



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

CÍNTIA OHANA MARQUES NEVES

**CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DO
TOCANTINS NO ANO DE 2014**

**GURUPI - TO
2016**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

CÍNTHIA OHANA MARQUES NEVES

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DO TOCANTINS NO ANO DE 2014

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Batista

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

Co-orientador: Dr. Edmar Vinícius de Carvalho

**GURUPI - TO
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

N518c Neves, Cíntia Ohana Marques.
 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DO
 TOCANTINS NO ANO DE 2014. / Cíntia Ohana Marques Neves. –
 Gurupi, TO, 2016.
 45 f.

 Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
 Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
 Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2016.

 Orientador: Antonio Carlos Batista

 Coorientador: Marcos Vinicius Giongo Alves

 1. Cerrado. 2. Componentes Principais. 3. Fogo. 4. Imagens
 Landsat. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde
que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica
da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

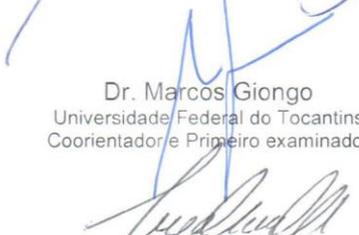


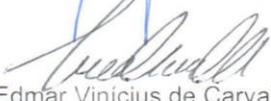
Defesa nº 026/2016

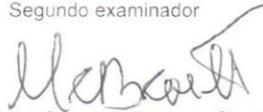
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CINTHIA OHANA MARQUES NEVES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

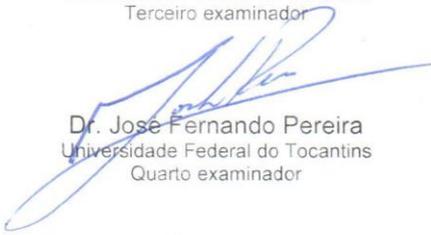
Aos 17 dias do mês de junho do ano de 2016, às 09:00 horas, na sala 01, do edifício Anfiteatro, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. ANTONIO CARLOS BATISTA da Universidade Federal do Paraná, Prof. Dr. MARCOS GIONGO da Universidade Federal do Tocantins, Profa. Dra. MARIA CRISTINA BUENO COELHO da Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. EDMAR VINÍCIUS DE CARVALHO da Universidade Federal do Tocantins e Prof. Dr. JOSÉ FERNANDO PEREIRA da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de **CINTHIA OHANA MARQUES NEVES**, intitulada "**Caracterização das áreas queimadas no estado do Tocantins no ano de 2014**". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-a ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Dr. Antonio Carlos Batista
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora


Dr. Marcos Giongo
Universidade Federal do Tocantins
Coorientador e Primeiro examinador


Dr. Edmar Vinícius de Carvalho
Universidade Federal do Tocantins
Segundo examinador


Dra. Maria Cristina Bueno Coelho
Universidade Federal do Tocantins
Terceiro examinador


Dr. Jose Fernando Pereira
Universidade Federal do Tocantins
Quarto examinador

Gurupi, 17 de junho de 2016.


Dr. Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais



DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

À Deus por ter-me concedido o dom da vida, todas as bênçãos que tenho realizado, por iluminar os meus passos, por ter-me guiado e protegido ao longo dessa jornada e durante toda a minha vida, por sempre me proporcionar força e fé para enfrentar qualquer batalha.

Aos meus pais, Simone e Antônio, por sempre torcerem por mim, pelos ensinamentos, carinho, compreensão, incentivo e apoio, pois assim aprendi e me tornei essa pessoa que sou hoje, por serem sempre a luz e alicerce da minha vida. À minha irmã Ana Beatriz pela compreensão, paciência, conselhos e apoio.

Ao professor Dr. Antonio Carlos Batista pelo ensinamento e orientação, por sua rigidez e disciplina, por ter sido muito prestativo, colocando-se à disposição para me ajudar nos momentos de precisão e a finalizar este trabalho. O meu muito obrigada, pois contigo aprendi a ser disciplinada e focada nos meus objetivos.

A Universidade Federal do Tocantins, por viabilizar a realização deste trabalho e apoio institucional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins, por tamanho conhecimento transmitido e em principal, pelo título de Mestre.

Aos amigos que conquistei durante essa jornada tanto em sala-de-aula como no laboratório de Pesquisas Florestais do Tocantins, aos momentos que passamos juntos, pois daqui em diante só irão restar lembranças dos obstáculos, e dos momentos de alegrias que passamos juntos. Sou muito grata, adoro vocês!

Expresso aqui minha gratidão também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos e apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

RESUMO

Neste estudo, objetivou-se caracterizar áreas queimadas em todo o Estado do Tocantins, durante o ano de 2014, por meio de análise exploratória e de componentes principais. Esta última foi empregada para estabelecer a relação das áreas queimadas com dados territoriais e socioeconômicos dos municípios tocaninenses. Por meio da análise do histórico de focos de calor no Estado, foram utilizadas imagens de satélite referentes aos meses de julho a outubro, período crítico de ocorrência. Foram utilizadas imagens TM do satélite Landsat-8, por meio do download das bandas referentes ao visível: infravermelho médio (1,57–1,65 μm), infravermelho próximo (0,85–0,88 μm) e vermelho (0,64–0,67 μm), na composição de bandas 6R5G4B (Red-vermelho, Green-verde, Blue-azul), com resolução espacial de 30 metros e resolução temporal de 16 dias. Foi realizado o processamento e interpretação visual das imagens, com a vetorização (digitalização) das áreas queimadas e incêndios. Os dados vetoriais das áreas queimadas foram cruzados com sete base de dados (precipitação média anual, pedologia, temperatura média anual, bacia hidrográfica, declividade, unidades de conservação, e o uso da terra), disponibilizadas pela Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins, e os dados territoriais e socioeconômicos dos municípios tocaninenses. Estes últimos foram utilizados na análise de componentes principais (CP), que extraiu cinco CP que explicam 81,74% da variância dos dados. Esta análise, ainda, indicou que a cicatriz apresentou maior relação linear positiva com a área do município, quantidade de focos de calor, e áreas de pastagens naturais e florestas. Pela análise espacial, com uso da função K de Ripley e Índice Global de Moran, nos locais de maior ocorrência de queimadas (regiões do Jalapão e da Ilha do Bananal), bem como no Estado todo, a ocorrência de queimadas pôde ser considerada de padrão agregado por toda a escala. Foi possível concluir, através deste trabalho, que além das condições ambientais intrínsecas do Cerrado, municípios com maiores áreas queimadas, que estão inseridos nestas duas regiões, estiveram associados com maiores PIB da agropecuária e menores PIB de serviços e indústria e menor número de habitantes.

Palavras-chave: cerrado; componentes principais; fogo; Landsat.

ABSTRACT

This study objected to characterize the burned areas in the Tocantins State, 2014 season, by the exploratory and principal component analysis. This one used for knowledge the relationship of burned area with territorial and socioeconomically data of Tocantins cities. By historical analysis of heat spots in Tocantins, they were used satellite images between July and October. They were used the following bands, of sensors of Landsat-8 satellite: shortwave infrared (1.57–1.65 μm), near infrared (0.85–0.88 μm) and red (0.64-0.67 μm), in the RGB composition, with a spatial-temporal resolution of 30 meters and 16 days. It was conducted the processing and visual interpretation of the images, for the vectorization of the burned areas. These data were crossed with seven database (annual average precipitation, pedology, annual average temperature, watershed, slope, protected area and land use), available on Secretariat of Planning and Budget of Tocantins, and with the territory and socioeconomic data of the Tocantins cities. These last data were used in principal component analysis (PCA) that were extracted five PCA (data variance explained was 81.74%). These analyses revealed that burned area had shown highest positive relationship with city area, number of heat spots, natural pasture and forest areas. By the spatial analysis, K Ripley's function and Moran's index, the burned area occurrence, in the Tocantins State (include regions with highest burned area, as Jalapão and Bananal island), cannot be considered aleatory. It was possible to conclude, beyond environment conditions of Cerrado, the cities with highest burned area related with high agricultural GDP and low GDP of services and industry and low population.

Keywords: cerrado; main components; fire; Landsat

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	MONITORAMENTO ORBITAL E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS.....	9
2.2	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	11
3	MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1	ÁREA DE ESTUDO	13
3.2	AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1	OCORRÊNCIA DAS QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS	21
4.2	RELAÇÃO DAS QUEIMADAS COM DADOS SOCIOECONÔMICOS E TERRITORIAIS	26
4.3	ANÁLISE ESPACIAL DAS QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS	30
5	CONCLUSÕES	32
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. RELAÇÃO DAS CENAS DO SATÉLITE LANDSAT 8 E AS DATAS DE PASSAGEM UTILIZADAS PARA A INTERPRETAÇÃO VISUAL DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E/OU QUEIMADAS NO ESTADO DO TOCANTINS NO ANO DE 2014.	17
TABELA 2. CLASSES, DE CADA BASE DE DADOS (EXTRAÍDAS DO ANO DE 2007), UTILIZADAS NO CRUZAMENTO COM O MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO ANO DE 2014, NO ESTADO DO TOCANTINS, QUE APRESENTARAM MAIORES PERCENTUAIS DE ÁREAS QUEIMADAS OBSERVADAS DENTRO DE CADA CLASSE E/OU NO ESTADO.	23
TABELA 3. CLASSES, DE CADA BASE DE DADOS (EXTRAÍDAS DO ANO DE 2007), UTILIZADAS NO CRUZAMENTO COM O MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO ANO DE 2014, NO ESTADO DO TOCANTINS, QUE APRESENTARAM MAIORES PERCENTUAIS DE ÁREAS QUEIMADAS OBSERVADAS DENTRO DE CADA CLASSE E/OU NO ESTADO.	24
TABELA 4. CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE A ÁREA DE CADA CLASSE, PERCENTUAL DE ÁREA DA CLASSE AFETADA POR QUEIMADAS E/OU INCÊNDIOS FLORESTAIS E O PERCENTUAL DE ÁREA QUEIMADA OBSERVADO NO ESTADO DO TOCANTINS, E O TESTE QUI-QUADRADO (χ^2) EM FUNÇÃO DA BASE DE DADOS UTILIZADA NO CRUZAMENTO COM O MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO ANO DE 2014, NO ESTADO DO TOCANTINS.	26
TABELA 5. COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDOS DA ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS DO MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DO TOCANTINS, NO DE 2014, TERRITORIAIS E SOCIOECONÔMICOS DOS MUNICÍPIOS TOCANTINENSES.	27
TABELA 6. AUTOVETORES, APÓS ROTAÇÃO VARIMAX, DOS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDOS ASSOCIADOS AS VARIÁVEIS ORIGINAIS ORIUNDAS DO MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DO TOCANTINS, NO ANO DE 2014, E DOS DADOS TERRITORIAIS E SOCIOECONÔMICOS DOS MUNICÍPIOS TOCANTINENSES.	28
TABELA 7. ESCORES DOS MUNICÍPIOS TOCANTINENSES QUE REPRESENTARAM 50% DA ÁREA QUEIMADA OBSERVADA NO ESTADO DO TOCANTINS, NO ANO DE 2014, EM RELAÇÃO AOS COMPONENTES PRINCIPAIS (CP) EXTRAÍDOS.	29
TABELA 8. PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DO TOCANTINS E PARA ÁREAS SELECIONADAS: ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS; PARQUE NACIONAL DO ARAGUAIA E TERRITÓRIO INDÍGENA DO ARAGUAIA, PARA O ANO DE 2014.	31

