

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

Edmar Vinícius de Carvalho<sup>1\*</sup>, Antônio Carlos Batista<sup>2</sup>, Maria Cristina Bueno Coelho<sup>1</sup>,  
Cinthia Ohana Marques Neves<sup>1</sup>, Gil Rodrigues dos Santos<sup>1</sup>, Marcos Giongo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CeMAF), Gurupi, Tocantins, Brasil - carvalho.ev@uft.edu.br\*; mariacristina@uft.edu.br; cinthiaohana@hotmail.com; gilrsan@uft.edu.br; giongo@uft.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Florestal, Curitiba, Paraná, Brasil - batistaufpr@gmail.com

Recebido para publicação: 27/01/2017 – Aceito para publicação: 17/08/2017

---

## Resumo

O objetivo desta pesquisa foi caracterizar áreas queimadas no Tocantins, no ano de 2014, por meio de análise exploratória e de componentes principais, com uso de imagens de satélite dos meses de julho a outubro. Foram utilizadas bandas captadas por sensores do satélite Landsat-8: infravermelho médio (1,57–1,65  $\mu\text{m}$ ), infravermelho próximo (0,85–0,88  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (0,64–0,67  $\mu\text{m}$ ), na composição RGB, com resolução espacial de 30 m. Foi realizado o processamento e interpretação visual das imagens para vetorização das áreas queimadas, que foi cruzada com bases de dados (precipitação média anual, pedologia, temperatura média anual, bacia hidrográfica, declividade, áreas protegidas, uso da terra e limites municipais), disponibilizadas pela Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins, e dados territoriais e socioeconômicos dos municípios tocantinenses. Estes últimos foram utilizados na análise de Componentes Principais (CP) que extraiu cinco CP que explicam 81,74% da variância dos dados. Esta análise indicou que a área queimada apresentou maior relação positiva com a área do município, quantidade de focos de calor, área de pastagens naturais e florestas. Pelas análises espaciais, nos locais de maior ocorrência de queimadas (regiões do Jalapão e da Ilha do Bananal), bem como no estado todo, a ocorrência de queimadas não pôde ser considerada aleatória. Foi possível concluir que além das condições ambientais intrínsecas do Cerrado, municípios com maiores áreas queimadas estiveram associados com maior Produto Interno Bruto (PIB) da agropecuária e menor PIB de serviços e indústria e menor número de habitantes.

*Palavras-chave:* Cerrado; distribuição espacial; fogo; imagens Landsat.

## Abstract

*Characterization of wildfires in Tocantins State on 2014 season.* This aim of this research was to characterize the burned areas in the Tocantins, 2014 season, by the exploratory and principal component analysis, with use of satellite images between July and October. They were used the bands of sensors of Landsat-8 satellite: shortwave infrared (1.57–1.65  $\mu\text{m}$ ), near infrared (0.85–0.88  $\mu\text{m}$ ) and red (0.64–0.67  $\mu\text{m}$ ), in the RGB composition, with a spatial resolution of 30 meters. It was conducted the processing and visual interpretation of the images, for the vectorization of the burned area. These data were crossed with seven databases (annual average precipitation, pedology, annual average temperature, watershed, slope, protected area, land use and municipal boundaries), available on Secretaria de Planejamento e Orçamento do 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 PC (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 the burned area occurrence, in the Tocantins State (include regions with highest burned area, as Jalapão e Bannal 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 gross domestic product (GDP) and low GDP of services and industry and low population.

*Keywords:* Cerrado; fire; Landsat images; spatial distribution.

---

## 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), sendo eficaz em países de grande extensão territorial como o Brasil (SHIMABUKURO *et al.*, 2009).

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 (TOBAR-TOSSE *et al.*, 2015), torna-se interessante para caracterização dos resultados obtidos.

Com o aumento das pressões antrópicas sobre o ambiente, tem-se observado o processo de substituição de paisagens naturais por outros usos do solo e a transformação das áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais que sofrem rápida deterioração com a ocorrência de incêndios. De acordo com Alencar *et al.* (2006), o fogo é considerado ferramenta essencial nessa transformação do ambiente e pode ter seu uso intensificado pela expansão da fronteira agrícola. Mistry e Bizerril (2011), ainda, relatam que o fogo é um dos mecanismos mais antigos e amplamente utilizados na conversão de paisagens florestais em rurais.

