maior será a quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa, por consequência maior será o brilho. Os valores entre 0 e -1 estão relacionados às regiões sem vegetação, como água ou solo exposto.

O objetivo do NDVI “é monitorar a atividade fotossintética da vegetação visando detectar mudanças no vigor vegetativo e associar estas mudanças às condições biofísicas e fenológicas das mesmas” (COURA, 2007, p. 40-41). Além disto, ele diminui a interferência devido à topografia, atenuação atmosférica e sombras de nuvens (SILVA, 2004). Porém, um ponto negativo deste índice de vegetação é a saturação em decorrência do crescimento da biomassa vegetal em determinada fase de desenvolvimento (RUNNING *et al.*, 1994).

3.5. CLASSIFICAÇÃO

O processo de classificar a imagem será dado em duas etapas. Primeiramente faremos uma análise exploratória do produto NDVI-MODIS utilizando a classificação *Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique* (ISODATA) para reconhecimento na imagem dos grupos de pixels. Com a ajuda do mapa de vegetação (figura 2) serão identificadas na imagem ISODATA as diferentes fitofisionomias do Cerrado. Dispondo da localização dos pixels delas podemos, então, obter seus respectivos espectros para referência (*endmembers*) da segunda etapa, que será a classificação por Mínima Distância.

A classificação não supervisionada ISODATA requer pouca ou nenhuma participação do analista no processo, ele apenas intervém para determinar os parâmetros de entrada. Ela agrupa pixels por similaridades usando a técnica de distância mínima. Baseia-se em um algoritmo, o qual analisa agrupamentos onde são identificados, no espaço de atributos, os "clusters". Eles estão juntos em volta de uma média, e um valor de desvio-padrão deve ser tomado como medida de compacidade (MATHER, 1987). Quando o desvio-padrão do agrupamento for maior que o valor estabelecido pelo pesquisador, o agrupamento que apresenta aquela classe é dividido (MENESES; ALMEIDA 2012). Se a distância mínima da aglomeração for menor que a entrada os pixels são fundidos. Os parâmetros de entrada utilizados para classificar as imagens temporais NDVI pelo ISODATA foram diversamente testados e o melhor resultado foi alcançado com o uso de 10 a 20 classes, com 4 interações e mínimo de área 200.

A Distância Mínima é uma classificação supervisionada pixel a pixel, ou seja, ela agrupa os valores digitais similares da imagem em classes a partir das informações espectrais de cada um. Por isto, esta técnica requer do analista o conhecimento prévio dos alvos na

imagem em estudo. Isto é possível a partir de um dado da realidade ou o que podemos chamar de verdade, que pode vir a ser um mapa temático, estudo em campo, dados de bibliotecas espectrais, entre outros. Assim, o pesquisador obtém os espectros de referência ou *endmembers* para comparação com os espectros da imagem.

Este método se dá a partir de uma medida de distância Euclidiana apresentada pela equação com a seguinte formulação:

$$D(R, I) = \left[\sum_{i=1}^{i=nb} (R_i - I_i)^2 \right]^{1/2}$$

Ela trabalha agrupando as médias dos pixels das amostras coletadas, já conhecidas, para medir a distância espectral do pixel que se quer classificar, o qual se pode chamar de pixel candidato (MENESES; ALMEIDA, 2012). A técnica compara a distância Euclidiana do centro das médias dos agrupamentos ao pixel candidato. Quando a distância entre uma amostra e o pixel candidato for a menor, então será maior a possibilidade dele ser classificado junto a ela (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2009).

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADO DO TRATAMENTO DO RUÍDO

O emprego do filtro de mediana ocorreu em duas etapas, com os parâmetros ditos no subitem 3.3.1. A primeira passagem eliminou os picos abruptos de valores negativos. Além disto, comparando a curva temporal resultante desta técnica com o da imagem original, do mesmo pixel, observamos uma pequena suavização do primeiro, como demonstrado na figura 5, na qual foi utilizado o intervalo de bandas no vermelho.

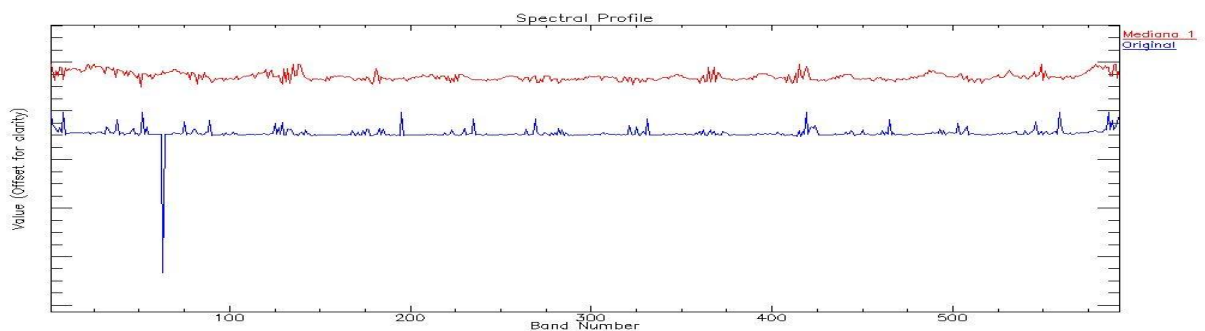


Figura 5. Resultado do primeiro passo do filtro de mediana (linha vermelha) em comparação com o espectro da imagem original (linha azul).

Na segunda etapa a mediana tratou a imagem do primeiro resultado, mas de tamanho de janela menor. O efeito gerado foi uma suavização (Figura 6). Por consequência, a imagem, após a segunda passagem, se mostra mais nítida, podendo-se identificar os alvos (figura 7). Em geral, a aplicação deste método mostrou-se eficaz na eliminação de valores aberrantes, pequena suavização do espectro e redução da amplitude dos dados. Além disto, devido à interpolação de dados ocorreu o preenchimento dos vazios nas imagens com falha de varredura.

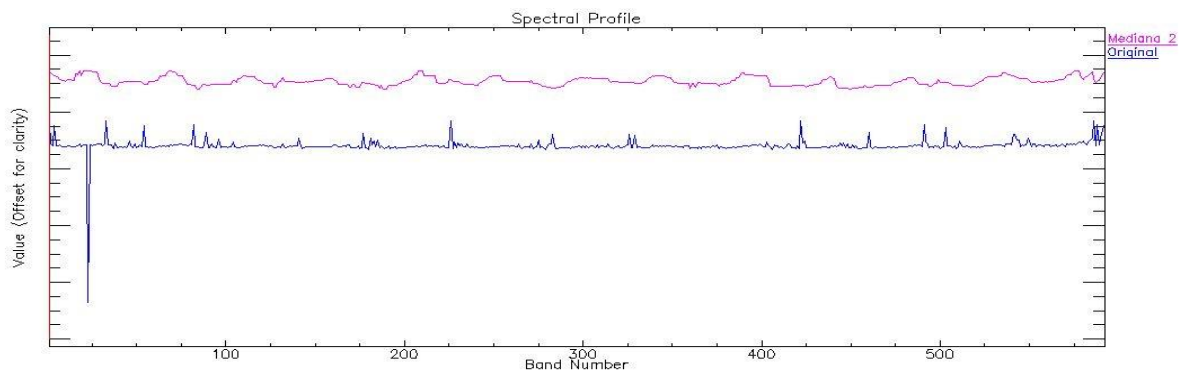


Figura 6. Resultado do segundo passo da filtragem por mediana (linha vermelha) em comparação com o espectro da imagem original (linha azul).