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SÉRIE HISTÓRICA DO TOTAL DE FOCOS DE CALOR ATIVOS DETECTADOS, PELOS SATÉLITES LANDSAT 5 E 7 NO ESTADO DO TOCANTINS, NO PERÍODO DE 1998 A 2016. FONTE: INPE (2016).....	10
FIGURA 2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO BRASIL, COM SUAS RESPECTIVAS COORDENADAS. FONTE: INPE (2016).	13
FIGURA 3. GRADE DAS CENAS DO SATÉLITE LANDSAT 8 QUE RECOBREM O ESTADO DO TOCANTINS.	16
FIGURA 4. FÓRMULA DO ÍNDICE GLOBAL DE MORAN, UTILIZADA PARA A ESTIMAR A AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL DAS ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DO TOCANTINS.....	20
FIGURA 5. ÁREA QUEIMADA NO ESTADO DO TOCANTINS, NO ANO DE 2014, OBTIDA PELA DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS TM (LANDSAT-8).	21

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto é considerado uma ferramenta imprescindível em diversas áreas, devido sua capacidade de gerar resultados sobre a distribuição espacial e temporal e padrões de eventos na superfície da terra que podem ser relacionados com informações culturais e socioeconômicas (PEREIRA *et al.*, 2012).

No entanto, essa rapidez de geração de resultados está associada a um grande volume de informações disponíveis que dificultam a interpretação dos mesmos. Assim, a aplicação de métodos que reduzem a dimensionalidade dos dados sem perdas na variabilidade, como a análise de componentes principais (TOBARTOSSE *et al.*, 2015), torna-se interessante para caracterização dos resultados obtidos.

Em relação ao Brasil, um dos países com grande extensão territorial, o Sensoriamento Remoto, além de ser tecnologia de alta versatilidade, torna-se eficaz para o monitoramento da superfície terrestre (SHIMABUKURO *et al.*, 2009). Por exemplo, na pesquisa realizada por França (2000), foi possível observar, por meio da expansão das atividades agropecuárias em três décadas nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, que a cobertura vegetal do Cerrado passou a ser alterada com a mesma rapidez que a devastação observada na Amazônia.

Com o aumento das pressões antrópicas sobre o meio ambiente, tem-se observado o processo de substituição das paisagens naturais por outros usos do solo e a transformação das áreas com cobertura vegetal, em reduzidos fragmentos florestais, os quais, segundo Prudente (2010), sofrem rápida deterioração com a recorrência de incêndios. De acordo com Alencar *et al.* (2006) o fogo é considerado ferramenta essencial para essa transformação do ambiente e pode ter seu uso intensificado pela expansão da fronteira agrícola. De forma semelhante, Mistry e Bizerril (2011) relatam que, o fogo é um dos mecanismos mais antigos e amplamente utilizados na conversão de paisagens com cobertura vegetal, em paisagens para uso agrícola e agropecuário.

No bioma Cerrado, considerado a maior savana da América do Sul (MYERS *et al.*, 2000), o fogo é considerado como um agente fundamental no aspecto da vegetação (MIRANDA *et al.*, 2000; PIVELLO, 2009), que, em geral, apresenta características de adaptação a este fenômeno, tais como: sistema subterrâneo

desenvolvido, caules aéreos espessos, folhas com estômatos na face abaxial, pilosidade e cutícula espessa (WALTER e RIBEIRO, 2010).

As estimativas de áreas queimadas no Cerrado, especificamente no Estado do Tocantins, podem ser feitas por meio de imagens de satélite a partir das cicatrizes de incêndios e queimadas formadas na cobertura vegetal de determinada região. Estas são derivadas da ação do fogo sobre a vegetação e apresentam resposta espectral extremamente intensa em relação à energia refletida pela exposição do solo e do carvão depositado (VASCONCELOS *et al.*, 2011).

O Tocantins, que possui grande parte do seu território incluso no Bioma Cerrado (SILVA, 2007), apresenta-se como um dos Estados brasileiros com altas taxas de frequência e número de focos de calor devido aos incêndios florestais, concentrados no chamado “período seco” (junho a novembro). Além disso, vem exibindo com o passar dos anos, áreas com cobertura vegetal cada vez mais degradadas, devido ao avanço agrícola e agropecuário, cada vez mais acentuado em toda a sua extensão (VARGAS, 2010).

Nesse sentido, a identificação e quantificação de áreas queimadas, considerada importante, também, pelos impactos no solo e na vegetação (MOUGHAL *et al.*, 2015) dão suporte para realização de ações de prevenção e combate de queimadas, bem como, para a elaboração de políticas públicas (GOMES, 2006). Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar e caracterizar as áreas queimadas em todo o Estado do Tocantins durante o ano de 2014, utilizando imagens de satélite de média resolução espectral do período de estiagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Monitoramento orbital e identificação de áreas queimadas

A expressão Sensoriamento Remoto (SR), foi utilizada pela primeira vez nos anos de 1960, e logo se transformou numa extraordinária tecnologia de coleta automática de dados para realizar a classificação e monitoramento dos recursos terrestres em escala global. A aquisição de uma grande quantidade de informações a respeito de registros de uso da terra ocorreu num curto espaço de tempo (SANTOS e AOKI, 1981; MENEZES *et al.*, 2012;) devido a rapidez, eficiência, frequência e baixo custo na obtenção de imagens orbitais juntamente com a visibilidade nos mais diferentes espectros, que facilitam as mais diversas análises exploratórias de dados.

De acordo com Pereira *et al.* (2007), o Sensoriamento Remoto é descrito como a principal opção de alta tecnologia que auxilia no monitoramento, no dimensionamento e na compreensão dos processos de queimadas. Isto se dá pela eficiência e inovação de informações sobre a mesma área pelo monitoramento das modificações da superfície terrestre, com uso de técnicas que buscam a informação espectral de cada pixel contido nas imagens.

No entanto, diferentes estudiosos vêm analisando, pesquisando, aprimorando e apresentando diversas metodologias com o intuito de elevar a credibilidade da identificação de áreas queimadas e incêndios florestais através de imagens de satélite. Nesse sentido, o primeiro passo para se avaliar a eficiência é a disponibilidade de registros sobre a ocorrência dos mesmos, para comparar os focos de calor detectados pelos satélites com os incêndios realmente ocorridos (XAUD *et al.*, 2003).

Cabe destacar que o termo foco de calor é utilizado para a interpretação do registro de calor captado na superfície do solo por sensores espaciais (PEREIRA *et al.*, 2007). Com relação ao monitoramento das queimadas, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem ampliando e aperfeiçoando desde a década de 1980 um sistema operacional de detecção de queimadas.

Nos dias de hoje, o INPE supervisiona e torna acessível dados de focos de calor juntamente com as informações sobre as ocorrências de incêndios florestais, via focos de calor, para todos os Estados brasileiros, através de sensores espaciais presentes em satélites polares e geoestacionários que atuam na faixa termal, entre 3,7 e 4,1 μm . Tais satélites se encontram aparentemente parados em relação a um

ponto fixo sobre a Terra, geralmente sobre a linha do equador. Como se encontram sempre sobre o mesmo ponto da Terra, os satélites geoestacionários são utilizados como fontes de comunicações e de observação de regiões específicas da Terra. Os dados são adquiridos de imagens termais dos satélites meteorológicos NOAA (quatro vezes ao dia), GOES (oito vezes ao dia) e Terra e Aqua (duas vezes por dia), com as informações disponibilizadas operacionalmente cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites, através da Internet.

O Tocantins está entre os Estados brasileiros com maior quantidade de focos de calor detectados nos últimos anos, em que maiores taxas de ocorrência de queimadas ocorrem entre os meses de julho a novembro, com um pico máximo em setembro (PIVELLO, 2011). No levantamento do número de focos ocorridos nos últimos 19 anos no Estado do Tocantins (Figura 1), considerando como referência, dados dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, é possível observar a ocorrência de 225 mil focos de calor com maior incidência no ano de 2010 (> 25 mil focos) e a menor em 2009 (< 6 mil focos).