Na região dos cerrados, além destes usos culturais e agrícolas, o fogo é considerado como agente fundamental no aspecto da vegetação (PIVELLO, 2009), que, em geral, apresenta características de adaptação a este fenômeno (WALTER; RIBEIRO, 2010). O Tocantins, que possui grande parte do território dentro do bioma cerrado (SILVA, 2007), é um dos estados brasileiros com altas taxas de frequência e número de focos de calor (mais de 225 mil focos de calor de 1998 a 2016, segundo dados do INPE) devido aos incêndios florestais, concentrados no período seco (maio a outubro). Além disso, vem exibindo com o passar dos anos áreas de florestas degradadas devido ao avanço agrícola, cada vez mais acentuado em toda a sua extensão (VARGAS, 2010).

Com relação às estimativas de áreas queimadas no Cerrado, especificamente no Tocantins, as mesmas podem ser feitas por meio de imagens de satélite a partir das cicatrizes de incêndios e/ou queimadas formadas na cobertura florestal. 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, que pode ser captada via satélite como foco de calor (SCHROEDER *et al.*, 2008).

Por fim, o uso de sistemas de informações geográficas ao passar dos anos tornou-se eficiente na realização de análises da distribuição espacial de dados de incêndios florestais e/ou queimadas que permite o conhecimento da quantidade e a localização destes eventos para a região de interesse (FERNANDES *et al.*, 2011), imprescindível na condução de ações de prevenção e combate aos incêndios e elaboração de políticas públicas relacionadas a manutenção da qualidade ambiental. Assim, o objetivo deste trabalho foi 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.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estado do Tocantins compreende uma área superior a 277 mil km<sup>2</sup> (3,26% do território nacional e 7,2% da região norte) em que a superfície inserida na Amazônia Legal equivale a 97,9% da área total do estado. Dentre os municípios que o compõe, Formoso do Araguaia é o que possui maior área, 13.423 km<sup>2</sup>, e Axixá do Tocantins a menor, com 150 km<sup>2</sup>. O estado está localizado no centro geográfico do país, situando-se entre os paralelos 5° e 13° de latitude sul e os meridianos 46° e 51° de longitude oeste, fazendo limites 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.

Em termos gerais, o estado do Tocantins apresenta clima distintamente sazonal (segundo classificação de Thornthwaite) caracterizado por dois períodos, um chuvoso e outro seco: o primeiro começa em meados de outubro e se estende até abril e; o segundo de maio a setembro, não havendo praticamente registros de precipitações, com temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar. 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.

O estado é formado por duas bacias hidrográficas: rio Araguaia, com área de 104.791 km<sup>2</sup> (37,7%), dividido em 16 bacias hidrográficas; e rio Tocantins, com área de 172.828 km<sup>2</sup> (62,3%), dividido em 14 bacias. Predominam no estado solos concrecionários e latossolos no centro-sul e no centro e areias quartzosas no leste e no centro-norte. A maioria dos solos tem fraco até 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.

Para a realização do presente trabalho, foram utilizadas imagens provenientes do satélite Landsat oriundas do sensor *Operacional Terra Imager (OLI)* que foram adquiridas por meio do *download* no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), em que 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 RGB e que possuem resolução espacial de 30 metros e temporal de 16 dias. Foram utilizadas 19 cenas do satélite Landsat 8 (órbitas 220; 221; 222; 223; pontos 064; 065; 066; 067; 068; 069), que correspondem à cobertura do estado do Tocantins, com um total de 38 imagens digitalizadas (duas datas de passagem para cada cena), levando em consideração o período crítico de ocorrência de incêndios florestais e ausência de nuvens (PEREIRA *et al.*, 2012).

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 com uso de imagens georreferenciadas referentes ao ano de 2014, disponíveis no site do USGS.