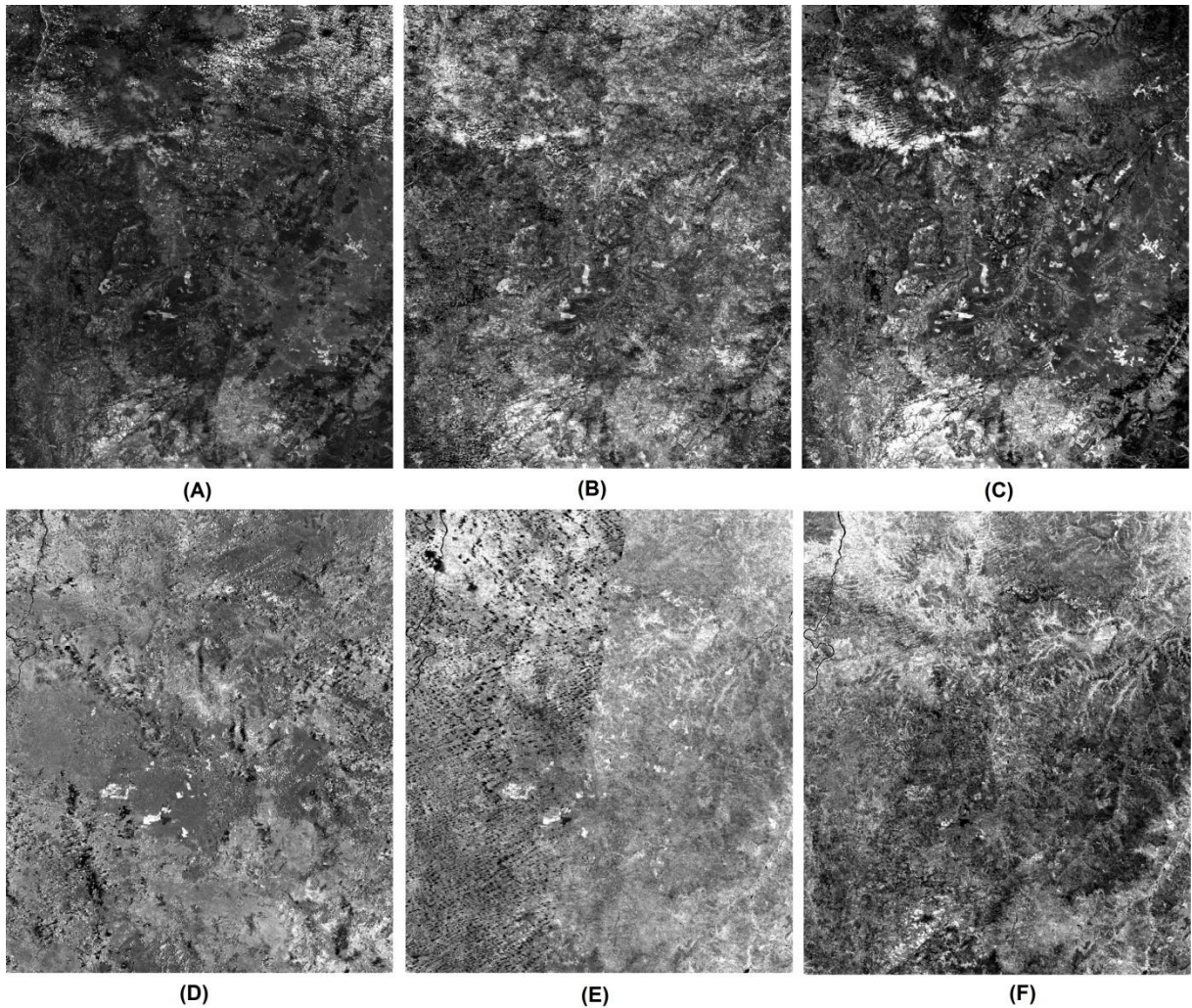


Figura 7. Resultado das imagens após a filtragem por mediana – (A) imagem bruta banda 1; (B) processamento 1 da banda 1; (C) processamento 2 da banda 1; (D) imagem bruta banda 2; (E) processamento 1 da banda 2; (F) processamento 2 da banda 2.

Mesmo após o tratamento das imagens por este método persistiram certos ruídos na sequência temporal. Isto precariza a interpretação e corrompe os dados para a classificação. A fim de reduzi-los ainda mais aplicamos o MNF no produto do segundo processamento do filtro de mediana, banda 1 e 2. Após essa transformação, foi analisado o gráfico de autos valores (figura 8) conjuntamente com as imagens geradas. Constatou-se que o método segregou nas primeiras bandas o sinal, e por consequência o ruído nas últimas bandas, como demonstrado na figura 9 (A) e (C).

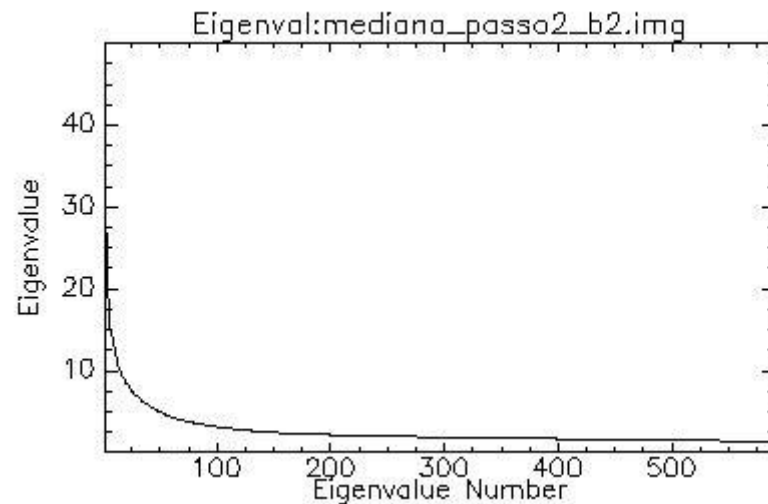


Figura 8. Gráfico de autos valores (banda 2).

