



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Humanas – IH

Departamento de Geografia – GEA

**Detecção de Áreas Queimadas Através de Séries
Temporais MODIS no Intermédio da RPPN Serra do
Tombador e o Parque Nacional Chapada dos Veadeiros –
GO.**

Jonathan Vinagre Braga

Brasília

2013

Jonathan Vinagre Braga

Detecção de Áreas Queimadas Através de Séries Temporais MODIS
no Intermédio da RPPN Serra do Tombador e o Parque Nacional
Chapada dos Veadeiros - GO

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

2013

Jonathan Vinagre Braga

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

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

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

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

Brasília- DF,

VINAGRE, J.

Detecção de Áreas Queimadas Através de Séries Temporais MODIS no Intermédio da RPPN Serra do Tombador e o Parque Nacional Chapada dos Veadeiros – GO.

(IH/GEA/UnB, Bacharelado, 2013)

Monografia de final de curso, Universidade de Brasília,
Instituto de Ciências Humanas,
Departamento de Geografia.

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1. Sensoriamento Remoto | 2. MODIS |
| 3. Fogo | 4. Séries Temporais de Imagens |
| 5. Chapada dos Veadeiros | 6. RPPN Serra do Tombador |

REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA

VINAGRE, Jonathan. Detecção de Áreas Queimadas Através de Séries Temporais MODIS no Intermédio da RPPN Serra do Tombador e o Parque Nacional Chapada dos Veadeiros - GO. Monografia de final de curso, Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, DF, 2013.

CESSÃO DE DIREITOS AUTORAIS

NOME DO AUTOR: JONATHAN VINAGRE BRAGA

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Detecção de Áreas Queimadas Através de Séries Temporais MODIS no Intermédio da RPPN Serra do Tombador e o Parque Nacional Chapada dos Veadeiros - GO.

GRAU - ANO: 3º/2013

SUMÁRIO

	Pág.
Resumo.....	5
Abstract.....	6
1. Introdução.....	7
2. Área de Estudo.....	9
3. Fundamentos Teóricos.....	11
3.1. Fogo no Cerrado.....	11
3.2. Sensoriamento Remoto e Fogo.....	12
4. Materiais e Métodos.....	14
4.1. Sensor MODIS.....	14
4.2. Confeção do Cubo 3D Temporal.....	14
4.3. Tratamento do Ruído.....	15
4.3.1. Filtro de Mediana.....	15
4.3.2. Transformação MNF (<i>Minimum Noise Fraction</i>).....	16
4.4. Diferença Sazonal.....	16
4.4.1. Estabelecimento da Média Sazonal.....	16
4.4.2. Diferença Sazonal.....	17
4.5. Classificação dos Eventos.....	17
4.6. Comparação com a Base LANDSAT 5 – TM.....	18
5. Resultados.....	20
5.1. Resultado do Tratamento do Ruído.....	20
5.2. Resultado da Diferença Sazonal.....	21
5.3. Resultado da Classificação.....	22
5.4. Comparação com a Base LANDSAT.....	23
6. Conclusão.....	27

Referências Bibliográficas..... 29

RESUMO

O bioma Cerrado abrange uma vasta área dentro do território brasileiro ocupando uma área em torno de 208 milhões de hectares. Considerando sua extensão, diversidade e fragilidade, o Cerrado necessita estar no enfoque das principais políticas de conservação no Brasil. Algumas ações tornam urgente o desenvolvimento de técnicas que auxiliem na gestão e monitoramento de áreas no Cerrado. Dentre elas estão as conversões de áreas nativas de Cerrado para expansão urbana e agrícola e também a utilização sem cuidados do fogo na limpeza de áreas para agricultura e manejo de pastagens. Dessa forma, o sensoriamento remoto se mostra como uma importante ferramenta. O presente trabalho objetivou a delimitação de áreas queimadas no intermédio do Parque Nacional Chapada dos Veadeiros e a Reserva Particular do Patrimônio Natural Reserva Natural Serra do Tombador entre os anos de 2002 a 2011 utilizando imagens do produto de reflectância de superfície do sensor MODIS. Para isso foram feitos tratamentos nas imagens para atenuar os ruídos comuns em séries temporais. Os tratamentos consistiram na aplicação do filtro de mediana e a transformação Minimum Noise Fraction - MNF. Por fim, foi utilizado o método de subtração do perfil espectral das imagens por uma Média Sazonal estabelecida para a identificação das áreas queimadas. Como forma de validação, foi feita uma comparação dos resultados com uma base de imagens LANDSAT 5 TM, relativas ao período seco de cada ano e também uma base vetorial resultante do processo de classificação supervisionada aplicado também às imagens do sensor TM. Esta metodologia de mapeamento, possibilitará determinar a dinâmica do fogo assim como poderá auxiliar na gestão e monitoramento de áreas no Cerrado.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Fogo; MODIS; Chapada dos Veadeiros; RPPN Serra do Tombador

ABSTRACT

The Cerrado biome covers a wide area within the Brazilian territory, with a estimated area of around 208 million hectares. Considering its length, diversity and fragility, the Cerrado conservation policies needs to be one of the main concerns in Brazil. Some common practices make urgent the development of techniques that assist in the management and monitoring of areas in the Cerrado. Among them are conversions of native Cerrado areas for urban expansion and agricultural use, also the careless use of fire in clearing areas for agriculture and pasture management. Thus, remote sensing is shown as an important tool. This work aimed at the delimitation of burned areas within the National Park Chapada dos Veadeiros and the Private Reserve of Natural Heritage Natural Reserve Serra do Tombador considering the years of 2002 to 2011 using surface reflectance product from MODIS sensor. To reduce the inherent noise from the time series of images some processing were made. The processing consisted of applying the median filter and the Minimum Noise Fraction transformation. Finally, the method of subtracting the spectral profile of the images by a established Seasonal Mean was applied for identification of burned areas. As a form of validation, a comparison was made of the results with data of LANDSAT 5 TM. This data refers to the dry season of each year. Furthermore was used a vector data resulting from the process of supervised classification which was also applied to the TM sensor images. This mapping can be an important resource in the study of the dynamics of fire and a useful method in the management and monitoring of areas in the Cerrado.

Keywords: Remote Sensing; Fire; MODIS; Chapada dos Veadeiros; RPPN Serra do Tombador

1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado abrange uma vasta área dentro do território brasileiro. Ocupa uma área em torno de 208 milhões de hectares (SANO, BARCELOS & BEZERRA, 2001), aproximadamente um quinto do país, e perde em extensão somente para a Floresta Amazônica (RATTER. *et al.* 1997). Considerado como a savana de maior diversidade do mundo, o Cerrado se estende por grande parte do Brasil Central, em diversos tipos de solos e formações geológicas (EITEN, 1972) e apresenta-se em diversas fitofisionomias. Tais fitofisionomias podem ser citadas por sua ocorrência nos interflúvios – Cerradão, Cerrado Sentido Restrito, Campo Cerrado, Campo Sujo e Campo Limpo – e próximo aos cursos d'água – Matas de Galeria e Buritizais (EITEN, 1985).

A ocorrência do fogo é comum no Cerrado brasileiro e em todas as outras savanas do mundo (MIRANDA *et al.* 2002). Atualmente, a quase totalidade dos eventos de fogo é em decorrência da ação antrópica, seja acidentalmente ou intencionalmente, o que altera bastante a dinâmica do fogo, tanto em extensão quanto em frequência (FRANÇA & RIBEIRO, 2008). Entretanto, também existem eventos de queimadas naturais, desencadeadas pela incidência de raios.

Grande parte das queimadas nesse bioma está fortemente relacionada ao desmatamento e posterior utilização do solo para agricultura. Ocorrem também em áreas de pecuária, onde a queimada estimula a rebrota da vegetação, que serve de alimento ao gado, principalmente na estação seca (PIVELLO & COUTINHO, 1992). Embora algumas espécies desse bioma estejam adaptadas aos eventos de fogo e possam até se beneficiar dessa situação, Dias (2006) diz que a ocorrência exagerada do fogo no ecossistema pode gerar alguns impactos negativos (estresses).