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

Na caracterização das áreas, o arquivo vetorial com as áreas queimadas do ano de 2014 foi primeiramente cruzado com as seguintes base de dados geográficos, da Secretaria de Planejamento e Orçamento do estado do Tocantins: precipitação média anual, pedologia, temperatura média anual, bacia hidrográfica, declividade, áreas protegidas, uso da terra e limites municipais. Isto foi realizado para a obtenção da área queimada (em km<sup>2</sup>), percentual de área queimada observado no estado (%AQ<sub>obs</sub>) referente à classe da base de dados e o percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais (%AQ<sub>classe</sub>). Estes dois últimos foram submetidos à análise de correlação linear ( $p < 0,05$ ) juntamente com área, em km<sup>2</sup>, de cada classe.

Estes dados, ainda, foram utilizados para verificar se as ocorrências das queimadas apresentaram padrão de aleatoriedade ou tendência de distribuição espacial, 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 em relação à área do estado.

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

Área Queimada (AQ), obtida pela digitalização de imagens Landsat com resolução de 30 m, em km<sup>2</sup>;

- Área de cada município do Tocantins, em km<sup>2</sup>, 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, provenientes dos dados de todos os satélites;
- População alfabetizada, taxa de analfabetismo, população que reside na área urbana e a que reside 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, 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 Figueiredo Filho e Silva Jr. (2010) com aplicação da rotação *varimax* para melhor interpretação das cargas fatoriais. As análises espaciais (padrões pontuais e autocorrelação espacial), das áreas queimadas, foram realizadas para todo o estado do Tocantins e em separado em três áreas protegidas: 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 centroides 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, com a apresentação 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 (I), 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.

## RESULTADOS

O mapeamento de áreas queimadas no estado do Tocantins, no ano de 2014, permitiu identificar mais de 45 mil km<sup>2</sup> (16,3%) de áreas queimadas, com ocorrências em todas as regiões do estado (Figura 1). No entanto, é

possível observar que aproximadamente 75% das áreas identificadas como queimadas estão concentradas nas regiões mais ao sul do estado do Tocantins, ou seja, dentro da área considerada como bioma cerrado.

Nas tabelas 1 e 2 estão descritas as informações obtidas pelo cruzamento do mapeamento de áreas queimadas com sete bases de dados disponibilizadas pela Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins (SEPLAN). Nela são encontradas duas informações: o percentual de área queimada observado no estado (%AQ<sub>obs</sub>) referente à classe da base de dados utilizada e; o percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais (%AQ<sub>classe</sub>). Com relação à declividade, na classe AB (áreas com predomínio de declive ≤ 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.

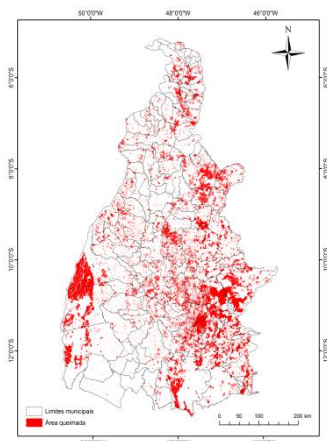


Figura 1. Área queimada no Tocantins, no ano de 2014, obtida pela digitalização de imagens Landsat-8.  
Figure 1. Burned area in Tocantins, 2014 seasons, by digitalization of Landsat-8 images.

Tabela 1. Classes, de cada base de dados<sup>1</sup>, 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.

Table 1. Classes from each database used in the cross with burned area mapping, 2014 season, in Tocantins State, with highest percentage of burned area inside class or State.

Declividade <sup>2</sup>	%AQ <sub>obs</sub>	%AQ <sub>classe</sub>
AB	50,6	14,2
F	9,8	30,1
<b>Precipitação (mm)</b>		
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
<b>Temperatura média (° C)</b>		
25,0 –  25,5	38,4	15,8
26,0 –  27,0	27,3	16,7
>27	1,7	17,7
<b>Bacia hidrográfica</b>		
Bacia do Rio Tocantins	15,9	12,6
Bacia do Rio Sono	11,7	22,0
Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade	11,1	33,7
Bacia do Rio das Balsas	10,9	39,8
Bacia do Rio Riozinho	8,7	36,0

%AQ<sub>classe</sub> = percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais %AQ<sub>obs</sub> = percentual de área queimada observada no Estado; 1 = base de dados vetoriais obtidas em SEPLAN-TO; 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.

Tabela 2. Classes, de cada base de dados<sup>1</sup>, 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.

Table 2. Classes from each database used in the cross with burned area mapping, 2014 season, in Tocantins State, with highest percentage of burned area inside class or State.