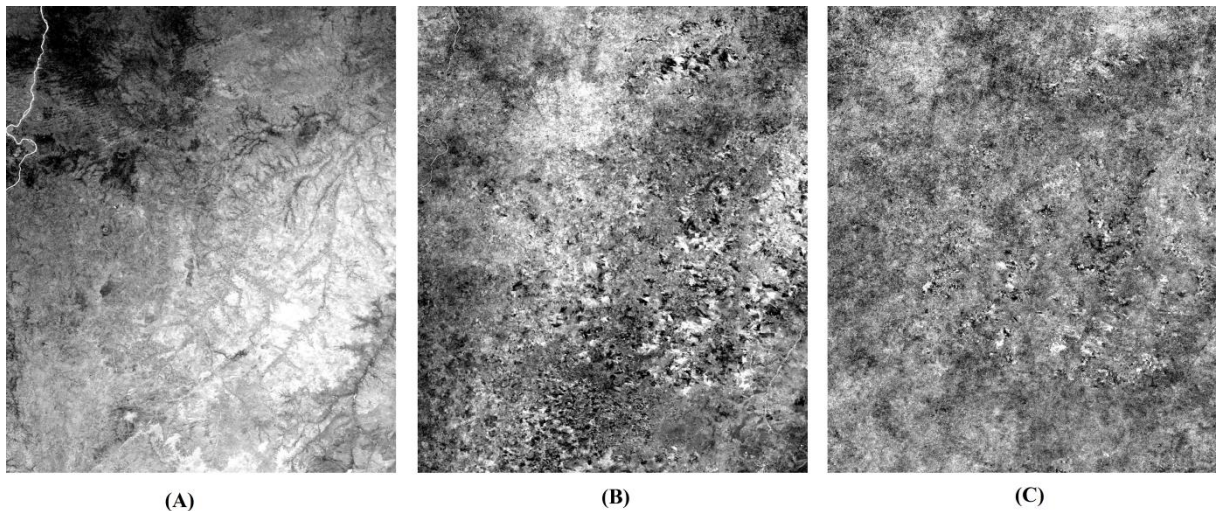


Figura 9. Produtos MNF (banda2) – (A) imagem 1; (B) imagem 10; (C) imagem 119.

Ao analisar as imagens e o ponto de inflexão do gráfico de autos valores optamos por utilizar as 10 primeiras componentes, relativas à maior concentração do sinal, para aplicar o procedimento inverso do MNF, que redistribuirá o sinal na sequência temporal.

Nas figuras 10 e 11 visualizam-se os perfis espectrais do mesmo pixel, localizado em uma área de Savana Florestada (Cerradão), do vermelho, com valores de reflectância menores, e do infravermelho próximo, com valores digitais de reflectância maiores, após a transformação inversa. Nota-se, ao comparar com o produto da mediana, a suavização em ambos, com picos e vales mais arredondados, demonstrando a sazonalidade da vegetação, típica de ambiente com duas estações, chuvosa e seca. Além disto, a amplitude e a dimensionalidade dos dados foram reduzidas.

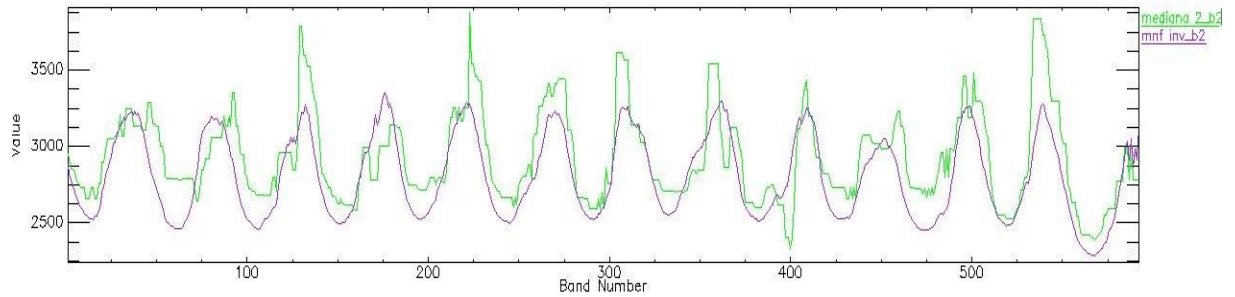


Figura 10. Perfil espectral da mediana (passo 2) (linha verde) e do MNF inverso para banda 2 (linha roxa)

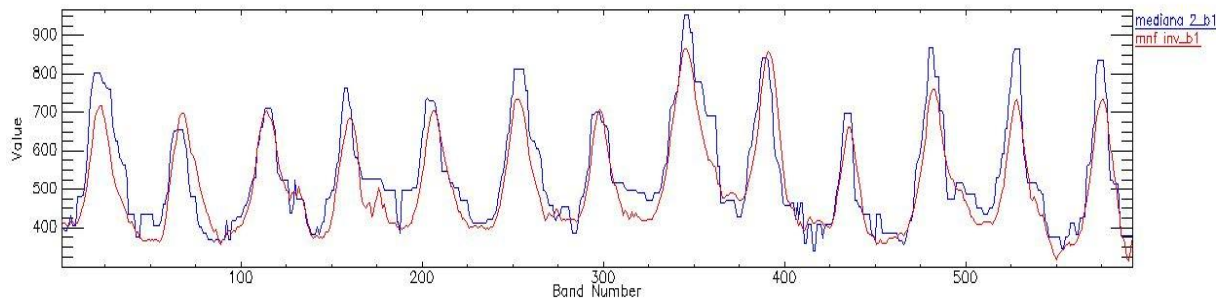


Figura 11. Perfil espectral da mediana (passo 2) (linha azul) e do MNF inverso para banda 1 (linha vermelha)

As imagens resultantes estão mais límpidas, com redução significativa de ruídos ocasionados por nuvens. Facilitando a interpretação e a identificação dos alvos. Como na figura 12, que apresenta o exemplo de uma componente da banda 1, concernente ao dia 9 de Abril de 2006, após o processo inverso.

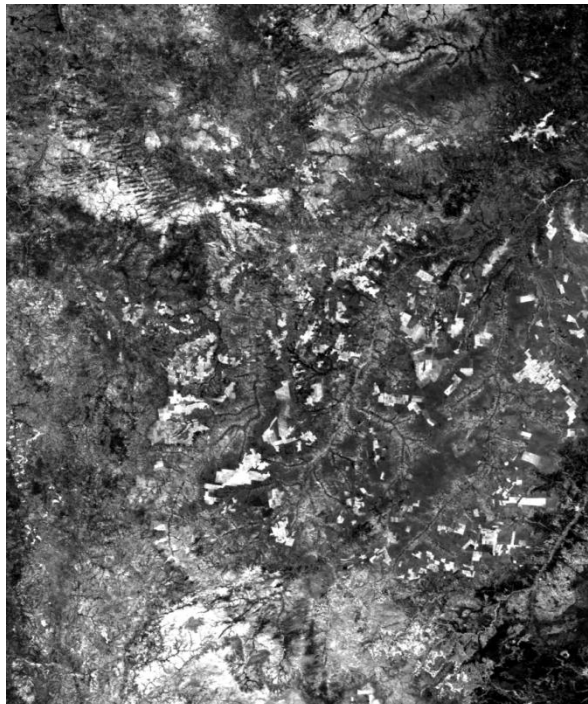


Figura 12. Imagem da componente 283 do MNF inverso (banda 1).