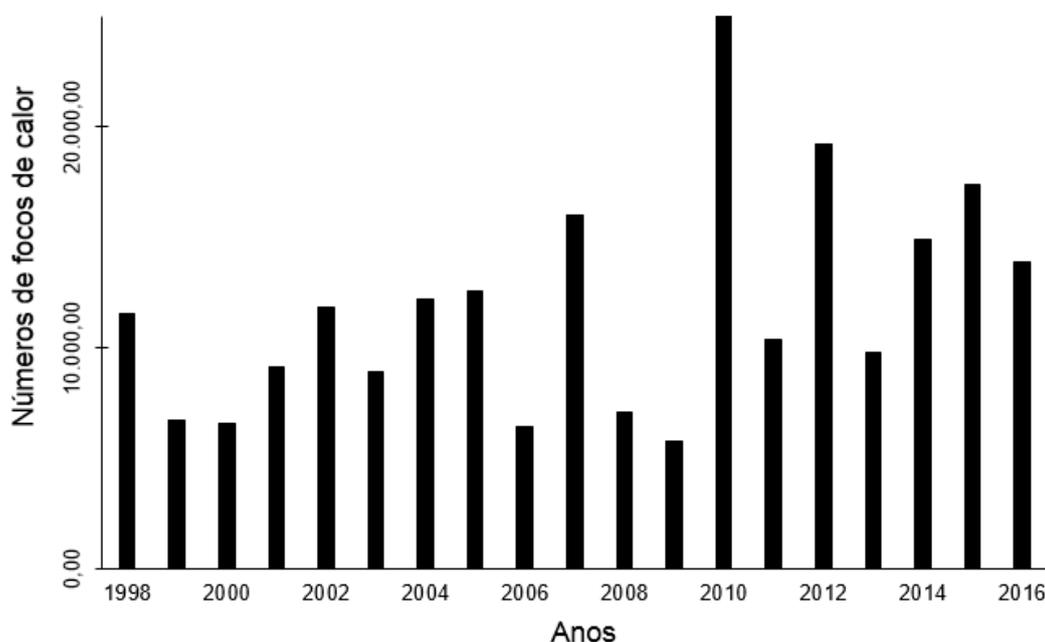


Figura 1. Série histórica do total de focos de calor ativos detectados, pelos satélites Landsat 5 e 7 no Estado do Tocantins, no período de 1998 a 2016. Fonte: INPE (2016).

A identificação de áreas queimadas, resultado da ação do fogo, é importante devido aos efeitos que ocorrem no solo e na vegetação (MOUGHAL et al., 2015). O fato da elevada quantidade de focos de calor para o ano de 2010, pode estar relacionado com o número de focos baixos em 2009, que pode ter proporcionado

acúmulo e armazenamento de material combustível para o ano seguinte. Isso se relaciona, ainda, com o relato de que anos com poucas queimadas são sucedidos por anos com taxas relativamente altas de queimadas (ARAGÃO *et al.*, 2012).

Recentemente, o INPE disponibilizou informações de área queimada para a parte do bioma Cerrado baseadas em imagens de satélite com resolução de 1 km e 30 m, disponíveis no Portal Queimadas¹. Estes últimos dados foram gerados a partir das imagens dos satélites da série Landsat, em que diversos estudos relatam detecção de queimadas com o uso das suas imagens (PEREIRA *et al.*, 2013; MOUGHAL *et al.*, 2015).

O Sensoriamento Remoto juntamente com as geotecnologias de informações geográficas, ao passar dos anos, se tornaram mecanismos eficientes para a realização de análise da distribuição espacial de dados de incêndios florestais. Estes permitem o conhecimento da quantidade e a localização das queimadas e/ou incêndios florestais para a região de interesse (FERNANDES *et al.*, 2011) que são imprescindíveis para conduzir as ações de prevenção e combate aos incêndios e elaboração de políticas públicas e ações mais adequadas à manutenção da qualidade ambiental (GOMES, 2006).

2.2 Processamento digital de imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI) é definido como a modificação de uma imagem orbital por computador, de modo que a entrada e a saída do todo o processo sejam as respectivas imagens. Sua principal finalidade é melhorar o aspecto visual de certas fisionomias, para que o analista tenha outros elementos para a interpretação e a elaboração de produtos (MARQUES *et al.*, 1999).

O PDI envolve métodos geralmente expressos sob forma algorítmica e devido a isto, exceto nas etapas de aquisição e exibição, a maior parte das funções é efetuada via sistemas computacionais. Aliado a este fato, o uso de *hardware* especializado para se processar uma imagem é necessário, nas situações em que certas restrições do computador principal forem incabíveis para a finalização de todo o processo (ARAÚJO, 1989).

Tanto o PDI quanto o Sensoriamento Remoto adotam nomenclaturas específicas, na qual se insere o modelo RGB, que é baseado na teoria de visão

¹ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Portal Programa Queimadas. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>.

colorida tricromática de Young-Helmholtz (COBRA *et al.*,1992) e representa a abreviatura do sistema de cores adicionais formadas pelo vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*). Estas cores são combinadas de várias maneiras para reproduzir no final uma composição colorida sobre a imagem, que melhor apresente os realces da cobertura terrestre em si.

De acordo com Florenzano (2008), o passo inicial de todo o processamento é a aquisição das imagens, feita por meio de um sensor (conversão da informação óptica em sinal elétrico) e um digitalizador (que converte o sinal elétrico enviado pelo satélite, em uma imagem digital). Entretanto, alguns pontos devem ser considerados nesse processo, tais como: a escolha do tipo de sensor, as condições de iluminação, a velocidade de aquisição, a resolução e o número de níveis de cinza da imagem digitalizada.

Por exemplo, cada sensor possui características particulares, como as resoluções espectrais, temporais e espaciais as quais se relacionam a qualidade da imagem e resultados e análises que podem ser feitas (VERBURG *et al.*, 2011). Ainda, existe variação do próprio sensor, entre as passagens que causam variabilidade das informações espectrais numa região de interesse (LU *et al.*, 2004).

Nesse sentido, existem trabalhos que relatam a viabilidade do uso de imagens de baixa resolução espectral para o monitoramento temporal das fitofisionomias do Cerrado (CARVALHO *et al.*, 2008) e extensas áreas agrícolas (VICENTE *et al.*, 2012), imagens de média resolução espectral, oriundas dos satélites da série Landsat, para analisar o uso da terra em microbacias hidrográficas (PIROLI *et al.*, 2002) e discriminar classes de solo numa determinada região (DEMATTE *et al.*, 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O Estado do Tocantins compreende uma área superior a 277 mil km² (3,26% do território nacional e 7,2% da região norte do país) em que a superfície inserida no Bioma Cerrado equivale a 91,9% da área total do Estado. Dentre os municípios que o compõe, Formoso do Araguaia é o que possui maior área, 13.423,383 km², e Axixá do Tocantins a menor, com apenas 150,223 km², conforme dados do IBGE (2016).

O Tocantins está localizado no centro geográfico do país, situando-se, geograficamente, entre os paralelos 5° e 13° de latitude sul e os meridianos 46° e 51° de longitude oeste (Figura 2). A distância entre os pontos extremos norte-sul é de, aproximadamente, 925 km e entre os pontos extremos Leste-Oeste, 567 km. O Estado limita-se ao norte com o Maranhão e Pará, ao Sul com o Estado de Goiás, a leste com o Maranhão, Piauí e Bahia e a Oeste com o Mato Grosso e Pará.

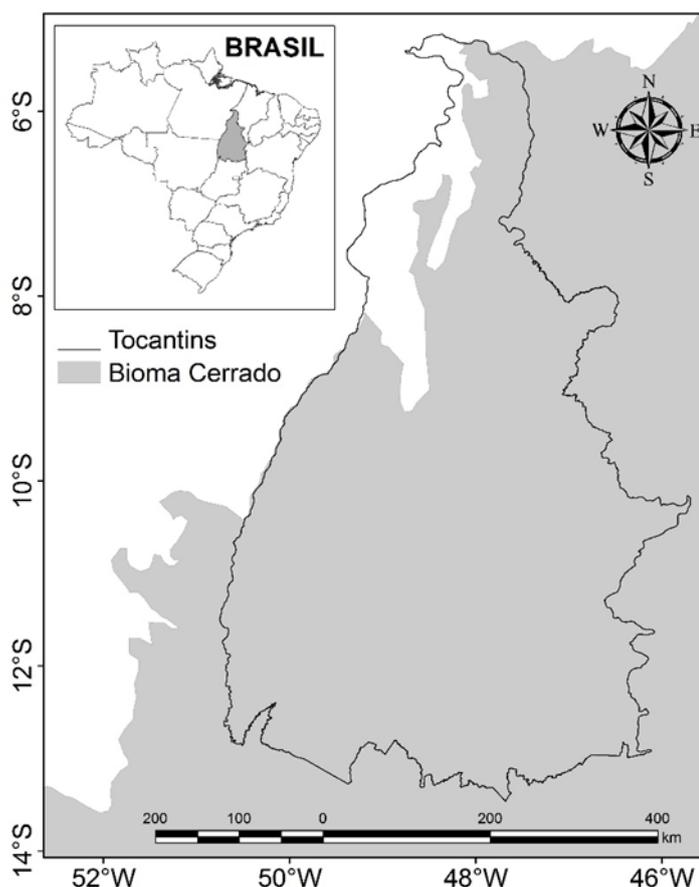


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo no Brasil, com suas respectivas coordenadas. Fonte: INPE (2016).

Em termos gerais, o Estado do Tocantins apresenta clima distintamente sazonal (segundo a classificação de Thornthwaite) caracterizado por dois períodos, um período chuvoso, e um período seco, onde o chuvoso começa em meados de dezembro e se estende até abril e; o seco de junho a meados de novembro, não havendo praticamente registros de precipitações, com temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar.

O relevo do Tocantins é predominantemente formado por planícies, embora sejam encontrados planaltos e depressões, principalmente na região sul do estado, com pouca variação de altitude. A maior parte do estado não ultrapassa a altitude de 500 metros, em relação ao nível do mar. O ponto mais elevado do estado tem 1.340 metros de altitude, e fica na Serra das Traíras (IBGE, 2016).

A vegetação predominante no estado é o Cerrado (cobre 91,9% do território), cujas principais características são os grandes arbustos e as árvores esparsas, de galhos retorcidos e raízes profundas. O restante do território é constituído pela floresta de transição amazônica, ao norte do estado. Nas margens dos Rios Araguaia e Tocantins, são encontrados pequenos trechos de Mata Atlântica. Mais da metade do território é considerado área de preservação, com destaque para a Ilha do Bananal (maior ilha fluvial do mundo) e para o Parque estadual do Cantão, no qual os ecossistemas do Cerrado, o Pantaneiro e o Amazônico se encontram (IBGE, 2016).