<b>Pedologia</b>	<b>%AQ<sub>obs</sub></b>	<b>%AQ<sub>classe</sub></b>
Neossolos Quartzarênicos	22,3	22,4
Plintossolos Pétricos	17,5	12,9
Plintossolos Háplicos	17,0	23,9
Afloramento Rochoso	0,1	70,2
<b>Áreas Protegidas</b>		
Sem unidade	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
<b>Uso da terra</b>		
Cerrado Sentido Restrito	35,0	18,8
Campo	16,8	28,8
Agropecuária	15,9	8,9
Campo Rupestre	5,9	51,6

%AQ<sub>classe</sub> = percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais; %AQ<sub>obs</sub> = percentual de área queimada observada no Estado; 1 = base de dados vetoriais obtidas em: SEPLAN-TO

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

As bacias hidrográficas do Rio Tocantins, 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 km<sup>2</sup>) atingida por queimadas e/ou incêndios florestais. Estas bacias, exceto a do Rio Tocantins que corta o estado de norte a sul, estão localizadas a sudeste (na região que compreende o Jalapão) e sudoeste (na região da Ilha do Bananal).

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 apresentarem restrições ao uso 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.

O mapeamento realizado revelou que 50% das áreas identificadas como cicatrizes, de queimadas e/ou incêndios florestais, estavam fora de áreas protegidas e que, com relação ao uso e ocupação de terra, mais de 67% estavam localizadas nas classes Cerrado Sentido Restrito, Campo e Agropecuária.

As áreas protegidas Terra Indígena do Araguaia (TA), Parque Nacional do Araguaia (PNA), Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) e APA Serra da Mombuca (APAM) representaram 36,1% das áreas queimadas observadas no estado e 48,3% das observadas nas áreas protegidas. Cabe destacar que o PNA e a EESGT, terceira e a quarta maior unidade 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.

Os resultados do teste Qui-Quadrado, realizado para ocorrência de queimadas em cada base de dados, foram significativos ( $p < 0,01$ ), conforme a tabela 3, 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 da classe (área, em km<sup>2</sup>) apresentou correlação significativa com o percentual de área queimada observado no estado ( $r > 0,88$ ;  $p < 0,01$ ; Tabela 3), em todas as bases de dados. 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<sub>classe</sub>), que pode ser explicado pela ausência de correlação entre estas duas variáveis na maioria das bases de dados, exceto na de bacias hidrográficas ( $r = 0,698$ ;  $p < 0,01$ ).

Tabela 3. 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 teste Qui-Quadrado ( $X^2$ ) em função da base de dados utilizada no cruzamento com o mapeamento de áreas queimadas no ano de 2014.

Table 3. Linear correlation among area of each class and the percentage of class area affected with wildfire and in Tocantins State, and Chi-squared test ( $X^2$ ), based on database used in cross with burned area mapping, 2014 season.

Base de dados <sup>1</sup>	$X^2$ (valor P)	Pares de variáveis		
		Área x %AQ <sub>classe</sub>	Área x %AQ <sub>obs</sub>	%AQ <sub>classe</sub> x %AQ <sub>obs</sub>
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**
Áreas protegidas	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<sub>classe</sub> = percentual de área da classe afetada por queimadas e/ou incêndios florestais; %AQ<sub>obs</sub> = percentual da área queimada observada no Estado; 1 = base de dados vetoriais obtidas em: SEPLAN-TO; \*\* = significativo pelo teste t ( $p < 0,01$ ).

Pela análise de componentes principais, foram extraídos cinco componentes principais, de acordo com o critério de Kaiser (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JR, 2010), os quais explicam 81% da variância contida nas variáveis originais (Tabela 4), com o primeiro e o segundo componente explicando mais de 58% da variação. Na Tabela 5, estão descritas as associações de cada variável original com os componentes principais extraídos por meio dos autovetores. Diversos critérios podem ser utilizados para identificar as variáveis com contribuição relevante nos componentes principais extraídos, como o de Tobar-Tosse *et al.* (2015) que estabeleceram valores maiores ou iguais a |0,5|.

Tabela 4. Componentes principais extraídos da análise multivariada dos dados do mapeamento de áreas queimadas no estado do Tocantins, no ano de 2014, e territoriais e socioeconômicos dos municípios tocaninenses.