4.2. RESULTADO DO CÁLCULO DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI

A primeira etapa de análise do produto NDVI-MODIS é a observação das imagens geradas. No exemplo da figura 13 estão dispostos os valores dos pixels (entre +1 e -1), representados pelas variações de brilho, em tons de cinza, na estação seca, no dia 12 de Agosto do ano 2000. As regiões mais escuras estão relacionadas às áreas antropizadas, áreas com vegetação seca, típica de formações campestres (principalmente savana gramíneo-lenhosa), zonas de sombreamento e água. Já os valores próximos a +1, de intenso brilho, estão associadas à vegetação com formações florestais, principalmente as áreas com presença de Savana Florestada e Mata de Galeria. Em regiões acinzentadas podemos visualizar as fisionomias de áreas com Savana Arborizada.

A segunda parte diz respeito ao exame das assinaturas espectrais dos materiais NDVI da imagem, dispostos na figura 14. O espectro das áreas com presença de Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg), em azul, varia entre 0,2 e 0,45, em valores NDVI, os menores entre as fitofisionomias observadas. A razão da ocorrência disto se deve a presença de espécies gramíneas e herbáceas, ou seja, sem presença de árvores. Como não apresentam dossel contínuo, sua folhagem está mais disposta aos raios solares, que na época de estiagem, secam as folhas, dando a aparência mais escura na imagem. Por dispor destas características, ela está sujeita a queimadas naturais e por ação antrópica.

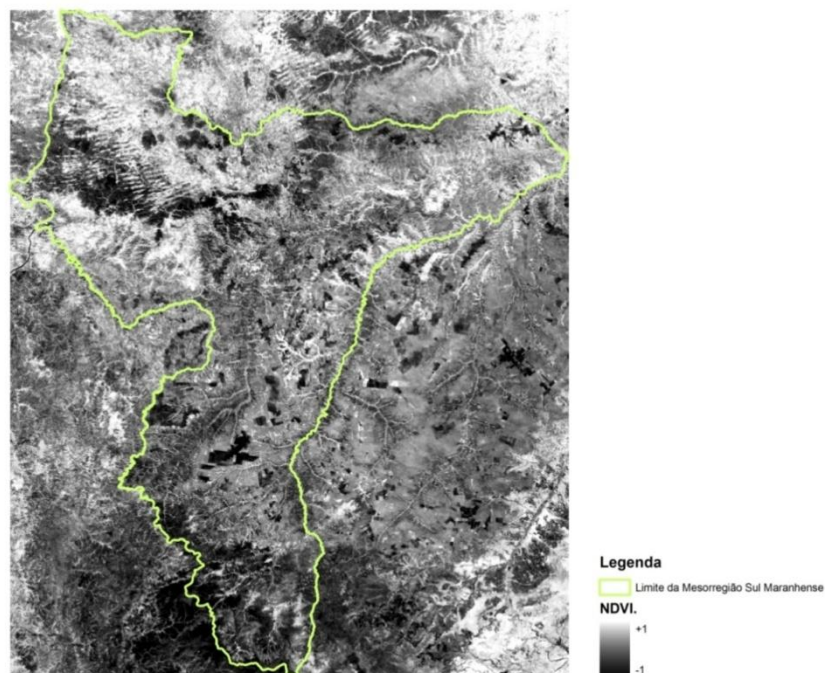


Figura 13. Imagem NDVI

A assinatura espectral da Savana Parque (Sp) possui valores NDVI um pouco maiores que a anterior, entre 0,4 e 0,65. Por deter vegetação lenhosa em estrato predominantemente herbáceo-graminoso. Na estação seca, as árvores mantêm-se fotossinteticamente ativas, mas por se disporem isoladas, sem formação de dossel, a presença do estrato graminoso e herbáceo se fazem mais presente, não chegando a valores NDVI maiores, mesmo na estação chuvosa.

Os valores NDVI da Savana Arborizada (Sa), na cor magenta, variam entre 0,2, na estiagem, e 0,7, em época chuvosa. São maiores em comparação as últimas por apresentarem maior quantidade de plantas lenhosas e arbustos em relação ao estrato de gramíneas e ervas. Ela também sofre com a queima da vegetação na seca. A figura 15 retrata isto, há uma alteração abrupta na sazonalidade da vegetação chegando ao valor 0,2 e voltando a normalidade. Podemos inferir disto, e observando a imagem da comparação entre o ano de 2001, figura 15 (A), e 2010, Figura 15 (B), que a vegetação sofreu queima. Esse padrão também é visto em outras áreas e em outras fitofisionomias (Sp e Sg).