Tendo em vista a crescente degradação de seus ambientes, em grande parte por conta da expansão das atividades agropecuárias e da ocorrência do fogo intencional, e considerando sua pequena porcentagem de áreas protegidas (2,2 % segundo KLINK & MACHADO, 2005), torna-se necessário o desenvolvimento de métodos de monitoramento das áreas de Cerrado.

Dessa forma, o sensoriamento remoto se apresenta como uma importante ferramenta para tal monitoramento. O caráter contínuo dos dados utilizados garante a eficiência em trabalhos de detecção de mudanças de uso e cobertura da

terra, variações em decorrência de sazonalidades ou identificação de formações vegetacionais, por exemplo, em diferentes escalas temporais e espaciais (COUTO JUNIOR. *et al.*, 2007.; CARVALHO JUNIOR; HERMUCHE; & GUIMARÃES, 2006).

Estudos sobre fogo comumente têm sido desenvolvidos com a utilização de diferentes métodos de sensoriamento remoto. Os métodos mais comuns são focados na identificação de áreas de fogo através da variação de emissão de energia detectada no momento da combustão ou no posterior mapeamento das cicatrizes de queimadas, onde se tem diferenciação da resposta espectral das áreas de vegetação (GIGLIO *et al.*, 2006; ALMEIDA FILHO & SHIMABUKURO, 2004).

O presente trabalho tem como objetivo a identificação das áreas de queimadas através do método de subtração do perfil espectral de uma série temporal de 10 anos das imagens do sensor MODIS com uma Média Sazonal calculada através das imagens dos diferentes anos. A área analisada compreende a região circundante ao Parque Nacional Chapada dos Veadeiros e a RPPN Serra do Tombador, cujas áreas de incidência de fogo identificadas foram posteriormente comparadas às imagens do satélite LANDSAT, sensor TM 5. Com tal comparação, objetivou-se a validade do método, dando margem, assim, para futuros estudos desse gênero em outras áreas do Cerrado Brasileiro.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para estudo compreende a região entre o Parque Nacional Chapada dos Veadeiros e a Reserva Particular do Patrimônio Natural Reserva Natural Serra do Tombador (Figura 1), limitado pelas coordenadas 13°20'0" S – 14°20'0" S e 47°20'0" W – 48°0'0" W, cobrindo uma parte do setor nordeste do Estado de Goiás.

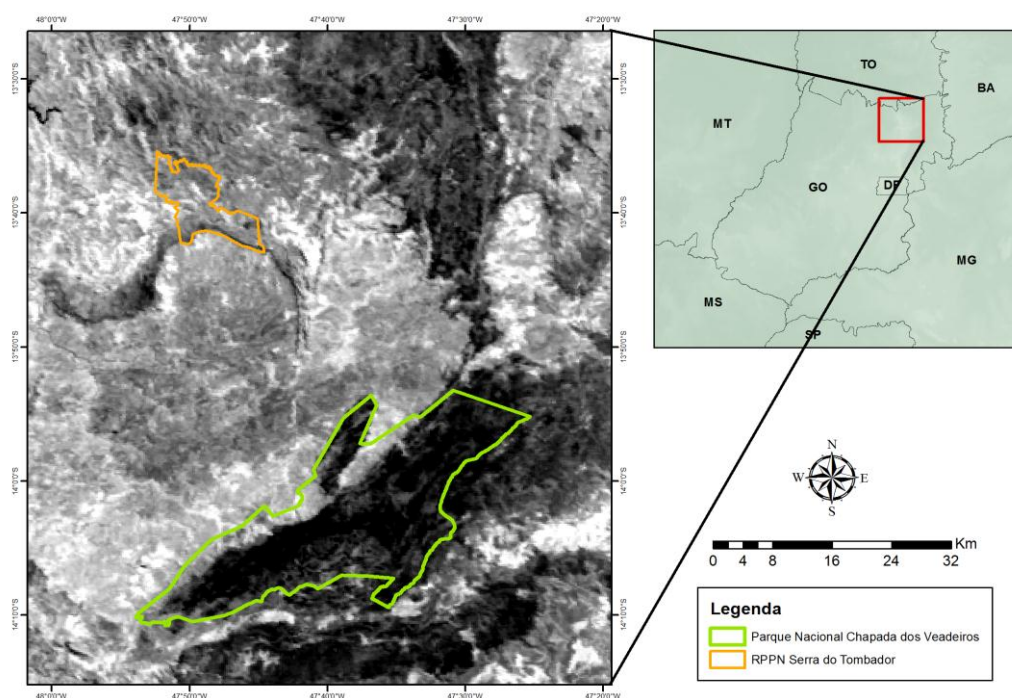


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

A área está completamente inserida dentro do bioma Cerrado e apresenta um mosaico de vegetação savânica, variando de aberta a fechada e também com ocorrências de vegetações campestres e formações florestais (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011). Como principais fitofisionomias apresenta: Cerrado Rupestre; Campo Rupestre; Cerrado Ralo; Campo Sujo; Campo Limpo; Cerrado Denso; Vereda; Mata de Galeria; Mata Mesofítica (Mata Seca) e Cerradão (ICMBIO, 2009).

Tem como clima predominante, segundo a classificação de Köppen, o tipo Aw (tropical semi-úmido com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos). Mas também está sob influência do clima do tipo Tropical de Altitude - CWa.

Essa região apresenta certa homogeneidade climática, pois possui estações bem definidas e pouca variação dos elementos climáticos de um ano para outro.

Em relação a temperatura, pode atingir médias máximas entre 27° e 32°C e médias mínimas entre 8° e 10°C dependendo da época do ano. Vale lembrar que o relevo acidentado da região tem influência na temperatura, onde essa decresce à medida que se aumenta a altitude.

A precipitação média anual varia em torno de 1500 e 1750 mm concentrados, principalmente, nos meses de novembro a março (ICMBIO, 2009). Em alguns meses da época considerada de seca, entre abril e setembro, a precipitação pode chegar à zero.

Essa área está inserida na Faixa de Dobramentos Brasília, dentro da Província Estrutural do Tocantins, e corresponde ao Complexo Montanhoso Veadeiros - Araí. Tem-se então um embasamento granito-gnáissico e também metassedimentos dos grupos Paranoá e Araí.

A região apresenta solos ácidos e normalmente rasos, relacionados a eventos de dissecação que está diretamente associado ao relevo acidentado. Além disso, tem-se o agravamento dos processos erosivos com o sobrepastoreio de áreas de cerrado. Dentre as principais classes de solo encontradas têm-se os latossolos, plintossolos, cambissolos, neossolos e gleissolos.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. FOGO NO CERRADO

Mesmo antes da ocupação do homem no cerrado, o fogo já estava presente. O fogo vem ocorrendo nos ecossistemas há milhões de anos, sendo fator importante na configuração e distribuição dos biomas (BOND & KEELEY, 2005).

O cerrado convive com o fogo há milhares de anos (FRANÇA; RAMOS NETO & SETZER, 2007) onde, antes da ocupação humana e sua utilização intencional, era provocado principalmente pela incidência de raios. Esse bioma apresenta grande resiliência, recuperando-se bem após eventos de queimadas. Algumas espécies suportam o fogo e inclusive estão adaptadas a tais eventos, beneficiando-se dessa situação para sua rebrota e florescimento (DIAS, 2006). Entretanto, Dias (2006) diz que a ocorrência exagerada do fogo no ecossistema pode gerar alguns impactos negativos (estresses).

O homem tem se utilizado do fogo constantemente em áreas de Cerrado, aumentando a exposição desse bioma às queimadas, tanto intencionais quanto acidentais (FRANÇA, 2000). Uma de suas principais ações se refere ao manejo de áreas de pastagens e cultivos agrícolas. É comum a utilização do fogo para a limpeza de novas áreas para fins agrícolas, bem como para o estímulo da rebrota da vegetação em períodos secos, que serve de alimento ao gado (PIVELLO & COUTINHO, 1992).