Table 4. Principal components extracted of multivariate analysis based on data from burned area mapping in Tocantins State, 2014 seasons, and territorial and socioeconomically data from the all Tocantins cities.

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

Tabela 5. Autovetores, após rotação *varimax*, dos componentes principais extraídos associados as variáveis originais oriundas do mapeamento de áreas queimadas no estado do Tocantins, no de 2014, e dos dados territoriais e socioeconômicos dos municípios tocaninenses

Table 5. Eigenvalues, after *varimax* rotation, of the principal components extracted associated with the original variables based on burned area mapping in the Tocantins State, 2014 season, and the territorial and sociogenetically data from all Tocantins cities

Variável	Componente principal				
	1	2	3	4	5
Pop. alfabetizada <sup>1</sup>	0,975	-	0,192	-	-
PIB preços correntes <sup>2</sup>	0,972	-	0,200	-	-
PIB serviços <sup>2</sup>	0,971	-	0,196	-	-
Pop. urbana <sup>1</sup>	0,970	-	0,203	-	-
PIB impostos <sup>2</sup>	0,967	-	0,206	-	-
PIB indústria <sup>2</sup>	0,899	-	0,186	0,117	-
Nº de bovinos <sup>3</sup>	0,489	0,454	0,307	-	-0,467

Pop. rural <sup>1</sup>	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 <sup>3</sup>	-	0,764	-	-0,126	-
Área de Floresta <sup>3</sup>	-	0,732	0,208	-	-
Taxa de analfabetismo <sup>1</sup>	-0,283	-	-0,824	-	-
IDH municipal <sup>1</sup>	0,341	-	0,803	0,150	-
Renda per capita rural <sup>1</sup>	0,108	-	0,790	0,107	-
Renda per capita urbana <sup>1</sup>	0,447	0,121	0,702	0,193	-0,179
PIB per capita <sup>2</sup>	-	0,107	0,282	0,807	-
PIB agropecuária <sup>2</sup>	0,129	0,411	0,199	0,741	-
Índice de pobreza <sup>4</sup>	-	-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.

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 e florestas (Tabela 5).

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 e da agropecuária e o percentual de área queimada do município apresentaram maior relevância no quarto e quinto componente principal, respectivamente (Tabela 5).

Os municípios tocantinenses 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 6). 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 6) que está relacionado com a área do município, quantidade de focos de calor, área queimada e área de pastagens naturais e florestas.

Tabela 6. 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.

Table 6. Scores of Tocantins cities with 50% of burned area in the Tocantins State, 2014 seasons, in relation to the principal components extracted.

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, obtida pela digitalização de imagens Landsat com resolução de 30 m, em km<sup>2</sup>;

A tabela 7 apresenta a síntese dos resultados da interpretação dos resultados da função K de Ripley, em que é possível observar que nas quatro análises realizadas as ocorrências de queimadas e/ou incêndios florestais apresentaram padrão agregado por toda a escala de estudo.

Tabela 7. Padrões de distribuição espacial das áreas queimadas 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.

Table 7. Spatial pattern of the burned area in the Tocantins State and for the selected area: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins; Parque Nacional do Araguaia e Território Indígena do Araguaia, 2014 season.

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%. EESGT = Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.

Os resultados da tabela 7 revelam, também, 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 áreas protegidas). 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).

## DISCUSSÃO

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). 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 de 2002 a 2012, com base no produto MCD64A1. 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.

De acordo com Silva (2007), o estado do Tocantins está situado numa faixa de transição entre o bioma Amazônia e o Cerrado, com predomínio deste último. Ainda, no Cerrado o fogo é considerado como agente fundamental para o aspecto da vegetação nestes ambientes (PIVELLO, 2009), a qual apresenta adaptação a este fenômeno (WALTER; RIBEIRO, 2010).

Com relação à região do Jalapão, Libonati *et al.* (2015), que relatam a ocorrência de estação seca dos meses de maio a setembro, concluíram 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.

De acordo com Pedrosa 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 apontam as regiões do Jalapão e da Ilha do Bananal como as de maior ocorrência das áreas queimadas no estado do Tocantins, em 2014, que também, de forma semelhante foram encontrados por Fanin e Van der Werf (2015), tendo estas regiões apresentado maiores áreas queimadas por ano, de 2002 a 2012.