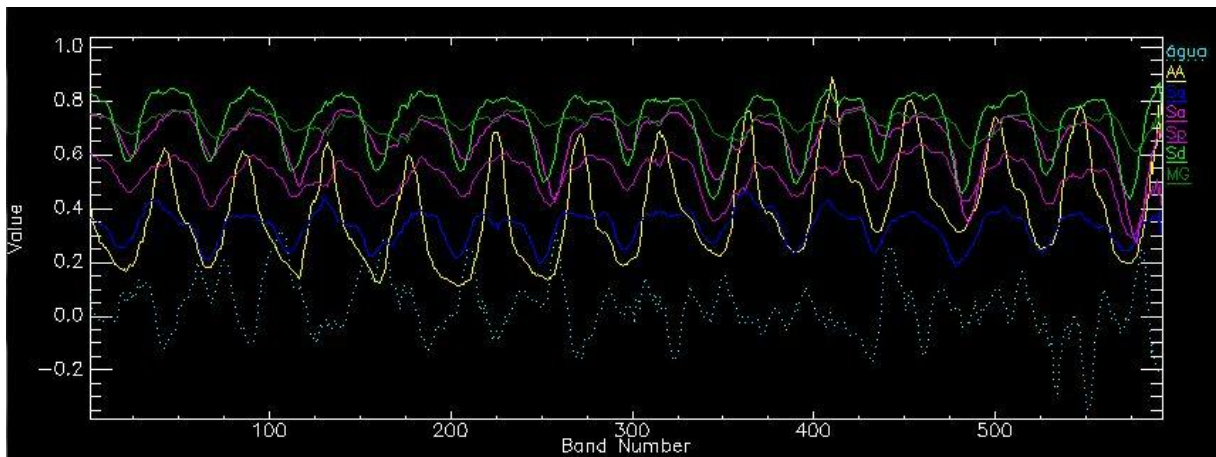


Figura 14. Perfis espectrais dos alvos no produto NDVI

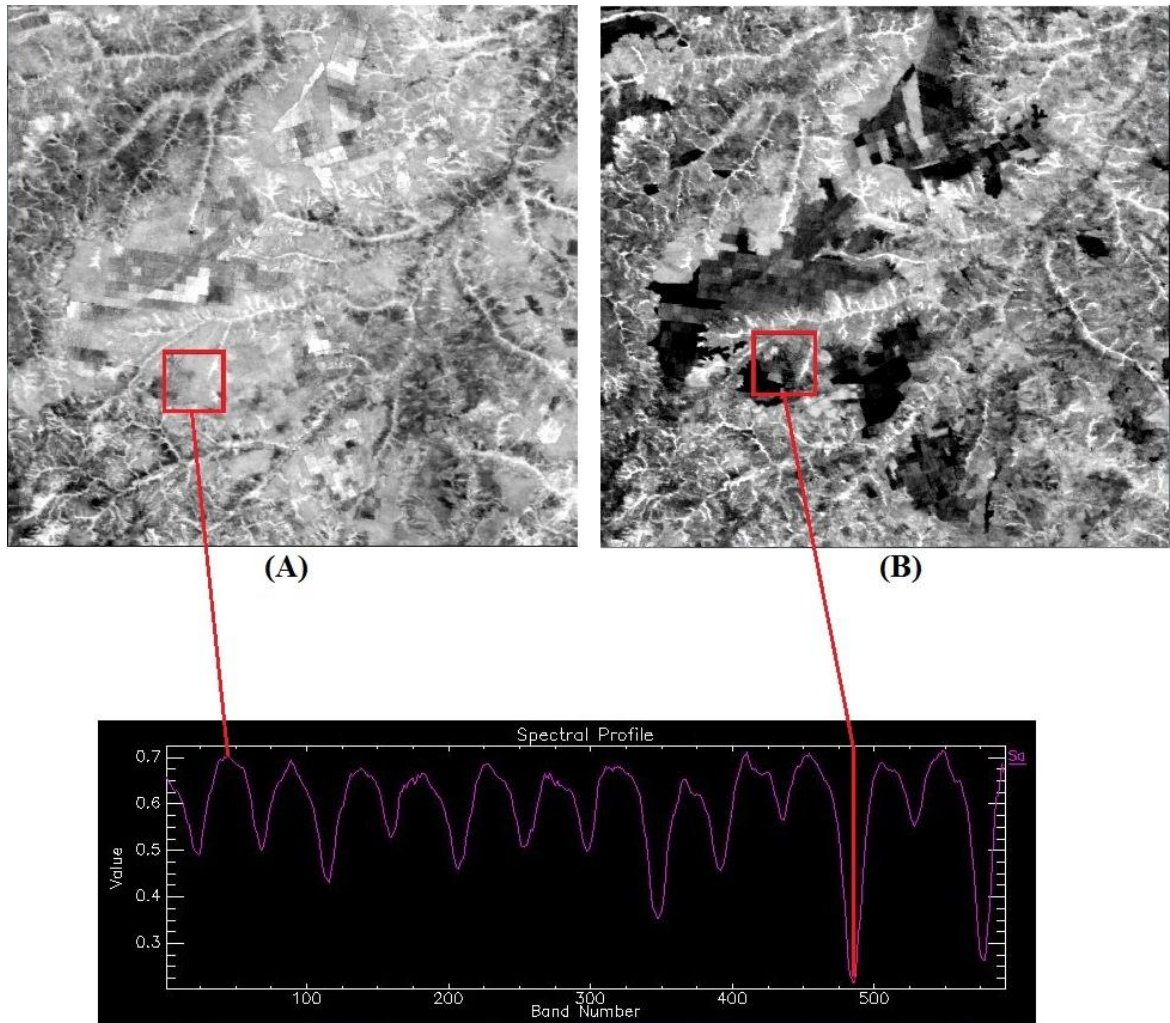


Figura 15. Detecção de mudança por queima da vegetação – (A) imagem do dia 7 de Janeiro de 2001; (B) imagem do dia 29 de Agosto de 2010

A Savana Florestada (Sd) possui uma assinatura espectral, na cor verde clara, que varia entre os valores 0,5 e 0,9. A maior parte da vegetação que a constitui é perenifólia, ou seja, sua folhagem persiste mesmo na época seca, por isto possui valores que chegam quase a 1 no NDVI-MODIS. A variação da amplitude sofre a influência da vegetação herbácea e graminosa, pois têm uma biomassa seca na estiagem, baixando os valores.

Como a Sd, a Mata Galeria (MG), em verde escuro, possui valores elevados, entre 0,6 e 0,8. A diferença marcante entre as duas deve-se ao tamanho da amplitude. Na Mata de Galeria não há uma variação grande na sazonalidade porque a vegetação não perde sua folhagem (diferente da Sd, que apresenta algumas espécies que são caducifólias) em nenhuma época do ano, e por estar em ambiente com influência de umidade, sua vegetação é fotossinteticamente ativa, ou seja, sempre verde.

A amplitude das Áreas Antropizadas (AA) é alta, com valores que vão de 0,1 a 0,9, caracterizando zonas de cultivo e pasto, pois se observa na imagem um padrão geométrico nas regiões de coleta dos pixels.

Também identificamos áreas onde a vegetação nativa foi desmatada para uso agropecuário, como na figura 16, onde é possível observar a alteração no perfil espectral da Savana Arborizada a partir do ano de 2008. Este padrão é observado em outras fitofisionomias, demonstrando como a vegetação nativa do Cerrado está sofrendo pressão