O fogo reduz a quantidade de biomassa e dependendo da sua quantidade de ocorrência e intensidade, pode causar impactos como a substituição de áreas mais arbóreas por arbustivas ou gramíneas (BOND; WOODWARD & MIDGLEY, 2005), perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos (KLINK & MACHADO, 2005) como também uma redução da biodiversidade em geral.

Porém, não se deve combater o fogo de forma a eliminar totalmente sua ocorrência. O fogo tem papel ecológico importante no Cerrado e sua ausência pode acarretar em um acúmulo de biomassa que, posteriormente, servirá de combustível para a ocorrência de incêndios de grandes proporções (DALDEGAN, 2012). Deve-se então compreender melhor a dinâmica do fogo a fim de fazer seu

manejo de forma adequada, garantindo seu papel ecológico e mitigando seus impactos.

3.2. SENSORIAMENTO REMOTO E FOGO

Segundo MENEZES & ALMEIDA (2012), uma definição mais científica de sensoriamento remoto seria: *uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres*. Dessa forma, tem-se o imageamento através das medições da radiação eletromagnética emitida pelos objetos.

O fogo causa alterações na superfície, já que modifica a vegetação e deposita cinzas por onde passa. Essas modificações mostram-se como cicatrizes de queimadas e são mais facilmente identificáveis através de sensoriamento remoto, pois se tem uma diferenciação na radiação eletromagnética emitida.

Estudos sobre fogo comumente têm sido desenvolvidos com a utilização de diferentes métodos de sensoriamento remoto. Os métodos mais comuns são focados na identificação de áreas de fogo através da variação de emissão de energia detectada no momento da combustão ou no posterior mapeamento das cicatrizes de queimadas, onde se tem diferenciação da resposta espectral das áreas de vegetação (GIGLIO *et al.*, 2006; ALMEIDA FILHO & SHIMABUKURO, 2004).

Existem precedentes da utilização de imagens do sensor MODIS na temática de fogo. CHUVIECO *et. al* (2008) realizaram o mapeamento de áreas queimadas na América Latina a partir do produto de reflectância de superfície do sensor MODIS. Um dos métodos para a delimitação dessas áreas foi a detecção de mudanças. Para a validação, foi feita a comparação do mapeamento com imagens do satélite LANDSAT e CBERS, através de análise visual. Apesar da discrepância entre as resoluções espaciais dos sensores utilizados para validação e o MODIS, o mapeamento apresentou grandes congruências, principalmente quando as áreas queimadas superavam 1500 hectares.

MAEDA *et. al.* (2009) utilizaram séries temporais do sensor MODIS para detectar áreas de grande vulnerabilidade e risco de incêndios florestais em três municípios da Amazônia brasileira. A metodologia emprega redes neurais para

realizar a análise. A principal variável de análise foi o índice NDVI calculado com as imagens MODIS em diferentes períodos precedendo a estação de incêndios de 2005. Foram selecionadas áreas com cicatrizes do incêndio como amostra de controle do método e posteriormente o modelo foi simulado para um dos municípios com dados anteriores ao evento de 2005. Os resultados se mostraram consistentes com os pontos coletados para controle.

O trabalho de MAEDA et. al. (2011) apresentou uma metodologia de identificação de áreas com riscos de incêndio na floresta amazônica usando imagens MODIS e o método *Change Vector Analysis*. Apesar de não conseguir fazer uma avaliação estatística que mostrasse as áreas de risco de incêndio dentro de cada município, foi possível correlacionar satisfatoriamente as áreas mapeadas como em risco de incêndio com os *hotspots* mostrados pelo produto MODIS de detecção de fogo ativo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. SENSOR MODIS

O sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é um dos instrumentos componentes dos satélites TERRA e AQUA, lançados nos anos de 1999 e 2002, respectivamente. Tal sensor tem a vantagem de poder colaborar com a avaliação das mudanças globais, já que possui ampla cobertura espacial e alta resolução espectral (BARKER *et al.*, 1992 *apud.* CARVALHO JÚNIOR *et al.* 2009). Possui também alta resolução temporal, de 1 a 16 dias (JUSTICE *et al.*, 2002) e suas 36 bandas espectrais estão adequadas para a observação das propriedades da vegetação e cobertura terrestre, da temperatura dos oceanos e das propriedades das nuvens (SALOMONSON & TOLL, 1991).

As imagens do sensor MODIS estão disponíveis para download de forma gratuita no site da agência norte-americana NASA (National Aeronautics and Space Administration), onde já são oferecidas imagens georreferenciadas e corrigidas de efeitos atmosféricos, tais como nuvens, aerossóis, entre outros (TELLES *et al.*, 1995; WOLF *et al.*, 2002).

O presente trabalho utilizou-se de uma sequência de imagens entre os anos de 2002 e 2011 do produto de reflectância de superfície (MOD09Q1) desse sensor, considerando somente a banda 2 (841-876 nm). Tal produto é resultado de uma composição que utiliza oito imagens diárias consecutivas com resolução espacial de 250 m. Nesse período de oito dias, retêm-se a melhor observação em cada célula para compor a imagem resultante, sendo esta, portanto, uma maneira de eliminar ou reduzir ruídos, como a quantidade de nuvens na imagem.

4.2. CONFECÇÃO DO CUBO 3D TEMPORAL

Para a confecção do cubo temporal foi feito o empilhamento das imagens MODIS de cada ano separadamente, organizados de forma sequencial e crescente dos dias, gerando assim dez cubos no total. Com isso, as mudanças na reflectância de cada pixel se revelam numa variação no perfil espectral da imagem ao longo do tempo. Dessa forma, os eixos “x” e “y” do cubo (figura 2) representam as

coordenadas geográficas, o eixo “z” representa o tempo (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2009).

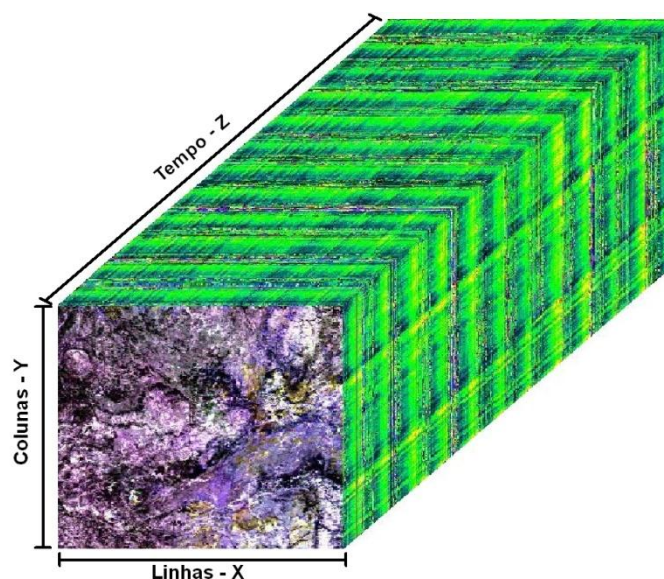


Figura 2. Representação do cubo 3D temporal de imagens do sensor MODIS

4.3. TRATAMENTO DO RUÍDO

É comum nos dados das séries temporais o aparecimento de ruídos decorrentes, entre outros motivos, da presença de nuvens, fatores atmosféricos ou fatores do próprio sensor, como quando há oscilação, por exemplo. Tais interferências podem ser identificadas devido à sua discrepância em relação aos dados circunvizinhos. Portanto, de forma a atenuar, ou até mesmo eliminar tais ruídos, pode-se valer da utilização de alguns filtros e transformações. No tratamento dos dados para o presente trabalho, foi utilizado o método de filtragem temporal por mediana e a transformação MNF.