O Cerrado é considerado a maior savana na América do Sul (MYERS *et al.*, 2000), em que o fogo é tido como agente fundamental para o aspecto da vegetação nestes ambientes (MIRANDA *et al.*, 2000; PIVELLO, 2009), a qual apresenta adaptação a este fenômeno (WALTER e RIBEIRO, 2010).

As formações campestres encontram-se concentradas em duas grandes áreas, na porção leste do estado, especificamente na região do Jalapão, e também na porção noroeste, próximo às margens do rio Tocantins. As áreas antrópicas mais extensas do Tocantins encontram-se ao longo da rodovia Belém-Brasília (BR-153), principalmente na porção sul do estado (MMA, 2007).

O Estado é formado por duas bacias hidrográficas: a do rio Araguaia, que abrange uma área de 104.791,8 km² (37,7%), dividido em 16 sub-bacias hidrográficas; e a do rio Tocantins, com uma área de 172.828,2 km² (62,3%), dividido em 14 sub-bacias hidrográficas. Predominam no centro-sul do Estado plintossolos pétricos, latossolos na região central, e areias quartzosas e latossolos no Leste e no centro-Norte. A maioria dos solos apresenta um moderado potencial de erosão, com exceção

de uma faixa que cruza o Estado do Sudeste até o Noroeste, com solos com forte ou até muito forte potencial de erosão.

3.2 Aquisição, processamento e análise de dados

O monitoramento de áreas queimadas por meio de imagens de satélites é de grande utilidade para regiões afastadas e sem meios intensivos de acompanhamento. Inúmeros são os produtos gerados e distribuídos diariamente via satélite, a exemplo das coordenadas geográficas dos focos, alertas por e-mail de ocorrências em áreas de interesse especial, risco de fogo, estimativas de concentração de fumaça, entre outros.

Existem os chamados “satélites de referência”, cujos dados diários de focos de calor detectados são usados para compor a série temporal ao longo dos anos e assim permitir a análise de tendências nos números de focos para as mesmas regiões em períodos de interesse. Estes satélites indicam uma fração do número real de focos de queimadas e incêndios florestais, por usarem o mesmo método e o mesmo horário de imageamento ao longo dos anos, permitindo analisar as tendências espaciais e temporais dos focos.

Os satélites mais comuns são os polares e os geoestacionários, a exemplo do NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17, NOAA-18 e NOAA-19, NASA, TERRA e AQUA, GOES-12, MSG-2, LANDST 5,7 e 8. Cada satélite de órbita polar produz pelo menos um conjunto de imagens por dia, e os geoestacionários geram algumas imagens por hora, sendo que no total o INPE processa mais de 100 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação.

Para a realização do presente trabalho, foram utilizadas imagens provenientes do satélite Landsat 8 captadas pelos sensores *Operacional Terra Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, que captam informações espectrais em 11 bandas, referentes ao visível. Utilizou-se dados do referido satélite, devido ao fato de que se trata de um satélite relativamente atual, e a sua capacidade em gerar um número maior de imagens por dia.

As imagens utilizadas foram adquiridas por meio do site da instituição de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (USGS)². A USGS se desenvolveu nos

² *United States Geological Survey (USGS)* em português, "Pesquisa Geológica dos Estados Unidos". O público internacional, pode ter acesso à sua informação através dos sites <<https://glovis.usgs.gov>> e <<https://earthexplorer.usgs.gov>>

últimos anos acompanhando com seus mais arrojados experimentos e erudição, o progresso da Ciência e Tecnologia. A USGS tem um vasto acervo de data biológica e de solo e, por isto, milhares de associados e outros interessados buscam os seus conhecimentos das ciências naturais. A USGS ajuda, internacionalmente, o público a ter acesso à sua informação como também a entender e resolver problemas de recursos naturais complexos

Foram utilizadas 19 cenas do satélite Landsat 8, que correspondem à cobertura do Estado do Tocantins para a avaliação e incidência de áreas queimadas do respectivo ano de 2014 (Figura 3). Foram utilizadas as bandas referentes ao infravermelho médio (1,57–1,65 μm), infravermelho próximo (0,85–0,88 μm) e vermelho (0,64 -0,67 μm), na composição 6R5G4B e que possuem resolução espacial de 30 metros e temporal de 16 dias.

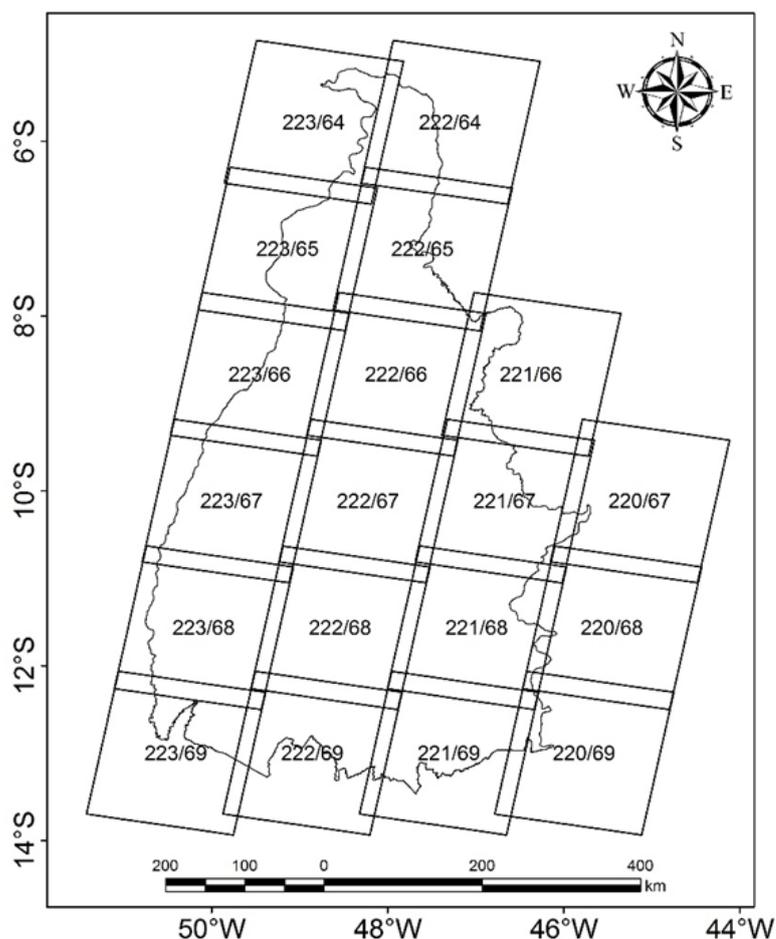


Figura 3. Grade das cenas do satélite Landsat 8 que recobrem o Estado do Tocantins.

Baseado nos trabalhos desenvolvidos por Krug *et al.* (2002) e Rivera-Lombardi (2003), a escolha das datas partiu do princípio de que os meses com baixa

umidade relativa, com pouca ou nenhuma precipitação e altas temperaturas é o período mais propício à ocorrência de queimadas no Bioma Cerrado. Outro critério adotado, de acordo com Pereira *et al.* (2012), foi a seleção de cenas com ausência de nuvens, uma vez que, estas podem impedir a observação da superfície da Terra a partir do satélite.

De acordo com o período avaliado, 38 imagens foram digitalizadas (duas datas de passagem para cada cena) que estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Relação das cenas do satélite Landsat 8 e as datas de passagem utilizadas para a interpretação visual de incêndios florestais e/ou queimadas no Estado do Tocantins no ano de 2014.

Órbita /Ponto	Data Passagem						
220/067	26/08/2014	221/068	17/08/2014	222/067	08/08/2014	223/066	15/08/2014
	27/09/2014		02/10/2014		24/08/2014		16/09/2014
220/068	08/10/2014	221/069	18/08/2014	222/068	24/08/2014	223/067	15/08/2014
	09/11/2014		18/09/2014		11/10/2014		16/09/2014
220/069	10/08/2014	222/064	07/07/2014	222/069	09/09/2014	223/068	18/08/2014
	07/09/2014		08/08/2014		11/10/2014		22/07/2014
221/066	10/08/2014	222/065	08/08/2014	223/064	12/06/2014	223/069	15/08/2014
	02/09/2014		09/09/2014		30/07/2014		16/09/2014
221/067	10/08/2014	222/066	08/08/2014	223/065	12/06/2014		
	02/09/2014		24/08/2014		15/08/2014		

A correção atmosférica das imagens foi feita por meio do módulo "*fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercubes*" (FELDE *et al.*, 2003) que minimiza os efeitos atmosféricos e resulta em imagens corrigidas em valores de reflectância, por meio informações como: visibilidade, coluna d'água, altitude média da área de estudo, modelo de atmosfera e aerossóis, data e hora da passagem e tipo de sensor. Posteriormente, as imagens foram submetidas ao processo de correção geométrica para que potenciais distorções espaciais fossem eliminadas, com uso de imagens georreferenciadas referentes ao ano de 2014, obtidas por meio do acervo Landsat via Earth Explorer³. Os dados são compostos de 11 arquivos de imagem separados

³ O Earth Explorer pertence ao USGS (U.S. Geological Survey), que atua como uma agência do governo norte americano e coleta, monitora, analisa, e fornece informação científica sobre recursos naturais. Seus produtos incluem tanto dados originais, como imagens de satélite, quanto derivados. O público internacional, pode ter acesso à sua informação através do site <<https://earthexplorer.usgs.gov>>.

(bandas), juntamente com um arquivo de garantia de qualidade (BQA) e um arquivo de texto com os metadados (data e hora, coordenadas de canto).

A identificação das áreas queimadas foi realizada por meio da análise visual das imagens digitais georreferenciadas diretamente na tela do monitor. A utilização deste procedimento foi considerada a mais adequada, pelo fato da alta variação espectral que ocorre nas cicatrizes, e também pelo tamanho da área em estudo, para evitar superestimação ou subestimação das áreas, uma vez que procedimentos automáticos podem confundir padrões espectrais semelhantes.