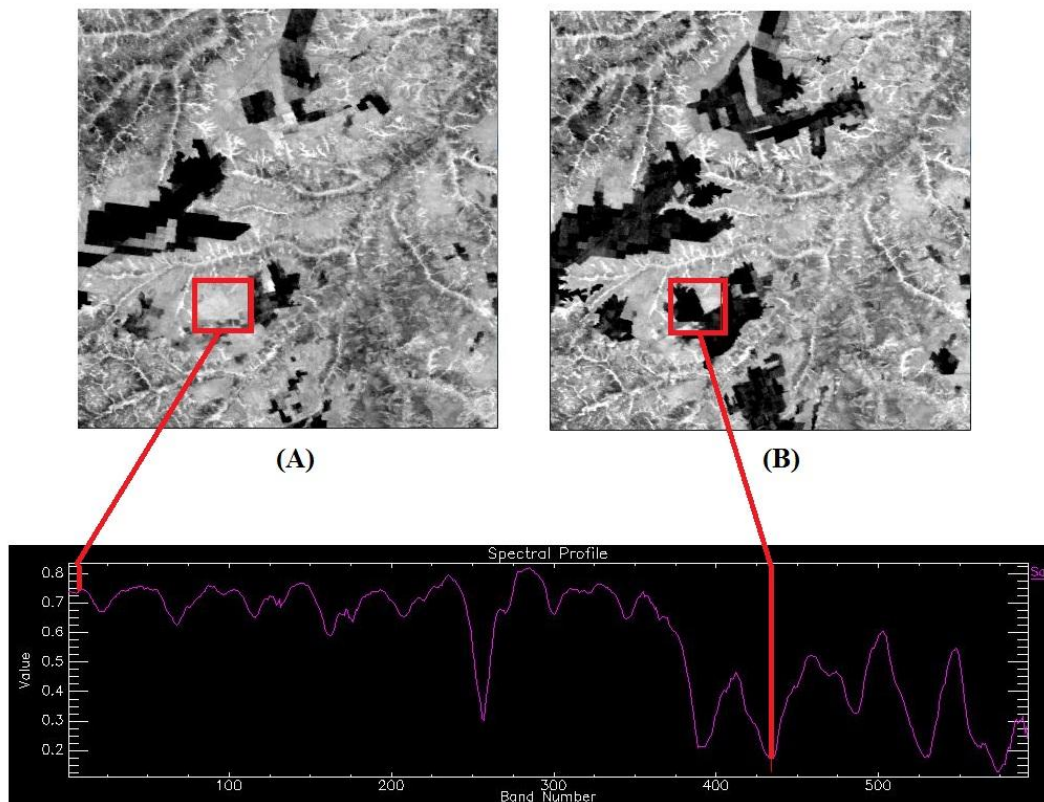


Figura 16. Detecção de mudança por influência antrópica – (A) imagem do dia 22 de Abril de 2000; (B) imagem do dia 20 de Julho de 2009.

com a expansão da agropecuária ao longo dos anos, indicando fragilidade quanto à preservação deste bioma.

4.3. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO

A classificação ISODATA gerou 7 classes das imagens NDVI-MODIS e permitiu uma análise exploratória. Contudo a comparação da imagem classificada com o mapa de vegetação (figura 2) demonstrou deficiência.

A coleta dos *endmembers* para a classificação por mínima distância utilizou a imagem NDVI (figura 13), RGB das componentes MNF (figura 17), e a classificação pelo ISODATA.

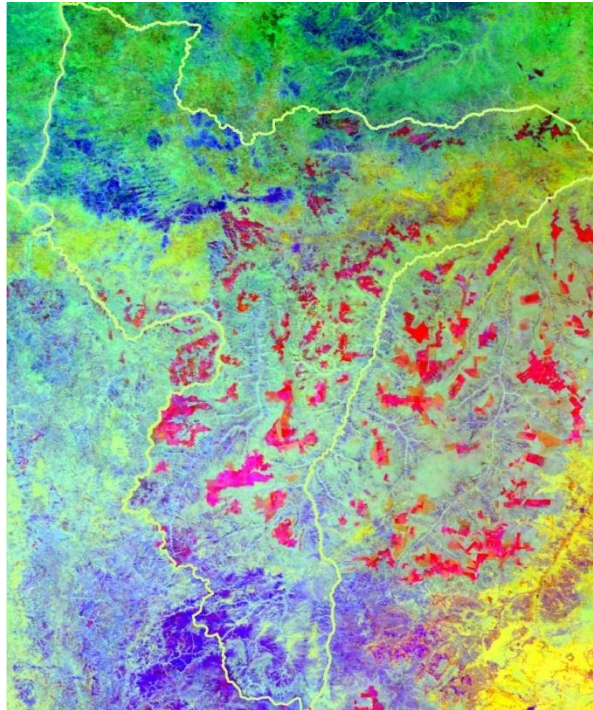


Figura 17. Composição colorida do MNF banda 1

Assim, construímos a biblioteca espectral (figura 14), porém com mais pixels para cada categoria, a fim de englobar uma quantidade maior de respostas espectrais de cada uma das fitofisionomias, áreas antropizadas e água. A figura 18 compara a classificação entre o ISODATA e a Mínima Distância Euclidiana.

A classificação por mínima distância conseguiu identificar os principais alvos de Sd, a noroeste da imagem, porém foi identificado mistura na transição entre esta fitofisionomia e a MG no restante da cena. Podemos inferir que isto ocorre devido à zona de ecótono, pois o dossel contínuo das duas impede a percepção da mudança entre uma e outra. Além disto, o ISODATA conseguiu classificar mais áreas de Mata de Galeria que a Mínima Distância, mostrando a necessidade da coleta de uma quantidade maior dos espectros dessa classe. Porém, esta classificação se mostrou mais eficaz ao identificar as zonas de transição entre a Sd e Sa, pois é mais abrupta, diferente do ISODATA, que misturou essas duas classes.