4.3.1. FILTRO DE MEDIANA

O processo de filtragem por mediana utilizado consiste em um procedimento estatístico gerado por uma janela móvel de dimensão pré-definida que é passado ao longo das imagens empilhadas. Quando se aplica o filtro de mediana comum, tem-se a passagem da janela de filtragem no plano x,y. O procedimento consiste no ordenamento sequencial dos valores dos pixels e posterior seleção do valor central. No filtro de mediana temporal, o qual foi aqui utilizado, a janela de

filtragem, com tamanho pré-estabelecido de 7x7, perpassa ao longo do plano z, de forma a reduzir os ruídos no âmbito espectral da imagem.

4.3.2. TRANSFORMAÇÃO MNF (*MINIMUM NOISE FRACTION*)

A transformação MNF (*Minimum Noise Fraction* ou Fração de Ruído Mínima), inicialmente proposta para o tratamento de imagens hiperespectrais (Green et al., 1998), pode também ser uma importante ferramenta para o processamento de imagens multitemporais (CARVALHO *et al.*, 2006). Essa transformação, como procedimento estatístico no âmbito da Análise dos Principais Componentes (APC), é capaz de distinguir as componentes de sinal e ruído nas séries temporais MODIS. Quando se efetua a transformação, podem-se identificar no cubo as bandas relativas ao sinal e ao ruído a partir da avaliação da qualidade da imagem e do gráfico de autovalores. As imagens mostradas nas primeiras componentes do MNF são mais nítidas e apresentam poucas interferências e, à medida que se avança para as últimas componentes, percebe-se o decaimento da qualidade da imagem. A curva no gráfico de autovalores, por sua vez, mostra em seu ponto de inflexão a separação das frações de sinal e ruído.

Após a etapa da transformação MNF, pode ser feito o procedimento inverso. A transformação inversa MNF (*Inverse MNF Transform*) permite a seleção das componentes que contém predominantemente os sinais e sua posterior redistribuição para o número original de bandas do cubo.

4.4. DIFERENÇA SAZONAL

4.4.1. ESTABELECIMENTO DA MÉDIA SAZONAL

Os alvos possuem um comportamento natural no decorrer do ano. Áreas com solo exposto, por exemplo, tem certa resposta no perfil espectral, que não apresenta grandes variações no comportamento e, portanto, não se tem grandes amplitudes no perfil espectral. Áreas com vegetação, por outro lado, possuem uma sazonalidade que é bem representada no perfil espectral ao longo do ano. Assim, observa-se que no período úmido, há um crescimento da biomassa da vegetação e, por consequência, tem-se uma movimentação ascendente no perfil. Já nos períodos secos, observa-se o movimento contrário, ou seja, descendente. Essa

sucessão de movimentos ascendentes e descendentes gera uma curva característica da fenologia das plantas.

Um cubo de média relativo a todos os anos foi feito a partir de uma operação matemática considerando os cubos anuais. A operação consistiu na soma dos cubos de imagens separados por ano e posterior divisão do resultado pela quantidade de anos, como pode ser observado na equação abaixo.

$$\text{Média Sazonal} = \frac{(\text{Cubo2002} + \text{Cubo2003} + \text{Cubo2004} + \dots + \text{Cubo2011})}{10}$$

4.4.2. DIFERENÇA SAZONAL

Com a definição da curva média sazonal, foi feita a subtração da curva de cada ano por esta. Desse modo as imagens resultantes dessa subtração destacam as feições anômalas ao comportamento comum dos alvos. Quando há a ocorrência de fogo, por exemplo, há também a perda de grande parte da vegetação, principalmente gramínea e arbustiva, o que ocasiona em uma resposta totalmente diferente ao comportamento normal. Assim, as áreas queimadas são destacadas como feições anômalas e, portanto, tornam-se mais fáceis de mapear.

O procedimento matemático realizado para a produção da Diferença Sazonal dos diferentes anos pode ser exemplificado com as seguintes equações:

$$\text{Diferença Sazonal 2002} = \text{Cubo2002} - \text{Média Sazonal}$$

$$\text{Diferença Sazonal 2003} = \text{Cubo2003} - \text{Média Sazonal}$$

$$\text{Diferença Sazonal 2004} = \text{Cubo2004} - \text{Média Sazonal}$$

⋮

$$\text{Diferença Sazonal 2011} = \text{Cubo2011} - \text{Média Sazonal}$$

4.5. CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS

Para a identificação e delimitação dos eventos de queimadas foi feita uma análise do perfil espectral das Diferenças Sazonais de forma que pudesse ser definido o melhor limiar de separação dessas áreas. Esse limiar foi usado para a classificação dos eventos de fogo através de uma máscara. Tal máscara atribui o valor 1 para todas as feições que se apresentarem dentro de um intervalo que tem

esse limiar como valor máximo e o valor 0 para aqueles que não estiverem contidos nesse intervalo. Tem-se então, como resultado, uma imagem com valores binários em que as áreas de queimadas possuem valor 1.

Após essa etapa, somente as áreas de queimadas foram convertidas do formato raster para vetor para a posterior comparação com a base do sensor TM do satélite LANDSAT 5.

4.6. COMPARAÇÃO COM A BASE LANDSAT 5 – TM

Para a verificação da validade do método foi usada uma base de comparação elaborada por DALDEGAN (2012), que utilizou imagens LANDSAT 5 – TM e classificação supervisionada com o algoritmo Mahalanobis para o mapeamento de áreas queimadas. Essa base, em formato vetorial, corresponde à área da Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Reserva Natural Serra do Tombador e também uma área de amortecimento em torno dessa reserva com a distância de 10 km (figura 3). Essa base vetorial de controle está inserida na área de estudo do presente trabalho, mas não abrange sua totalidade. Entretanto é interessante para validação do método, o que pode possibilitar uma futura aplicação em outras áreas.

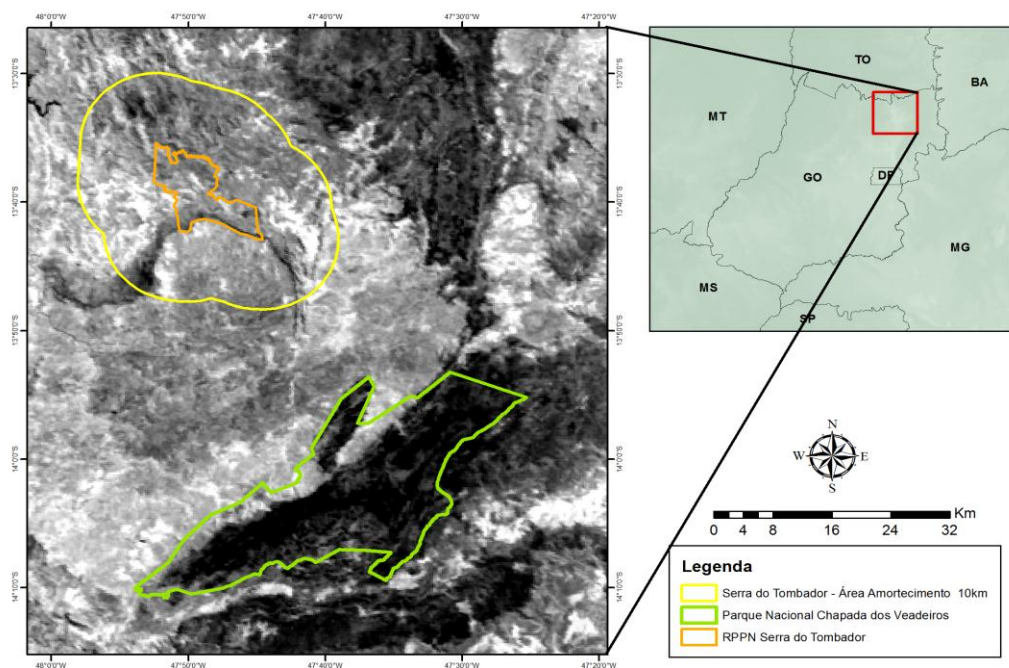


Figura 3. Localização da área de controle. Zona de amortecimento de 10 km em torno da RPPN Serra do Tombador.