Na caracterização das áreas queimadas, os arquivos vetoriais referentes ao ano de 2014 foram primeiramente cruzados com a base de dados geográficos da Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN⁴) do Estado do Tocantins, em formato vetorial. Tais bases de dados foram: precipitação média anual, pedologia, temperatura média anual, bacia hidrográfica, declividade, unidades de conservação, uso da terra e limites municipais.

Em seguida, foram obtidas a área queimada (em km²), percentual de área queimada no Estado (%AQ) referente à classe da base de dados utilizada da SEPLAN e o percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais (%AQclasse). Estes dois últimos foram submetidos à análise de correlação linear ($p < 0,05$) juntamente com área, em km², de cada classe.

Estes dados, ainda, foram utilizados para verificar se as ocorrências das queimadas apresentaram padrão de distribuição aleatório ou uma tendência de distribuição espacial agregada, em função da base de dados utilizada. A verificação foi feita por meio do teste Qui-Quadrado (X^2 ; $p < 0,01$), com a frequência esperada, sendo a proporcionalidade da área de cada classe (intensidade da queimada e frequência média de ocorrência à um determinado ponto ou limite municipal), relacionadas à área total do Estado, conforme Coutinho (2009).

Com relação aos municípios tocantinenses, foram tabuladas as seguintes informações territoriais e socioeconômicas, obtidas pelo mapeamento de áreas queimadas realizado neste trabalho e da coleta de dados, através do portal Cidades

⁴Órgão governamental encarregado da coordenação e do gerenciamento dos planos de Governo do Estado do Tocantins, competindo-lhe elaborar e acompanhar a programação orçamentária, respondendo, também, pelo zoneamento ecológico-econômico e pela formulação e implementação de sistemas estatísticos e pesquisas socioeconômicas no âmbito do estado. Seus dados estão disponíveis em < <https://goo.gl/VJ5izj>>.

do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)⁵, e no portal Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE):

- Área Queimada (AQ), obtidas pela digitalização de imagens Landsat com resolução de 30 m, em km²;
- Área de cada município do Tocantins, em km², segundo dados do IBGE;
- Percentagem da área do município afetada por queimadas e/ou incêndios florestais;
- Número de focos de calor, segundo dados do INPE, para o ano de 2014 no Estado do Tocantins;
- População alfabetizada, taxa de analfabetismo, população que reside na área urbana e na zona rural, renda per capita urbana e rural e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), segundo dados de 2010 do IBGE;
- Produto Interno Bruto (PIB) a preços correntes e PIB relacionada a serviços, impostos, indústria, agropecuária e per capita, segundo dados de 2013 do IBGE;
- Número de bovinos, áreas de pastagens naturais, de florestas e matas nativas, segundo dados de 2006 do IBGE e;
- Índice de pobreza, segundo dados de 2003 do IBGE.

Estas variáveis (21, no total) foram submetidas a análise de componentes principais, de acordo com os critérios descritos em Hair Jr. *et al.* (2006) e Figueiredo Filho e Silva Jr. (2010) com aplicação do programa estatístico *Varimax*, para melhor interpretação das cargas fatoriais.

A Análise de Componentes Principais (ACP) ou *Principal Component Analysis* (PCA) é um procedimento matemático que utiliza uma transformação ortogonal (ortogonalização de vetores) para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas num conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas chamadas de componentes principais. O número de componentes principais é menor ou igual ao número de variáveis originais. Esta transformação é definida de forma que o primeiro componente principal tem a maior variância possível

⁵ Portal Cidades do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/>.
Portal Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>.

(ou seja, é responsável pelo máximo de variabilidade nos dados), e cada componente seguinte, por sua vez, tem a máxima variância sob a restrição de ser ortogonal a (não correlacionado com) os componentes anteriores. Os componentes principais são garantidamente independentes apenas se os dados forem normalmente distribuídos (conjuntamente). Dependendo da área de aplicação, o PCA é também conhecido como transformada de Karhunen-Loève (KLT) discreta, transformada de Hotelling ou decomposição ortogonal própria (POD).

As análises espaciais (padrões pontuais e autocorrelação espacial), das áreas queimadas, foram realizadas para todo o Estado do Tocantins e em separado em três unidades de conservação (Território Indígena do Araguaia – TI_A; Parque Nacional do Araguaia – PN_A e; Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins - ESSGT).

Na análise de padrões pontuais foi utilizada a função K de Ripley, estimada de acordo com os critérios apresentados por Pereira *et al.* (2013), com uso dos pontos centrais de cada polígono de área queimada, obtidos pelo cruzamento do mapeamento de áreas queimadas, feito neste estudo, com as bases de dados disponibilizadas pela SEPLAN (sete, no total). A análise gráfica dos resultados foi feita por meio de intervalos de confiança estimados por 99 simulações de Monte Carlo com uso do modelo CAE (Completa Aleatoriedade Espacial), onde se investigou se as queimadas foram de forma aleatória ou agregada, com a apresentação do valor transformado - L (x), em função de incrementos fixos de 1,00; 0,26; 0,36 e 0,59 km (respectivamente para o Estado, ESSGT, PN_A e TI_A) até a distância em que toda área fosse contemplada pela análise.

A autocorrelação espacial foi estimada por meio do Índice Global de Moran (Figura 4), que mede a similaridade entre observações de pares de localidades para cada classe de distância (CARVALHO *et al.*, 2008), em que a área queimada foi agregada a células de 10 x 10 km, obtidas a partir de uma abordagem vetorial (*grid*) adotada para toda a área de estudo.

$$I = \frac{\sum_{i \neq j}^n w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}$$

Figura 4. Fórmula do Índice Global de Moran, utilizada para a estimar a autocorrelação espacial das áreas queimadas no Estado do Tocantins.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ocorrência das queimadas e incêndios florestais

O mapeamento de áreas queimadas no Estado do Tocantins, no ano de 2014, permitiu identificar mais de 45 mil km² (16,3% da área do Tocantins) de áreas queimadas, com ocorrências em todas as regiões do Estado (Figura 5).

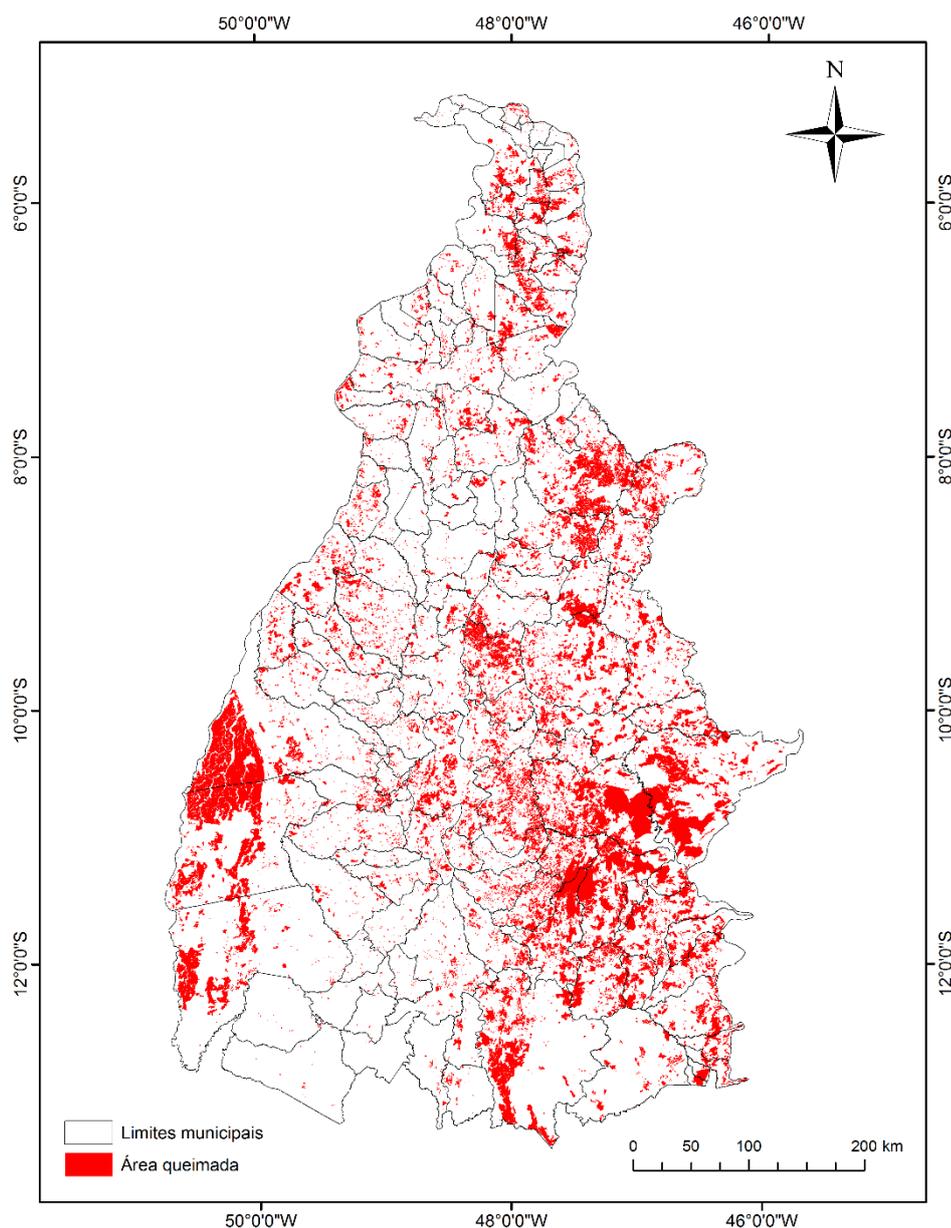


Figura 5. Área queimada no Estado do Tocantins, no ano de 2014, obtida pela digitalização de imagens TM (Landsat-8).

Segundo dados publicados por Fanin e Van der Werf (2015), a região de savana (cerrado), que inclui Maranhão e Tocantins, apresentou maior concentração

de áreas queimadas entre 2002 e 2012, com base nas imagens obtidas pelo sensor MODIS. Araújo e Ferreira (2015) relatam, ainda, que o Cerrado, principalmente na transição entre a Amazônia e o Cerrado, é caracterizado pela severa atividade do fogo.