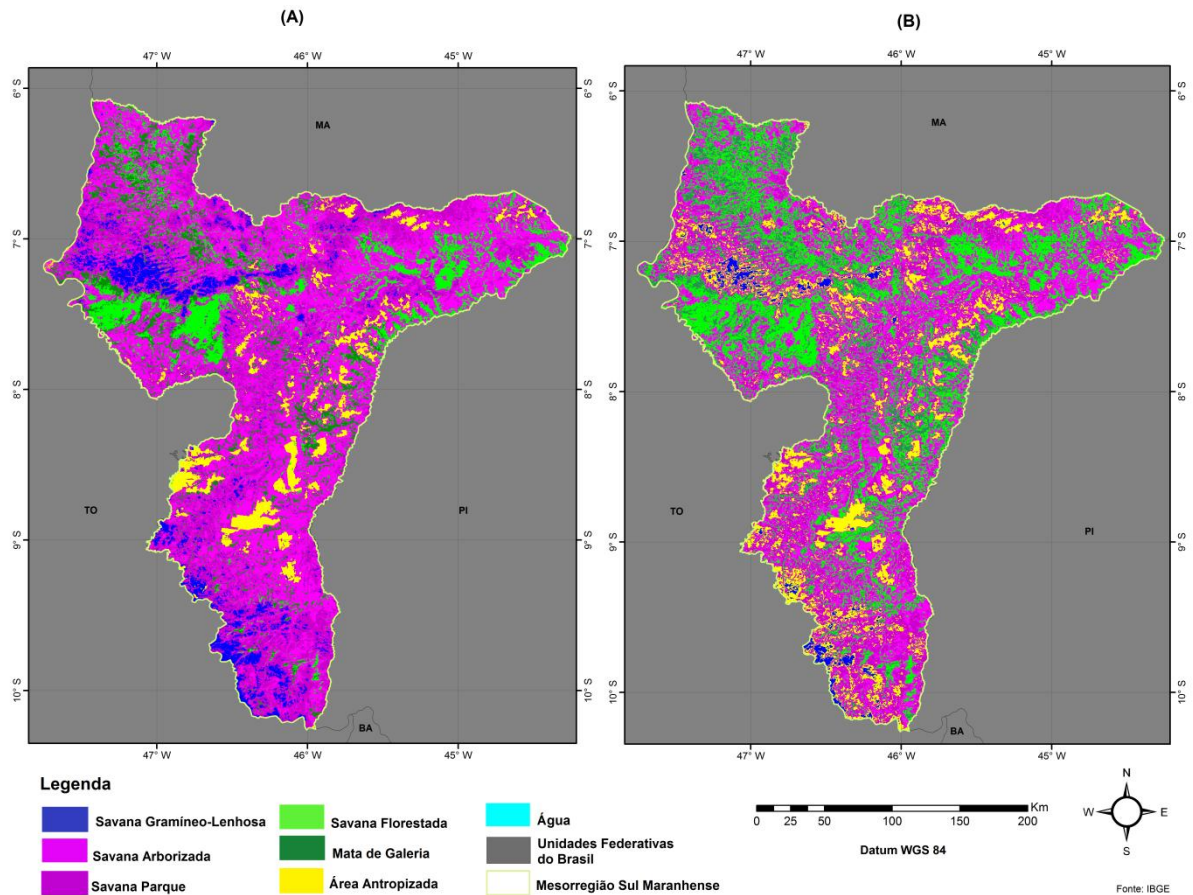


Figura 17. Resultado da Classificação – (A) Mínima Distância Euclidiana; (B) ISODATA.

Outra classe de vegetação bem delimitada pela segunda etapa de classificação foi a Sg. Por apresentar um estrato de gramíneas predominante, seus valores NDVI são baixos e a representação dela na imagem é mais escura, sendo mais perceptível a transição dela para as demais classes. Diferente do ISODATA, havendo confusão entre esta fitofisionomia e, principalmente, as áreas antropizadas. Fazendo uma observação mais minuciosa, a Mínima Distância conseguiu identificar áreas bem pequenas de transição entre Sg e AA, porém também ocorreu certa mistura entre elas, mas não tão significativa como na classificação não supervisionada.

Tanto no ISODATA como na Mínima Distância na região mais ao sul, são encontradas, principalmente: Sd, MG, Sa e Sp. Analisando o mapa de vegetação, com informações do IBGE, e a tabela de atributos do *shape*, essa área está contida dentro da categoria de AA, com presença de Savana Florestada. Dentro das unidades que a compõe existe a vegetação secundária. A Resolução de número 28 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1994) declara, no artigo 2º, que ela é fruto de desenvolvimento natural, após a eliminação completa ou parcial da vegetação anterior (primária), por interferência

antrópica ou natural, havendo ou não resquícios desta. Sabendo disto, optamos por manter as classes geradas pelos classificadores, sem incorporá-las na classe de Área Antropizada. Em relação a esta última categoria, a distância mínima, conseguiu classificá-la com mais precisão, porém foram identificadas áreas com mistura entre ela e Sp.

A Savana Arborizada é a fitofisionomia que se apresenta em maior extensão na classificação supervisionada. Ao analisá-la, na imagem percebe-se nitidamente a transição dela para as classes Sd, Sg e SG. Em comparação à Savana Parque, ela é mais fotossinteticamente ativa do que esta, por isto a mínima distância também conseguiu segregá-las com eficiência.

5. CONCLUSÃO

O bioma Cerrado sofre com a constante eliminação da vegetação natural tendo sua paisagem alterada para uso antrópico. Os órgãos responsáveis por fiscalizá-lo precisam de alternativas tecnológicas para detectar as mudanças sofridas de maneira indevida e criar estratégias de resposta às ações ilícitas. O desenvolvimento do estudo temporal da vegetação vem se mostrando promissor como ferramenta de controle da biodiversidade.

A confecção de mapas regionais é um processo moroso que demanda muitos recursos financeiros e o envolvimento de diversos órgãos públicos. Com o lançamento de plataformas espaciais que fornecem dados gratuitamente as pesquisas neste âmbito se intensificaram. O sensor MODIS, se mostra uma ferramenta adequada de aquisição de dados para o estudo de fitofisionomias, pois disponibiliza produtos e intervalos de bandas capazes de captar a reflectância da vegetação, porém contém efeitos de ruído.

O presente trabalho elaborou uma metodologia a fim de reduzir significativamente os ruídos presentes no produto de reflectância da superfície do MODIS, transformando-os em imagens NDVI, da área de Cerrado na Mesorregião Sul Maranhense, a fim de elaborar uma classificação, em escala regional, dos diferentes grupos vegetais presentes, a partir de suas características físicas e fenológicas, e áreas antropizadas.

O tratamento da imagem pela filtragem por mediana e transformação MNF, geraram resultados positivos, quanto à suavização dos espectros dos alvos, como um todo. A primeira técnica processou as imagens duas vezes, utilizando janelas de tamanhos 11x11 e 7x7, não identificamos danos quanto a isto, e a amplitude espectral foi reduzida, porém o segundo resultado apresentou patamares, isto foi corrigido pela passagem da transformação MNF. Esta última técnica segregou eficientemente o ruído do sinal, após a averiguação das imagens e gráfico de altos valores, optamos pela utilização de 10 bandas para aplicação inversa do MNF. O resultado final do tratamento espectral foi satisfatório. As imagens ficaram mais límpidas, os espectros foram suavizados e a redução da dimensionalidade dos dados diminuiu o tempo de processamento dos procedimentos seguintes.

Os espectros analisados do NDVI foram coerentes com a descrição da vegetação que compõem a Savana Florestada, Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa, demonstrando a sazonalidade de um ambiente com estação seca e chuvosa, característica típica do bioma Cerrado. Além disto, foi possível detectar ao longo do tempo a transformação das estruturas vegetativas na mesorregião por uso antrópico, e a presença de áreas queimadas, na estiagem.

O ISODATA possibilitou a identificação das fitofisionomias na imagem NDVI para a classificação por Mínima Distância Euclidiana. Esta última conseguiu delimitar mais precisamente os alvos vegetacionais, as áreas antropizadas e água. Porém, existiram confusões entre as classes em pequenas áreas. Tanto no ISODATA como na mínima distância não foi possível identificar com precisão as áreas de vegetação secundária (AA), também sendo impreciso ao analisar a imagem NDVI. Além disto, algumas áreas de Mata de Galeria não foram classificadas, pois precisariam de mais pixels de referência para englobar uma quantidade maior das variações da assinatura espectral desta fitofisionomia.