Foram também utilizadas algumas imagens relativas aos períodos mais secos (julho a setembro) do sensor TM do satélite LANDSAT 5, órbitas-ponto 221-69 e 221-70, como base para a averiguação visual da validade do método de delimitação de áreas queimadas fora da área da base vetorial de controle anteriormente mapeada. Uma composição colorida das imagens desse sensor, como a R3G4B5, possibilita uma boa visibilidade das áreas onde houve focos de incêndio. Assim, pode-se fazer uma comparação visual das áreas mapeadas através das imagens do sensor MODIS com as áreas queimadas observadas nas imagens TM.

5. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DO TRATAMENTO DO RUÍDO

A aplicação conjunta do filtro de mediana e a transformação MNF foi bastante eficiente no procedimento de tratamento dos ruídos presentes nas imagens. A filtragem por mediana, utilizada com janela móvel de 7x7 e passo igual a 1, foi responsável pela eliminação de valores muito discrepantes, o que resultou em uma forte redução da amplitude do perfil espectral (figura 4), além de uma expressiva suavização de tal perfil. No aspecto visual, pôde-se notar grande melhoria, entretanto, algumas imagens ainda apresentavam certa quantidade de ruídos que dificultavam sua interpretação. Os resultados dessa filtragem foram também importantes, pois, a atenuação de grande parte dos ruídos potencializa a aplicação da transformação MNF.

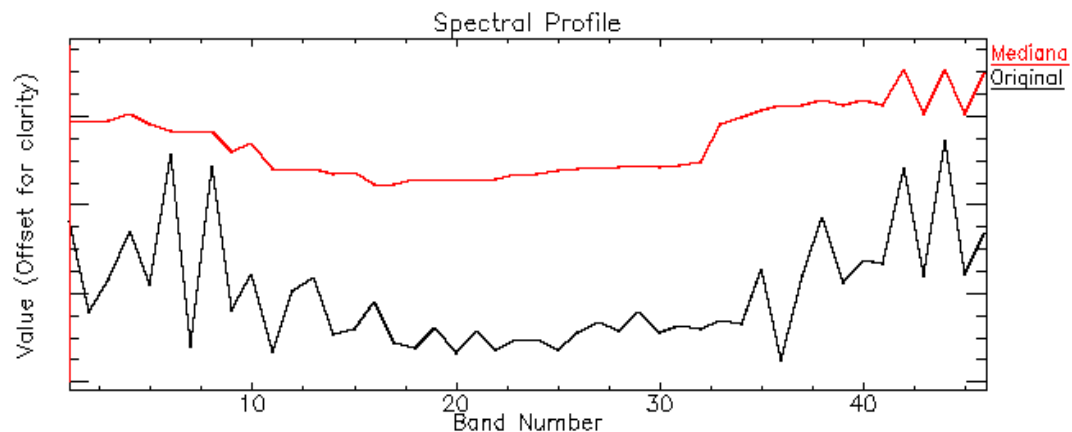


Figura 4. Comparação do perfil espectral da imagem original e filtrada por mediana

O emprego da transformação MNF possibilitou a segregação das componentes de sinal e ruído dentro do cubo de imagens. Com a análise dessas componentes, percebeu-se que as primeiras imagens apresentavam maior quantidade de sinal e, por consequência, as imagens se mostravam límpidas e sem qualquer tipo de interferência. Já com o avanço na sequência das componentes, percebeu-se uma maior degradação, de forma que nas últimas imagens, não se conseguia distinguir feição alguma devido à grande quantidade de ruídos.

A partir da análise visual das imagens e também do gráfico de autovalores (figura 5), gerado na transformação MNF, foi feita a seleção das componentes que continham predominantemente os sinais e que seriam redistribuídas para o

número original de bandas do cubo. Foram então seleccionadas as 10 primeiras componentes MNF como dados de entrada no procedimento inverso dessa transformação (Inverse MNF).

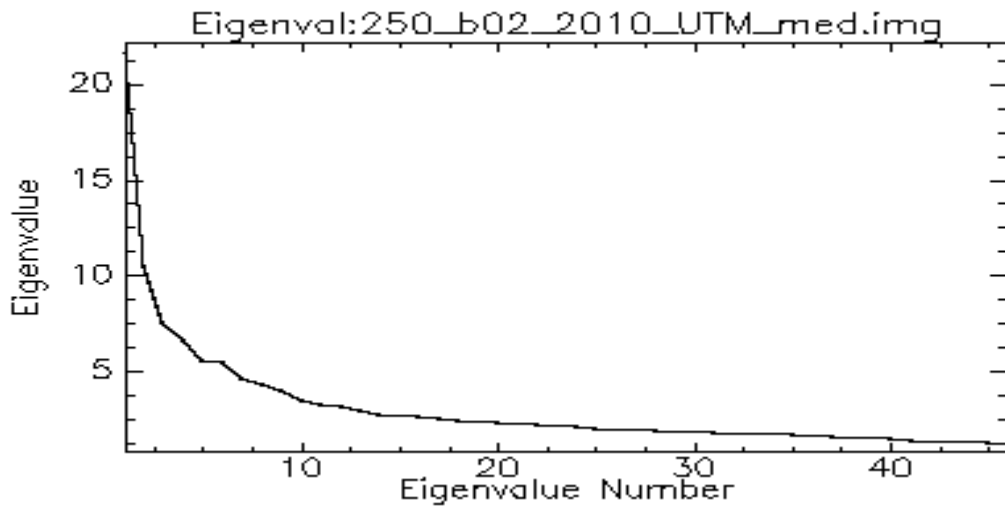


Figura 5. Gráfico de Autovalores.

A transformação inversa gerou bons resultados que puderam ser observados pela grande melhoria da qualidade visual das imagens, como também pela significativa suavização do perfil espectral dos cubos (figuras 6).

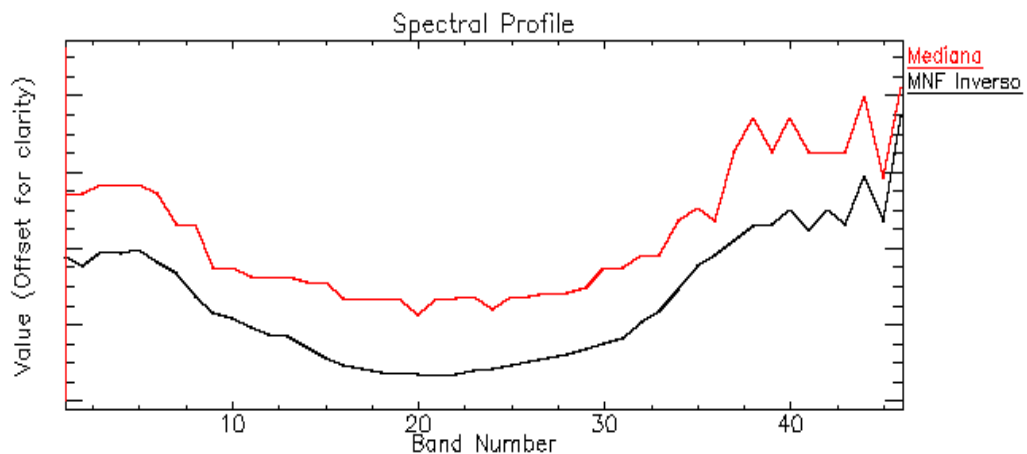


Figura 6. Comparação do perfil espectral da imagem filtrada por mediana e o inverso do MNF

5.2. RESULTADO DA DIFERENÇA SAZONAL

O emprego da operação matemática de subtração utilizando os perfis dos cubos de todos os anos abordados e a Média Sazonal foi de total importância para a identificação das diferenças, ou discrepâncias sazonais, em que se destacam as áreas de ocorrência de queimadas. Os valores que se mostraram muito dispersos

em relação à curva média sazonal foram bem destacados na imagem resultante, possibilitando uma boa acurácia na delimitação das feições de interesse.