Na figura 5, é possível observar que aproximadamente 75% das áreas identificadas como queimadas estão concentradas nas regiões mais ao Sul do Estado do Tocantins. Isso pode ser explicado, pelo fato destas áreas estarem localizadas no Bioma Cerrado.

Nas tabelas 2 e 3, estão descritas as informações obtidas pelo cruzamento do mapeamento de áreas queimadas com as sete bases de dados disponibilizadas pela Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins. Nela são encontradas duas informações: o percentual de área queimada no Estado (%AQ) referente às bases de dados da SEPLAN utilizadas e o percentual das principais subclasses dentro de cada classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais (%AQ_{classe}).

Com relação à declividade, na classe AB (áreas com predomínio de declive $\leq 5\%$ com poucas áreas com declive entre 5 e 10%) foram observadas mais de 50% das queimadas identificadas pelo mapeamento no Estado do Tocantins. No entanto, a classe F (declive $> 45\%$) apresentou mais de 30% da sua área queimada. Tal resultado pode estar relacionado ao fato da declividade estar relacionada ao fator de propagação do fogo que tende a ser maior em condições de maiores inclinações, ou também, devido às mudanças no uso e ocupação do solo e abertura de novas áreas para a agricultura (KOPROSKI *et al.*, 2011).

As queimadas observadas, nas áreas com precipitação média anual entre 1.500-1.600, 1.700-1.800 e 1.400-1.500 mm, representaram mais de 50% das ocorrências no Tocantins. Resultados semelhantes, também, foram observados nas áreas com temperaturas médias anuais entre 25,0 e 25,5 e entre 26,0 e 27,0° C.

A bacia hidrográfica do rio Tocantins e sub-bacias rio do Sono, rio Manuel Alves da Natividade, rio das Balsas e riozinho abrangeram mais de 58% das áreas queimadas mapeadas no Estado do Tocantins, com 39,8 % da área da Bacia das Balsas (10.959 km²) atingida por incêndios florestais. Estas sub-bacias, exceto a bacia do rio Tocantins que corta o Estado de norte a sul, estão localizadas a sudeste (na região que compreende o Jalapão) e a sudoeste (na região da Ilha do Bananal).

Tabela 2. Classes, de cada base de dados (extraídas do ano de 2007), utilizadas no cruzamento com o mapeamento de áreas queimadas no ano de 2014, no Estado do Tocantins, que apresentaram maiores percentuais de áreas queimadas observadas dentro de cada classe e/ou no Estado.

Declividade²	%AQ₁	%AQ_{classe}
AB	50,6%	14,2%
F	9,8%	30,1%
Precipitação (mm)		
1.500 – 1.600	22,4%	18,0%
1.700 – 1.800	16,3%	16,2%
1.400 – 1.500	15,0%	21,2%
2.000 – 2.100	9,2%	24,6%
Temperatura média (° C)		
25,0 - 25,5	38,4%	15,8%
26,0 - 27,0	27,3%	16,7%
>27	1,7%	17,7%
Bacia hidrográfica		
Bacia do rio Tocantins	15,9%	12,6%
Sub-bacia do rio Sono	11,7%	22,0%
Sub-bacia do rio Manuel Alves da Natividade	11,1%	33,7%
Sub-bacia do rio das Balsas	10,9%	39,8%
Sub-bacia do rio Riozinho	8,7%	36,0%

%AQ_{classe} = percentual das principais subclasses dentro de cada classe afetada por incêndios florestais; %AQ₁ = percentual de área queimada no Estado, de acordo com a base de dados vetoriais disponibilizadas pela Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins; 2 = classes de declividade AB e F representam, respectivamente, a áreas com predomínio de declive ≤ 5% com poucas áreas com declive entre 5 e 10% e áreas com declive > 45%, respectivamente.

Nas áreas com ocorrência de Neossolos Quartzarênicos e Plintossolos Pétricos e Háplicos, foram observadas 56% das áreas queimadas no Estado do Tocantins. Estes solos são caracterizados por apresentaram restrições ao uso

⁶Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins, responsável pelo zoneamento ecológico-econômico e pela formulação e implementação de sistemas estatísticos e pesquisas socioeconômicas no âmbito do estado. Seus dados estão disponíveis em <<http://seplan.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/>>.

agrícola e assim, podem estar mais sujeitos a degradação. Ainda, a ocorrência destes solos no Estado coincide com as regiões da Ilha do Bananal e do Jalapão.

Tabela 3. Classes, de cada base de dados (extraídas do ano de 2007), utilizadas no cruzamento com o mapeamento de áreas queimadas no ano de 2014, no Estado do Tocantins, que apresentaram maiores percentuais de áreas queimadas observadas dentro de cada classe e/ou no Estado.

Pedologia	%AQ¹	%AQ_{classe}
Neossolos Quartzarênicos	22,3%	22,4%
Plintossolos Pétricos	17,5%	12,9%
Plintossolos Háplicos	17,0%	23,9%
Afloramento Rochoso	0,1%	70,2%

Unidade de Conservação	%AQ¹	%AQ_{classe}
Áreas não protegidas	50,1%	11,8%
Terra Indígena do Araguaia	7,9%	25,9%
Parque Nacional do Araguaia	7,2%	57,8%
Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins	6,4%	45,8%
APA Serra da Mombuca	2,5%	78,8%

Uso da terra	%AQ¹	%AQ_{classe}
Cerrado Stricto Sensu	35,0%	18,8%
Campo	16,8%	28,8%
Agropecuária	15,9%	8,9%
Campo Rupestre	5,9%	51,6%

%AQ_{classe} = percentual das principais subclasses dentro de cada classe afetada por incêndios florestais;
 %AQ¹ = percentual de área queimada no Estado, de acordo com a base de dados vetoriais
⁷ disponibilizadas pela Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins.

O mapeamento realizado revelou que 50% das áreas identificadas como cicatrizes de queimadas, eram áreas não protegidas, ou seja, estavam fora das unidades de conservação. Ao comparar as mesmas, a Terra Indígena do Araguaia (TA), o Parque Nacional do Araguaia (PNA), a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) e a APA Serra da Mombuca (APAM) representaram 24% das áreas queimadas observadas no Estado e 48% das observadas nas unidades de conservação. Cabe destacar que o PNA e a EESGT, terceira e a quarta maior unidade

⁷ Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins, responsável pelo zoneamento ecológico-econômico e pela formulação e implementação de sistemas estatísticos e pesquisas socioeconômicas no âmbito do estado. Seus dados estão disponíveis em <<http://seplan.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/>>.

em área no Estado, apresentaram 57 e 45% da sua área com ocorrência de queimadas, no ano de 2014.

As quatro unidades supracitadas estão localizadas na região Sul do Estado do Tocantins sendo duas a oeste (TA e PNA) e duas a leste (EESGT e APAM) e que respectivamente abrangem as regiões da Ilha do Bananal e do Jalapão. Resultados semelhantes, também, são encontrados no trabalho de Fanin e Van der Werf (2015), tendo estas regiões apresentado maiores áreas queimadas por ano, durante 2002 e 2012.

Com relação ao Jalapão, Libonati *et al.* (2015), relatam a ocorrência de estação seca entre os meses de junho a setembro, e que anos com menores precipitações foram os que apresentaram maiores áreas queimadas, como também observado por Araújo e Ferreira (2015), com relação aos meses do ano. No entanto, Libonati *et al.* (2015) destacam que além do clima, o fator humano exerce influência no regime do fogo na região.

Com relação a uso e ocupação de terra, nas classes Cerrado Stricto Sensu, Campo e Agropecuária, foram identificadas mais de 67% das áreas queimadas mapeadas no Estado do Tocantins. De acordo com Pedroso Júnior *et al.* (2008), a prática da queima na agricultura é utilizada por diversas populações rurais, principalmente, nas regiões tropicais, como o Brasil. Pivello (2009), ainda, destaca que um dos objetivos do uso do fogo na prática agrícola é a limpeza da área para o cultivo, prática que foi transmitida ao longo de várias gerações.

Fanin e Van der Werf (2015) relatam que uso comum do fogo em regiões tropicais para limpeza da área, tanto para fins agrícolas e pecuários, é escolhida por ser uma forma barata e rápida de eliminar a vegetação após desmatamentos. De acordo com Pereira *et al.* (2014) tal prática é adotada, em geral, entre os meses de setembro e outubro no cerrado (meses de escassez de chuvas).

Os resultados do teste Qui-Quadrado (X^2), realizado para ocorrência de queimadas em cada base de dados, foram significativos ($p < 0,01$) (Tabela 4), e indicam que, a distribuição das queimadas em relação a cada base utilizada não foi aleatória no ano de 2014, no Estado do Tocantins. Este resultado pode ter relação com o fato de que o tamanho de classe (área, em km^2) apresentou correlação significativa com o percentual de área queimada observado no Estado ($r > 0,88$; $p < 0,01$; Tabela 4).

Tabela 4. Correlação linear entre a área de cada classe, percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais e o percentual de área queimada observado no Estado do Tocantins, e o teste Qui-Quadrado (X^2) em função da base de dados utilizada no cruzamento com o mapeamento de áreas queimadas no ano de 2014, no Estado do Tocantins.

Base de dados ¹	X^2 (Valor P)	Pares de variáveis		
		Área x %AQ _{classe}	Área x %AQ	%AQ _{classe} x %AQ
Declividade	0,00	-0,026	0,984**	0,101
Precipitação	0,00	0,378	0,939**	0,630
Temperatura média	0,00	-0,445	0,999**	-0,424
Bacia Hidrográfica	0,00	0,219	0,811**	0,698**
UC's	0,00	-0,041	0,984**	0,066
Pedologia	0,00	-0,012	0,926**	0,098
Uso da terra	0,00	0,107	0,883**	0,357

Área = área de cada classe da base de dados utilizada; %AQ_{classe} = percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais; %AQ = percentual de área queimada no Estado, de acordo com a base de dados vetoriais disponibilizadas pela ⁸Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins; UC's = Unidades de Conservação; ** = significativo pelo teste t ($p < 0,01$).