De maneira geral a metodologia proposta alcançou os objetivos esperados. A classificação por mínima distância foi satisfatória mostrando ser um bom método para mapeamentos regionais, mas para aperfeiçoá-la seria interessante o uso de imagens providas de sensores com resolução espacial alta, para identificar com precisão algumas regiões na imagem NDVI-MODIS, classificando alguns espectros, como a vegetação secundária, com mais veracidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASNER, G.P. **Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance.** Remote Sensing of Environment, 64: 234–253. 1998.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. **TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation.** In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 12, Vancouver. Proceedings... Ottawa: Canadian Remote Sensing Society, p. 65/82, 1989. P. 1195-1197. 1989

BARKER, J.L Harden, M.K.; Anuta, E.A.; Smid, J. e Hougt, D. **MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization.** Washington: Nasa, Oct, 84p, 1992,.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 28**, de 7 de Dezembro de 1994. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res2894.html>>. Acesso em: 25 de Junho de 2015.

CARVALHO, A.P.F. **Estudo de características foliares de espécies de lenhosas de Cerrado e sua relação com os espectros de reflectância.** Dissertação (mestrado em ecologia). Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 126 p. 2005.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; COUTO JÚNIOR, A. F.; SILVA, E. DE S. M.; CARVALHO, A. P. F.; GOMEZ, R. A. T. **Avaliação dos Classificadores Espectrais de Mínima Distância Euclidiana e Spectral Correlation Mapper em Séries Temporais NDVI-MODIS no Campo de Instrução Militar de Formosa (GO).** Revista Brasileira de Cartografia. Nº 61(04). p. 399-412. 2009.

CARVALHO JÚNIOR, O.A.; HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.D. **Identificação Regional da Floresta estacionaldecidual na bacia do rio paranã a partir da análise multiespectral das imagens MODIS.** Revista Brasileira de Geofísica. Nº24(3). p.:319-332.2006.

CARVALHO JÚNIOR, O. SAMPAIO, C.S, SILVA, N.C.; COUTO JUNIOR, A.F.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO, A.P.F.; SHIMABUKURO, Y.E. **Classificação de Padrões de Savana Usando Assinaturas Temporais NDVI do Sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros.** Revista Brasileira de Geofísica. Vol. 26 (4). p. 505-517, 2008.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SILVA, N. C.; CARVALHO, A. P. F.; COUTO JÚNIOR, A. F.; SILVA, C. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. **Combining Noise-Adjusted Principal Components transform and median filter techniques for denoising MODIS temporal signatures.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 30, n. 2, p. 147-157, 2012.

CARVALHO JÚNIOR OA, CARVALHO APF, MENESES PR & GUIMARÃES RF. **Classificação e eliminação dos ruídos em imagens hiperespectrais pela análise seqüencial da transformação por fração de ruído mínima.** Revista Brasileira de Geofísica, 20(1): 31-41, 2002.

COUTO JUNIOR, A., CARVALHO JUNIOR, O., MARTINS, E., SANTANA, O., SOUZA, V., & ENCINA, J. **Tratamento de ruídos e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS.** Revista Árvore, vol. 35, p.699-705, 2011

COURA, S. M. da C. **Mapeamento De Vegetação do Estado de Minas Gerais Utilizando Dados MODIS** - Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Ministério da Ciência e Tecnologia-INPE-14657-TDI/1213. São José dos Campos. 150p. 2007.

COUTINHO, L. M. **O Conceito de Cerrado**. Revista Brasileira de Botânica 1:17-23, 1978.

GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A. **Análise das áreas prioritárias para a conservação no bioma cerrado**. IX Simpósio Nacional Cerrado, Brasília, DF, 2008.

GREEN, A.A.; BERMAN, M.; SWITZER, P.; CRAIG, M.D. **A Transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol.26, n.1, p.65-74, 1988

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. (manuais Técnicos em Geociências,1)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão**: diretrizes gerais para ordenação territorial. 1997. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/diagnosticos/maranhao.pdf> Acesso em: 5 de Março 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa do Estado do Maranhão: Geomorfologia**. (1: 1.4000.000). 2011. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/unidades_federacao/ma_geomorfologia.pdf> Acesso em: 8 de Abril de 2015.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R.G.; VERMOTE, E.; MASOUKA, E.; WOLF, R.; SALEOUS, N.; ROY, D.; MORISSETTE, J. **An overview of MODIS land data processing and product status**. Remote Sensing of Environment, 83, 3-15 (this issue), 2002.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R.G.; DEFRIES, R.; ROY, P.D.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V.; PRIVETE, J. L.; RIGGS, G.; TRALLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, W. S.; NEAMI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLF, R. E; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; BARNESLEY, M. . **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.36, n.4, p.1228-1247, July, 1998

MARANHÃO, Governo do Estado do. **Plano de Ação para preservação e controle do desmatamento e das queimadas no Estado do Maranhão**. 2011. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf> . Acesso em: 5 de Março de 2012.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Monitoramento dos Biomas Brasileiros**. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/arquivos/04_abril_dadosibama2002_2009_182_72.pdf> . Acesso em: 6 jun. 2012.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: oficina de texto, 2007.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPq, 2012. 266 p.

PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação**. In: Netto, J. S. M. **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília/DF: Editora Universidade de Brasília/UnB, Embrapa Cerrados, p. 157-199, 2001.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, A. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. Parêntese: São José dos Campos, SP.144p. 2007

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp. 87-167. In: S.M. Sano & S.P. Almeida. **Cerrado, Ambiente e flora**. Planaltina, EMBRAPA CPAC. 1998.

RUNNING, S. W.; JUSTICE, C.; SALOMONSON, V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMAN, Y., STRAHLER, A.; HUETE, A; MULLER, J. P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z. M.; TEILLET, P.; CARNEGGIE, D. **Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS**. International Journal of Remote sensing, v.15, n 17, p. 3587-3620, 1994

ROSENDO, J.dos. S.; ROSA, R. **A utilização de sensores com resolução moderada (MODIS) no estudo da vegetação na bacia do rio Araguari – MG**. In Sociedade & Natureza, Uberlândia, 17 (33): 91 – 104, dezembro, 2005.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 301–317, 1973.

SAMPAIO, C. S. **Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais MODIS EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do parque nacional da chapada dos veadeiros/GO**. Dissertação (mestrado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégia**. Dissertação (mestrado em geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SINGH, A. **Digital change detection techniques using remotely-sensed data**. International Journal of Remote Sensing, v.10, p. 89-1003, 1989.

TELLES, J.; SAMII, M.V.; DOLL, C.E. **Overview of TDRSS**. Advances in Space Research, vol.16, p.1267-1276, 1995.

UEMA - Universidade Estadual do Maranhão. **Mapa Pedológico do Estado do Maranhão**. São Luis: UEMA, NUGEO, 2011. Disponível em: <http://www.labgeo.uema.br/labgeo_mapa4.htm>. Acesso em: 5 Março 2012.