As áreas queimadas apresentam-se nas imagens com uma coloração mais escura (figura 7). O que acontece é que quando há ocorrência de fogo, há uma diminuição dos valores de reflectância daquela determinada área e, por consequência, há também queda no perfil espectral da imagem. Por conta disso, os baixos valores que aparecem na ocorrência de queimadas se tornam menores quando se faz a subtração. E é dessa forma que se dá destaque à essas áreas.

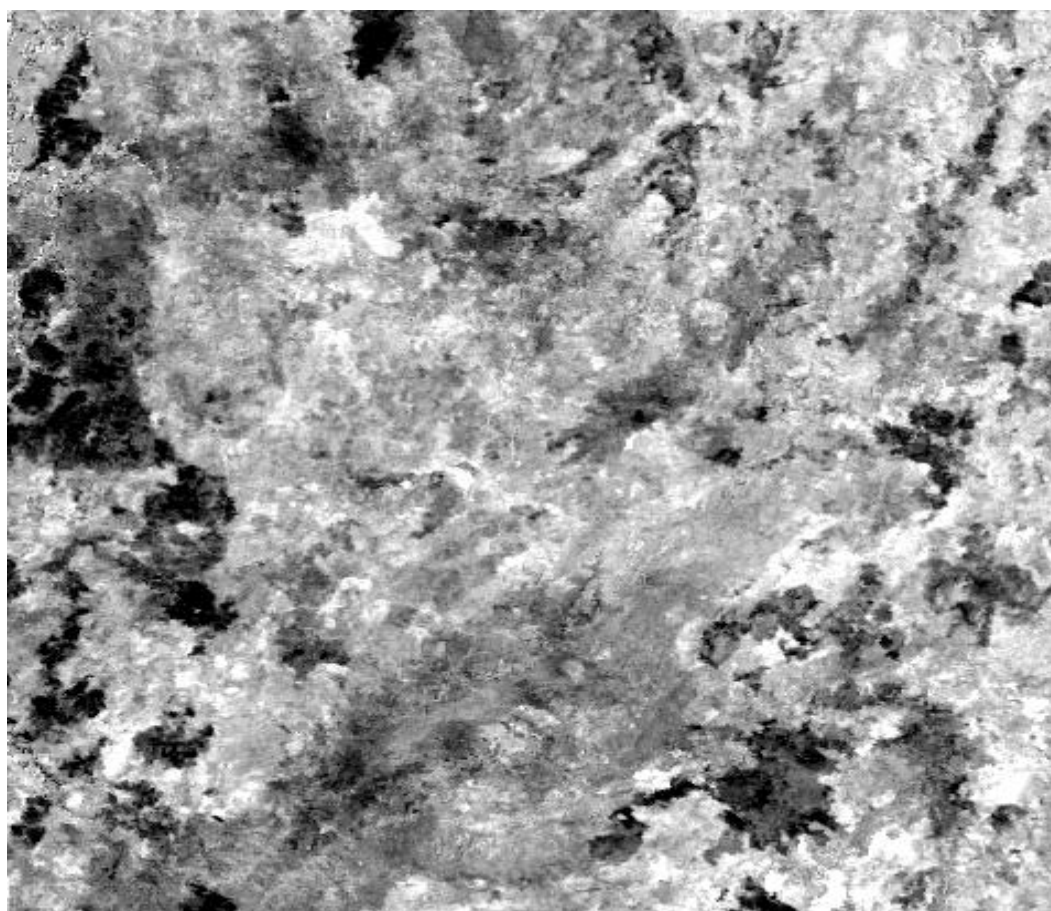


Figura 7. Exemplo do resultado da Diferença Sazonal - ano 2010.

5.3. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO

Para a classificação foi utilizada uma máscara que permitiu a extração das áreas queimadas. Foram realizados diversos testes com diferentes limiares como forma de calibrar melhor a extração e, assim, obter com maior precisão as áreas representativas de queimadas. Foi-se então definido o valor de -300 para o limiar superior e -999999 para o limiar inferior. Quando os valores do limiar superior se

aproximavam mais de zero, os resultados ficavam mais poluídos, pois agrupavam uma maior quantidade de feições além das áreas queimadas. E quando tal limiar era menor que o definido (-300), os resultados mostravam-se menos poluídos, porém, em grande parte dos casos, os polígonos delimitados não abrangiam toda a área queimada.

Assim, com a definição do valor de limiar para a confecção da máscara, foi possível classificar as imagens dos diversos anos de forma a obter os polígonos das áreas onde havia ocorrido queimadas. O método de utilização da máscara definiu então duas classes: as áreas com valores iguais a 1 (um), que correspondiam somente às queimadas; e as áreas com valores iguais a 0 (zero), que correspondiam à todas as outras feições.

Fez-se então a conversão das áreas com valores iguais a 1 (um) para o formato *shapefile*, para melhor comparar com a base LANDSAT.

5.4. COMPARAÇÃO COM A BASE LANDSAT

Com as áreas delimitadas e convertidas para o formato vetorial, foi feita a comparação com a base LANDSAT elaborada por DALDEGAN (2012). Desse estudo anterior foram aproveitados os vetores das áreas queimadas mapeadas durante quase todo o período de seca dos anos de 2003 a 2010. Foi então realizada uma intersecção entre os vetores provenientes do mapeamento com MODIS e o TM para a averiguação da área congruente. Os valores encontrados estão mostrados na tabela abaixo (tabela 1).

Ano	Área Queimada MODIS Dentro do Limite - 10 km (ha)	Área Queimada TM Dentro do Limite - 10 km (ha)	Área Congruente (ha)	Erro Tipo I - (ha)	Erro Tipo II - (ha)
2003	44204,7	8503,7	5810,1	2693,6	38394,6
2004	12806,9	30345,4	11079,1	19266,3	1727,8
2005	4057,4	7497,7	267,9	7229,8	3789,5
2006	9806	13391,4	8179,7	5211,7	1626,3
2007	36731,3	24694,8	16887	7807,8	19844,3
2008	9282,5	1718,9	639,9	1079	8642,6
2009	1649,4	7353,7	1185	6168,7	464,4
2010	18396,4	23245,6	13564,9	9680,7	4831,5

Tabela 1. Valores de congruência e teste de hipótese entre o mapeamento com MODIS e TM

Tomando-se como base a afirmação de que existe o fogo mapeado pelo sensor TM, foi possível traçar um teste de hipóteses para a averiguação dos erros. Na tabela acima, o erro do tipo I mostra o quanto de área correspondia a queimada delimitada pelo sensor TM, mas que não foram mapeadas na utilização de MODIS. Já no erro do tipo II, mostra-se o quanto de área foi mapeada como queimada pelo emprego do MODIS, mas que na verdade não correspondiam às áreas queimadas mapeadas pelo TM.

Como pode ser observado, as áreas mapeadas possuem, em alguns anos, uma considerável congruência entre si. Além disso, muitos polígonos mapeados mostravam formas semelhantes às previamente mapeadas com imagens TM (figura 8), o que valida o método de identificação de áreas queimadas com imagens MODIS aqui utilizado.