No entanto, as classes que representaram, em termos percentuais, as maiores áreas queimadas no Estado não foram as que apresentaram os maiores percentuais da sua área afetada por queimadas (%AQ_{classe}), que pode ser explicado pela ausência de correlação entre estas duas variáveis na maioria das bases de dados, exceto na de bacias hidrográficas ($r = 0,698$; $p < 0,01$).

4.2 Relação das queimadas com dados socioeconômicos e territoriais

Pela análise de componentes principais, foram extraídos cinco componentes principais, de acordo com o critério de Kaiser (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JR, 2010), os quais explicam 81% da variância contida nas variáveis originais (Tabela 5), com o primeiro e o segundo componente explicando mais de 58% da variação. Estes componentes representam novas variáveis em virtude da redução da dimensionalidade original dos dados e permite fazer avaliações tomando como base determinado componente que reúne múltiplas informações (TOBAR-TOSSE *et al.*, 2015).

⁸ Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins, responsável pelo zoneamento ecológico-econômico e pela formulação e implementação de sistemas estatísticos e pesquisas socioeconômicas no âmbito do estado. Seus dados estão disponíveis em <<http://seplan.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/>>.

Tabela 5. Componentes principais extraídos da análise multivariada dos dados do mapeamento de áreas queimadas no Estado do Tocantins, no de 2014, territoriais e socioeconômicos dos municípios tocaninenses.

Componente Principal	Autovalor	% da variância	% variância acumulada
CP 1	7,888	37,564	37,564
CP 2	4,303	20,490	58,054
CP 3	2,351	11,195	69,249
CP 4	1,520	7,240	76,489
CP 5	1,102	5,247	81,736
KMO		0,71	
Valor p (Teste Bartlett)		0,00	

Na tabela 6, estão descritas as associações de cada variável original com os componentes principais extraídos por meio dos autovetores, sendo que, segundo Prado *et al.* (2016), a associação inversamente proporcional é revelada pelo sinal negativo dos autovetores. Ainda, diversos critérios podem ser utilizados para identificar as variáveis com contribuição relevante nos componentes principais extraídos, como os de Jolliffe (1973) e Tobar-Tosse *et al.* (2015) que estabeleceram valores maiores ou iguais a $|0,7|$ ou $|0,5|$, respectivamente.

Adotando ambos os critérios, as variáveis mais relevantes no primeiro componente principal (CP1) foram: população alfabetizada e urbana, produto interno bruto (PIB) a preços correntes, dos serviços, dos impostos e da indústria. No segundo componente principal (CP2), as variáveis mais discriminatórias foram: área do município, quantidade de focos de calor, área queimada e área de pastagens naturais, florestas e matas nativas (Tabela 6).

A taxa de analfabetismo, o índice de desenvolvimento humano e as rendas per capita urbana e rural foram as variáveis com maior poder discriminatório no terceiro componente principal. Por fim, o PIB per capita, o PIB agropecuária, e o percentual de área queimada do município apresentaram maior relevância no quarto e quinto componente principal, respectivamente (Tabela 6). A partir deste agrupamento, segundo Benin *et al.* (2009) é possível realizar a avaliação/seleção simultânea tomando como base os componentes principais e os escores de cada indivíduo (ou município, no caso do presente estudo) em cada componente.

Tabela 6. Autovetores, após rotação Varimax, dos componentes principais extraídos associados as variáveis originais oriundas do mapeamento de áreas queimadas no Estado do Tocantins, no ano de 2014, e dos dados territoriais e socioeconômicos dos municípios tocaninenses.

Variável	Componente Principal				
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Pop. Alfabetizada ¹	0,975	-	0,192	-	-
PIB preços correntes ²	0,972	-	0,200	-	-
PIB serviços ²	0,971	-	0,196	-	-
Pop. Urbana ¹	0,970	-	0,203	-	-
PIB impostos ²	0,967	-	0,206	-	-
PIB indústria ²	0,899	-	0,186	0,117	-
Nº de bovinos ³	0,489	0,454	0,307	-	-0,467
Pop. Rural ¹	0,478	0,443	-0,282	-	-0,362
Área do município	-	0,924	-	0,243	-
Focos de calor	-	0,874	-	0,278	0,136
Área queimada	-	0,847	-0,121	0,167	0,408
Área de pastagens naturais ³	-	0,764	-	-0,126	-
Área de Floresta + Mata ³	-	0,732	0,208	-	-
Taxa de analfabetismo ¹	-0,283	-	-0,824	-	-
IDH municipal ¹	0,341	-	0,803	0,150	-
Renda per capita rural ¹	0,108	-	0,790	0,107	-
Renda per capita urbana ¹	0,447	0,121	0,702	0,193	-0,179
PIB per capita ²	-	0,107	0,282	0,807	-
PIB agropecuária ²	0,129	0,411	0,199	0,741	-
Índice de pobreza ⁴	-	-0,223	-0,470	0,499	0,422
% área queimada do município	-	0,356	-0,128	-	0,840

“ - ” = valores menores que 0,10; Pop. = população; IDH = índice de desenvolvimento humano; Dados socioeconômicos e territoriais provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 1 = dados referentes ao ano de 2010; 2 = dados referentes ao ano de 2013; 3 = dados referentes ao ano de 2006. 4 = dados referentes ao ano de 2003; 5 = dados oriundos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) referente ao ano de 2014.

Os municípios tocan-tinenses que representaram 50% da área queimada observada no Estado do Tocantins, no ano de 2014, foram: Lagoa da Confusão, Pium, Ponte Alta do Tocantins, Mateiros, Paranã, Goiatins, Almas, Formoso do Araguaia, Rio Sono, Natividade e Tocantínia (Tabela 7). Os municípios supracitados estão localizados, em sua maioria, nas regiões que compreendem a Ilha do Bananal e o Jalapão, apresentando, também, escores positivos quanto ao segundo componente principal (Tabela 7) que está relacionado com a área do município, quantidade de focos de incêndio, área queimada e área de pastagens naturais e florestas e matas nativas (Tabela 6).

Tabela 7. Escores dos municípios tocan-tinenses que representaram 50% da área queimada observada no Estado do Tocantins, no ano de 2014, em relação aos componentes principais (CP) extraídos.

Municípios	AQ	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Lagoa da Confusão	2.998	-0,155	3,575	0,244	3,321	1,208
Pium	2.933	-0,503	4,819	1,031	-1,250	0,840
Ponte Alta do Tocantins	2.857	-0,069	2,674	0,075	-1,134	2,577
Mateiros	2.807	-0,321	1,386	-1,003	4,425	2,460
Paraná	2.121	0,189	4,786	-1,527	-0,925	-1,075
Goiatins	1.899	0,366	2,292	-2,004	0,043	0,460
Almas	1.893	-0,019	1,255	-0,137	0,031	2,820
Formoso do Araguaia	1.608	-0,013	3,298	0,266	2,239	-1,082
Rio Sono	1.311	-0,141	2,088	-0,496	-1,221	0,041
Natividade	1.263	-0,337	1,883	1,162	-1,068	1,952
Tocantínia	997	0,248	0,481	-1,099	-0,659	1,537
Máximo	-	9,646	4,819	2,252	4,425	2,820
Mínimo	-	-0,780	-1,204	-2,522	-1,250	-2,382

AQ = área queimada, em km²;

Pereira *et al.* (2014) destacam que existe relação direta entre área queimada e focos de calor, como observado no presente estudo e nos resultados publicados por Araújo e Ferreira (2015).

Cabe destacar que, oito dos onze municípios apresentaram escores negativos no primeiro componente principal que está relacionado a indicadores do produto

interno bruto e de número de habitantes (Tabela 7). Ainda, nove dos onze, apresentaram percentual do município com área queimada acima da média, conforme escores positivos no quinto componente principal (Tabela 7).

Estes resultados demonstram que os municípios que apresentaram as maiores áreas identificadas como queimadas, tanto em valor absoluto quanto em percentual, possuem indicadores socioeconômicos (PIB e nº de habitantes) abaixo da média e o tamanho das propriedades para uso agrícola e agropecuário, relativamente extensas.

Dentre os municípios listados na tabela 7, Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia e Mateiros apresentaram escores altos quanto ao quarto componente principal (CP4), ou seja, são municípios que possuem PIB da agropecuária e per capita acima da média dos municípios do Tocantins. Segundo dados do IBGE, estes três municípios estão entre os que mais plantaram e produziram soja em grãos no Tocantins no ano de 2015 (IBGE, 2016).

Libonati *et al.* (2015) relatam que o regime do fogo no Cerrado brasileiro está principalmente relacionado com a interação do clima com atividades antrópicas, e Nepstad *et al.* (2008) destacam que a ocorrência de longos períodos de seca na região associada a avanço da fronteira agrícola são fatores que contribuem para o aumento de incêndios florestais e queimadas.

4.3 Análise espacial das queimadas e incêndios florestais

De acordo com Pereira *et al.* (2013), os valores da função transformada $L(x)$, usados na interpretação gráfica da função K de Ripley, podem ser positivos ou negativos e estar acima, dentro ou abaixo do intervalo de confiança. Valores positivos e acima do intervalo de confiança indicam atração espacial, negativos e abaixo do intervalo de confiança, repulsão espacial e, quando observados dentro do intervalo de confiança, aleatoriedade.

A tabela 8 apresenta a síntese dos resultados da interpretação da função K de Ripley, em que é possível observar que nas quatro análises realizadas as ocorrências de queimadas, que apresentaram padrão agregado para toda a área de estudo. Pereira *et al.* (2013) observaram agrupamento das áreas queimadas em função do tamanho das cicatrizes com valores de escalas diferentes, por meio da aplicação da função K de Ripley. Ainda, destacam que esses resultados revelam a

necessidade de estudos associados com informações socioambientais para a identificação de quais fatores podem estar favorecendo a ocorrência do fogo.

Valores positivos do Índice de Moran, segundo Salame *et al.* (2016), indicam similaridade entre áreas (células) que estão espacialmente próximas entre si, enquanto, que valores negativos revelam dissimilaridade, relacionados à ocorrência de eventos. Para que tais afirmações possam ser feitas, é aplicado um teste de probabilidade, em que valores não significativos indicam ausência de autocorrelação espacial, ou seja, aleatoriedade na ocorrência dos eventos analisados (KAMPEL *et al.*, 2000).