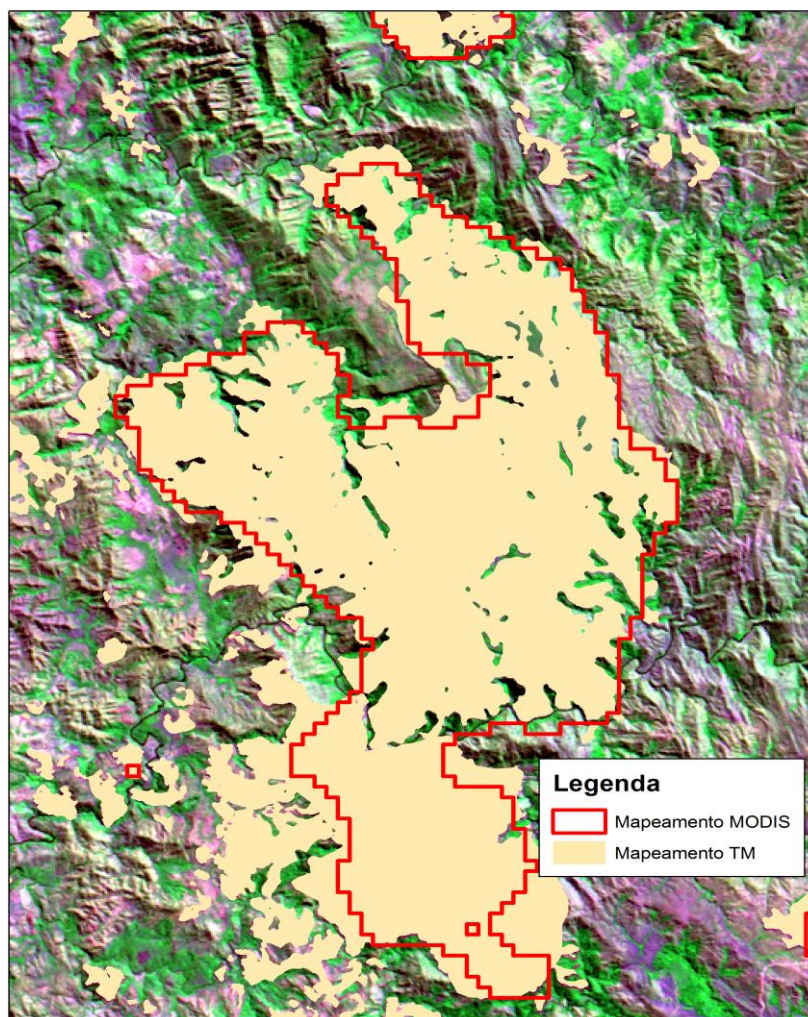


Figura 8. Comparação do polígono mapeado com MODIS e TM.

A base desenvolvida por DALDEGAN (2012) que se mostrou bem mais precisa por conta da seleção de amostras para a composição da classificação supervisionada e também pela maior resolução espacial das imagens LANDSAT, recebeu tratamento manual, através da edição dos polígonos. Isto pode ter contribuído para algumas discrepâncias entre as bases, visto que não foram realizadas edições manuais nessa base MODIS, e o tratamento realizado restringiu-se basicamente à utilização de uma filtragem por mediana com janela 5x5 nos resultados da aplicação da máscara em cada ano (figura 9).

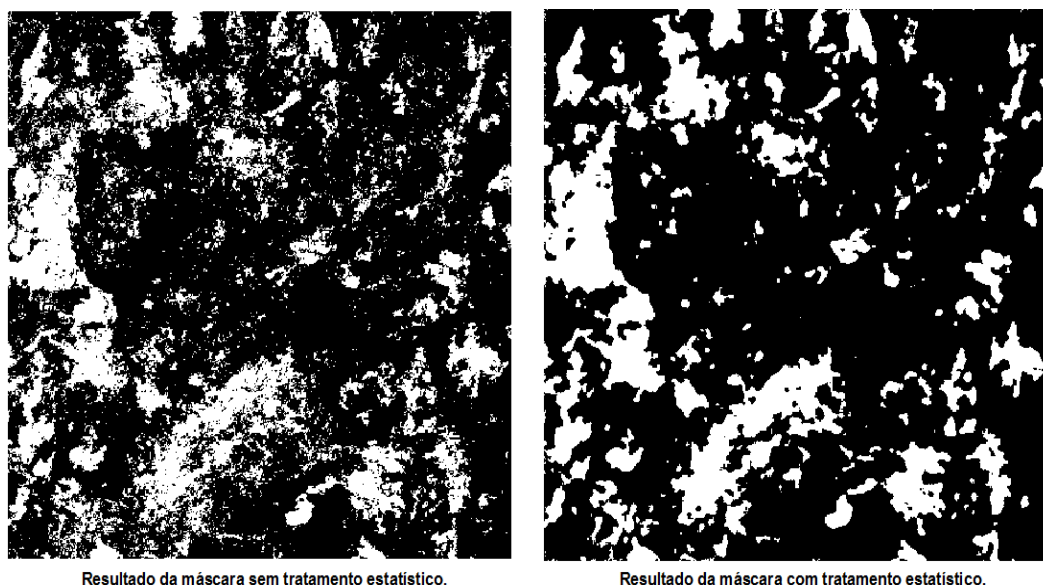


Figura 9. Comparação dos resultados da aplicação da máscara antes e depois da filtragem por mediana.

A comparação com as imagens do sensor TM através de interpretação visual no restante da área de estudo, ou seja, fora da área de controle de 10 km em torno da RPPN Serra do Tombador, mostrou bons resultados. Comparar visualmente a base MODIS com as imagens LANDSAT contribuiu também para a validação do método, pois se pôde analisar a relação entre alguns polígonos delimitados e algumas cicatrizes que se apresentaram na imagem TM (figura 10). Porém, observou-se certa limitação, já que esta análise comparou a base MODIS, um dado dinâmico que representa as áreas de ocorrência de queimadas ao longo de todo o ano, com um dado estático, como a imagem LANDSAT, representando as feições apenas para aquela data específica. Assim, seria pouco provável haver total correspondência nas áreas delimitadas com auxílio de séries temporais de imagens MODIS e as cicatrizes mostradas por uma única imagem TM.

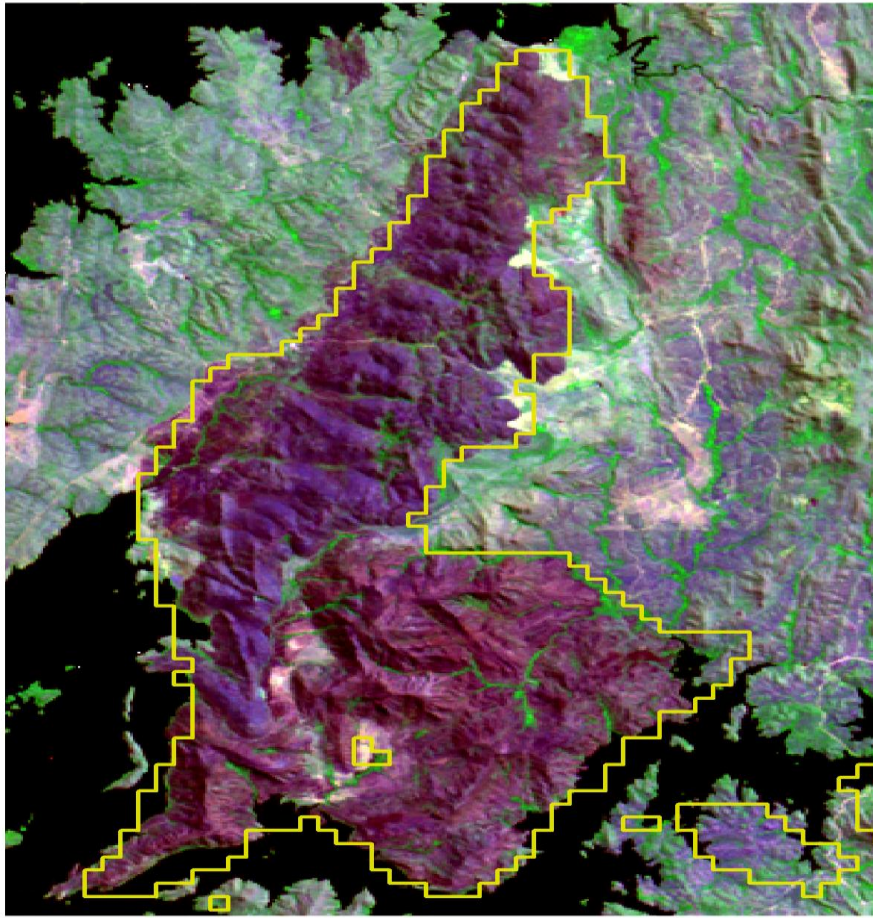


Figura 10. Coincidência em forma do polígono mapeado com MODIS e a área queimada.

Contudo, esse tipo de averiguação não perde sua importância, pois a partir delas foi possível a checagem do mapeamento não só em relação à área, mas também em relação à forma dos polígonos.

6. CONCLUSÃO

Apesar da ocorrência comum do fogo no Cerrado, não se tem muitos conhecimentos acerca de seus reais impactos. Dessa forma a delimitação de áreas queimadas é interessante como um complemento para estudos da dinâmica do fogo e também pode contribuir para gestão e monitoramento de espaços desse bioma tão extenso.

O presente trabalho objetivou a delimitação de áreas queimadas através do método de subtração do perfil espectral de imagens do produto de reflectância de superfície do sensor MODIS por uma Média Sazonal definida. As áreas mapeadas correspondem às áreas queimadas ao longo de cada ano e foram comparadas com uma base vetorial de áreas queimadas anteriormente mapeadas e também com imagens do sensor TM do satélite LANDSAT.

O processo de tratamento das imagens mostrou-se bastante eficaz, pois conseguiu atenuar grande parte dos ruídos presentes. A filtragem por mediana eliminou os ruídos mais grosseiros e a aplicação do MNF e sua operação inversa suavizaram as imagens tanto no aspecto visual como no perfil espectral. Tais tratamentos foram de total importância para que se pudesse ter maior acurácia no procedimento de identificação dos locais de incêndio.

A subtração dos cubos de imagens pela Média Sazonal apresentou resultados interessantes, onde se pode observar na imagem resultante o destaque para as áreas de interesse, ou seja, queimadas.

Na comparação com a base TM, tanto vetorial em torno da RPPN Serra do Tombador como também em formato raster no restante da área de interesse desse estudo, observaram-se algumas áreas e formas congruentes, o que foi importante para dar margem à validação do método, mas também se observou alguns resultados discrepantes. Tais discrepâncias provavelmente ocorreram por conta de diferenças na resolução espacial e espectral dos sensores cujas bases resultantes foram comparadas, bem como a ausência de um tratamento e edição minuciosos na base MODIS, ou até mesmo pelo fato da base proveniente do MODIS considerar as ocorrências de queimadas durante todo o período do ano e não só a época seca, considerada na base TM.

O método mostrou-se adequado para a delimitação de áreas queimadas em escala regional. A identificação de fogo em pequenas áreas se torna complicada principalmente pela resolução espacial do sensor MODIS. Uma calibragem na Média Sazonal e um pós-processamento mais minucioso podem elevar a exatidão do mapeamento tornando-o ainda mais interessante para a utilização em outros ambientes.

Dessa forma, tal método pode ser um significativo recurso para a compreensão da dinâmica do fogo, bem como um instrumento de auxílio à gestão e monitoramento de espaços no Cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, R., & SHIMABUKURO, Y. E. Monitoring biomass burning in the Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**. 25(24). p. 5537-5542. 2004.

BOND, W. J.; KEELEY, J. E. **Fire as a global 'herbivore'**: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20 (7), pp 387-394, 2005.

BOND, W. J.; WOODWARD, F. I.; MIDGLEY, G. F. **The global distribution of ecosystems in a world without fire**. *In: New Phytologist* Volume 165, Issue 2, pages 525–538, February, 2005.

CARVALHO JÚNIOR, O. A. HERMUCHE, P. M. & GUIMARÃES, R. F. Identificação Regional da Floresta Estacional Decidual na Bacia do Rio Paranã a partir da Análise Multitemporal de Imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**. Vol. 24 (3). p. 319-332, 2006.

CARVALHO JÚNIOR, O. A. *et al.* 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., COUTO JÚNIOR, A. F., SILVA, N. C., MARTINS, E. S., CARVALHO, A. P. F., GOMES, 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.

CHUVIECO, E., OPAZO, S., SIONE, W., DEL VALLE, H. ANAYA, J., DI BELLA, C. CRUZ, I., MANZO, L., LÓPEZ, G., MARI, N., GONZÁLEZ-ALONSO, F., MORELLI, F., SETZER, A., CSISZAR, I., KANPANDEGI, J.A., BASTARRICA, A., LIBONATI, R. Global Burned-land Estimation in Latin America Using MODIS Composite Data. **Ecological Applications**. 18(1). p. 64-79. 2008.

COUTO JÚNIOR, A. F., CARVALHO JÚNIOR, O. A., MARTINS, E. S., IMAÑA ENCINAS, J. Identificação das Assinaturas Temporais NDVI das Principais Fisionomias da Região do Ecomuseu do Cerrado. **Espaço e Geografia**. (UnB), Brasília, v. 10, n. 1, p. 173-189, 2007.

DALDEGAN, G. A., **Análise Espaço-Temporal de Queimadas em Áreas Nativas de Cerrado: RPPN Serra do Tombador, GO**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia. Universidade de Brasília. 56 f. 2012.

DIAS, B.F.S. Degradação ambiental: os impactos do fogo sobre a biodiversidade do cerrado. In: Gary, I.; Becker, B.K. **Dimensões humanas da biodiversidade**. Petrópolis. Vozes. p. 187-260. 2006.

EITEN G. The Cerrado Vegetation of Brazil. **Botanical Review**, 38(2). p. 201–341. 1972.

EITEN, G. Vegetação. In: Novaes Pinto, M. ed. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2 ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p.17-73. 1985.

FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000.

FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. **O fogo no Parque Nacional das Emas**. MMA, Série Biodiversidade V. 27, 2007.

FRANÇA & RIBEIRO. **Mapeamento de queimadas no Parque Nacional da Serra do Cipó e na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, MG: 1984-2007** - ICMBio, 75p. 2008.

FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO. **Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador**. Supervisão: Gustavo Adolfo Gatti. 2011.

GIGLIO, LG. R. VAN DER WERF, J. T. RANDERSON, G. J. COLLATZ, KASIBHATLA. P.S. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. **Atmospheric Chemistry and Physics**. 6. p. 957- 974. 2006.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. Brasília, 2009.

JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F., MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. In: **Remote Sensing of Environment**. 83: p. 3 –15, 2002.

KLINK, C.A. & MACHADO, R.B. Conservation of Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*. Vol.19, p.707-713. 2005.

MAEDA, E.E., FORMAGGIO, A.R., SHIMABUKURO, Y.E., ARCOVERDE, G.F.B. HANSEN, M.C., Predicting forest fire in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and artificial neural networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 11. p. 265-272. 2009.

MAEDA, E. E., ARCOVERDE, G.F.B., PELLIKKA, P.K.E., SHIMABUKURO, Y.E., Fire risk assessment in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and change vector analysis. **Applied Geography**. 31. p. 76-84. 2011.

MENESES, P.R., ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, v.1, 2012.

MIRANDA, H.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MIRANDA, A.C. The fire factor. In: Oliveira, P.S.; Marquis, R.J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York, Columbia University Press, p. 51-68. 2002.

PIVELLO, V. R. & COUTINHO, L. M. Transfer of Macro-Nutrients to the Atmosphere during Experimental Burnings in an Open Cerrado (Brazilian Savanna). **Journal of Tropical Ecology**. Vol. 8, No 4: p. 487-49. 1992.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F. & BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to Its Biodiversity. **Annals of Botany**. Vol.80, p. 223-230. 1997.

SALOMONSON, V. V., & TOLL, D. L. Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS moderate resolution imaging spectrometer-nadir

(MODIS-N) facility instrument. In: **Advances in Space Research**, 11(3), p. 231-236, 1991.

SANO E.E., BARCELLOS A.O. & BEZERRA H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, 22(3): p. 2–15. 2001.

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

WOLF, R.E.; NISHIHAMA, M.; FLEIG, A.J.; KUYPER, J.A.; ROY, D. P.; STOREY, J.C.; PATT, F. S. Achieving Sub-Pixel geolocation accuracy in Support of MODIS Land Science. **Remote Sensing of Environment**, vol. 83, n.1-2, p. 31-49, 2002.