Tabela 8. Padrões de distribuição espacial das áreas queimadas no Estado do Tocantins e para áreas selecionadas: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins; Parque Nacional do Araguaia e Território Indígena do Araguaia, para o ano de 2014

Área analisada	Padrão de distribuição espacial*	Índice de Moran
Estado do Tocantins	Agregado por toda escala	0,740793**
EESGT	Agregado por toda escala	0,400127**
Parque Nacional do Araguaia	Agregado por toda escala	0,447045**
Território Indígena do Araguaia	Agregado por toda escala	0,687032**

* = obtido por meio da função K de Ripley. ** Significativo a 1% pelo teste Qui Quadrado. EESGT = Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.

Os resultados da tabela 8 revelam que o Índice de Moran foi positivo e significativo ($I > 0,40$; $p < 0,01$) tanto quando foi considerada a área queimada mapeada em todo o Estado do Tocantins ou em parte dele (especificamente em três unidades de conservação). Isto indica proximidade entre as áreas (células de 10 x 10 km) com ocorrência do fogo no Estado, ou seja, que as queimadas estavam distribuídas de forma agrupada (não ocorrendo de forma aleatória).

De forma semelhante, no Estado do Pará, Salame *et al.* (2016) também observaram Índices de Moran positivos e significativos quanto à ocorrência de queimadas entre os anos de 1999 a 2004. Ainda, relatam que o resultado demonstrou que municípios com alta (ou baixa) ocorrência de queimadas estão próximos a municípios com as mesmas observações e que não ocorrem de forma aleatória.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitem concluir que a ocorrência do fogo no Estado do Tocantins, no ano de 2014, não apresentou distribuição aleatória, e sim um padrão de distribuição agregado por toda a escala de estudo. Além disso, os municípios compreendidos nas regiões da Ilha do Bananal e do Jalapão foram os que apresentaram maiores ocorrências de queimadas e incêndios florestais, associados às bacias hidrográficas, pedologia, e unidades de conservação.

Além das condições ambientais intrínsecas observadas no Bioma Cerrado, as variáveis como a baixa umidade e precipitação no chamado “período seco”, aliado às altas taxas de temperatura neste período, mostram que os municípios com maiores áreas queimadas, estiveram associados também com maiores PIB da agropecuária e menores PIB de serviços e indústria e número de habitantes.

Os resultados deste estudo, demonstram a necessidade de mais pesquisas nas regiões da Ilha do Bananal e do Jalapão para compreender o efeito do fogo nestes ambientes e definir mecanismos para redução dos danos ambientais provocados pela prática de queimas, tais como a construção de aceiros, construção de barragens de água que atuem como obstáculos à propagação do fogo e como reserva de água para o combate ao incêndio, maior fiscalização, e principalmente, ações de conscientização de toda a sociedade, através de políticas públicas, da importância em se preservar o meio-ambiente ao qual vivemos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; DIAZ, M. C. V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and Non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10. p. 1 -17. 2006.

ARAGÃO, L. E. O. et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 363, p. 1779-1785, 2012.

ARAÚJO, A. A. **Filtragem Espacial - Técnicas de Realce para Imagem**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 9., JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA, 8., 1989, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBC, 1989. p. 16-21.

ARAÚJO, F. M.; FERREIRA, L. G. Satellite-based automated burned area detection: A performance assessment of the MODIS MCD45A1 in the Brazilian savanna. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 36, p. 94-102, 2015.

BENIN, G. et al. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1145-1151, 2009.

CARVALHO, F. M. V. et al. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação MODIS no Bioma Cerrado. **Revista Árvore**, v. 32, p. 279-290, 2008.

COBRA, D. T. Q.; COSTA, J. A. D. D.; MENEZES, M. F. B. Realce de Imagens Através de Hiperbolização Quadrática do Histograma. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 5., 1992, Águas de Lindóia. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 1992. p. 63-71.

COUTINHO, A. C. Padrões de distribuição espacial de queimadas no Estado do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009.

DEMATTE, J.A.M.; TOLEDO, A.M.A.; SIMÕES, M.S. Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores: laboratorial e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 877-889. 2004.

FANIN, T.; Van der WERF, G. R. Relationships between burned area, forest cover loss, and land cover change in the Brazilian Amazon based on satellite data. **Biogeosciences**, v. 12, p. 6033-6043, 2015.

FELDE, G.W.; ANDERSON, G.P.; COOLEY, T.W.; MATTHEW, M.W.; ADLER-GOLDEN, S.M.; BERK, A.; LEE, J. Analysis of hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2003, Toulouse. Proceedings. **New York: IEEE**, 2003. p.90-92.

FERNANDES, M. C. et al. Avaliação geocológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floram – Floresta e Ambiente**, v. 18, p. 299-309, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, v. 16, p. 160-185, 2010.

FLORENZANO, T. G. **Os satélites e suas aplicações**. São José dos Campos: SindCT, 2008. 48 p.

FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. 2000. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

GOMES, C. Geotecnologias da informação e remodelação do espaço urbano-regional: os sistemas de informação geográfica. **Interface**, v. 3, p. 7-28, 2006.

HAIR JR, J. F. et al. **Multivariate Data Analysis**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006. 816 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades@**. IBGE: Brasília-DF, 2016. Acesso em: 29 nov. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=17&search=tocantins>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Portal Programa Queimadas**. 2016. Acesso 29 nov. 2016. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>.

JOLLIFFE I. T. Discarding variables in a principal component analysis. II. Real data. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**, v. 22, p. 21-31, 1973.

KAMPEL, S. A.; CÂMARA, G.; QUINTANILHA, J. A. Análise exploratória das relações espaciais do desflorestamento na Amazônia Legal brasileira. **Anais Gisbrasil**, Salvador, Brasil, 2000. Acesso em 10 set. 2016. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/papers/silvana_gisbrasil2000.pdf>.

KOPROSKI, L. et al. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). **Floresta**, v. 41, p. 551-562, 2011.

KRUG, T. et al. **Emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no Cerrado não-antrópico utilizando dados orbitais: Relatório de referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. 53 p.

LIBONATI, R. et al. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μ m MODIS imagery. **Remote sensing**, v. 7, p. 15782-15803.

LU, D. et al. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 2365-2407, 2004.

MARQUES FILHO, O; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**, Rio de Janeiro: Brasport, 1999. 331p.

MENEZES, P. R.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D. **Introdução ao processamento de imagens digitais de satélites de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 276p.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.). **The cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2000. p.51-68.

MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por Que é Importante Entender as Inter-Relações entre pessoas, Fogo e Áreas Protegidas? **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 40-49, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: Relatório Final**. Brasília: MMA, 2007. 93 p. Acesso em 20 fev. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado/mapa-de-cobertura-vegetal>>.

MOUGHAL, T. Q. et al. A. Enhanced detection of burned area using cross and autocorrelation. **Journal of applied remote sensing**, v. 9, p. 096018-096018, 2015.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NEPSTAD, D.C. et al. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 363, p. 1737–1746, 2008.

PEDROSO JUNIOR, N.N.; MURRIETA, R.S.S; ADAMS, C.A Agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. Boletim **MPEG–Ciências Humanas**, Belém, v.3, n.2, p.3-12, 2008.

PEREIRA, G. et al. Comparação das áreas de queimada obtidas através de dados de campo e de dados do sensor CCD/CBERS 2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 21 -26.

PEREIRA, A. A. et al. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Ceres**, v.18, p. 335-343, 2012.

PEREIRA, A. A. et al. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Florestalis**, v.41, p. 445-455, 2013.

PEREIRA, A. A. et al. Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. **Cerne**, v. 20, p. 459-469, 2014.

PIROLI, E.L. et al. Análise do uso da terra na microbacia do Arroio do Meio – RS, por sistema de informações geográficas e imagem de satélite. **Ciência Rural**, v.32, n.3, p.407–413, 2002.

PIVELLO, V. R. Os cerrados e o fogo. **Com Ciência**, n.104, p.0-0, 2009.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, p. 25-39, 2011.

PRADO, B.Q. de M. et al. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 407-413, 2016.

PRUDENTE, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno.** 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2010.

RIVERA-LOMBARDI, R. J. **Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat.** 2003. 172 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

SALAME, C. W. et al. Use of spatial regression models in the analysis of burnings and deforestation occurrences in forest region, Amazon, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p. 1-12, 2016.

SANTOS, J. R.; AOKI, H. Monitoramento do Parque Nacional de Brasília através de dados orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 1978, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1981. p. 118-134.

SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. **Revista Ceres**, v. 56, n. 04, p. 399-409, 2009.

SILVA, L. A. G. C. **Biomass presentes no Estado de Tocantins.** Brasília: Consultoria Legislativa, 2007. 10p. (Nota técnica). Acesso em: 28 nov. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/ENNyjd>>.

TOBAR-TOSSE, D. E. et al. Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1214-1219, 2015.

VARGAS, D. Y. T. **Histórico do Comitê do Fogo.** CEDEC: Palmas, 2010. Acesso em: 28 fev. 2016. Disponível em: <<http://central3.to.gov.br/arquivo/46029/>>.

VASCONCELOS S. S. et al. **Mapeamento das áreas afetadas por incêndios florestais no Sul do Amazonas e estimativas das emissões potenciais de carbono.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2011, Curitiba, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8059-8066.

VERBURG, P. H.; NEUMANN, K.; NOL, L. Challenges in using land use and land cover data for global change studies. **Global Change Biology**, v. 17, p. 974-989, 2011.

VICENTE, L.E.; GOMES, D.; VICTORIA, D. de C.; GARÇON, E.A.M.; BOLFE, E.L.; ANDRADE, R.G.; SILVA, G.B.S. Da. Séries temporais de NDVI do sensor SPOT Vegetation e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1337-1345, 2012.

WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. Diversidade fitofisionômica e o papel do fogo no bioma Cerrado. In: MIRANDA H. S. (ed.). **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do projeto fogo**. Brasília: IBAMA, 2010. p. 59-76.

XAUD, M. R. et al. Monitoramento de queimadas e incêndios florestais em Roraima: informações orbitais e locais subsidiando tomadas de decisão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 533-534.