Na tentativa de reduzir a dimensionalidade dos dados, é possível utilizar novas variáveis denominadas de componentes principais que permitem fazer avaliações tomando como base determinado componente que reúne múltiplas informações (TOBAR-TOSSE *et al.*, 2015). Assim, a partir deste agrupamento 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. Nesse sentido, apesar da quantidade de focos de calor e área queimada serem representadas pelo mesmo componente principal, que indica existência de forte relação linear entre estas variáveis, Pereira *et al.* (2014) destacam que não existe relação direta entre área queimada e focos de calor, mesmo que diversos trabalhos apontem correlação entre estes dois parâmetros (*e.g.* ARAÚJO; 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. Ainda, nove dos onze apresentaram percentual do município com área queimada acima da média, conforme escores positivos no quinto componente principal. Estes resultados demonstram que os municípios que apresentaram as maiores áreas identificadas como queimadas e/ou incêndios florestais, tanto em valor absoluto quanto em percentual, possuem indicadores socioeconômicos (PIB e nº de habitantes) abaixo da média dos municípios tocantinenses.



Dentre os municípios listados na tabela 6, 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.

No tocante à análise de padrão de distribuição espacial, Pereira *et al.* (2013) relatam que 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, repulsão espacial e, quando observados dentro do intervalo, aleatoriedade. Nesse sentido, os autores 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). Por esta análise, realizada para as áreas queimadas no estado do Pará, Salame *et al.* (2016) 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 ocorreram de forma aleatória.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitem concluir que:

- A ocorrência do fogo no estado do Tocantins, no ano de 2014, não apresentou distribuição aleatória.
- As regiões que compreendem a Ilha do Bananal e o Jalapão foram as que apresentaram maiores ocorrências de queimadas e incêndios florestais, associadas às bacias hidrográficas, pedologia, áreas protegidas e municípios destas duas regiões.
- OS municípios com maiores áreas queimadas, que estão inseridos na região da Ilha do Bananal e do Jalapão, estiveram associados com maiores PIB da agropecuária e menores PIB de serviços e indústria e menor número de habitantes.

## REFERÊNCIAS

- 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**, Boston, v. 10, n. 6, p. 1-17, 2006.
- 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**, Amsterdam, v. 36, p. 94-102, 2015.
- CARVALHO, F. M. V.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; BINI, L. M. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação MODIS no Bioma Cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 279-290, 2008.
- 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**, Göttingen, v. 12, p. 6033-6043, 2015.
- FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; COOLEY, T. W.; MATTHEW, M. W.; ADLERGOLDEN, S. M.; BERK, A.; LEE, J. Analysis of hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International**. IEEE, 2003. p. 90-92
- FERNANDES, M. C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; AVELAR, A. S. Avaliação geocológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floram – Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 299-309, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 160 - 185, 2010.

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

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

KAMPEL, S. A.; CÂMARA, G.; QUINTANILHA, J. A. **Análise exploratória das relações espaciais do desflorestamento na Amazônia Legal brasileira**. Anais Gisbrasil, Salvador, Brasil, 2000. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/geopro/papers/silvana\\_gisbrasil2000.pdf](http://www.dpi.inpe.br/geopro/papers/silvana_gisbrasil2000.pdf)> Acesso em 10 set. 2016.

LIBONATI, R.; CAMARA, C. C.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; MELCHIORI, A. E. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4  $\mu$ m MODIS imagery. **Remote sensing**, Basel, v. 7, n. 11, p. 15782-15803, 2015.

MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, n. 2, p. 40-49, 2011.

MOUGHAL, T. Q.; YU, F.; MAZHER, A.; LIU, S.; RAZZAQ, A. A. Enhanced detection of burned area using cross and autocorrelation. **Journal of applied remote sensing**, Bellingham, v. 9, n. 1, p. 096018-096018, 2015.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, Londres, v. 363, n. 1498, 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 Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 3, n. 2, p. 3-12, 2008

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, J. A. A.; MORELLI, F.; BARROS, D. A.; ACERBI JUNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Ceres**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 335-343, 2012.

PEREIRA, A. A. BARROS, C. A.; ACERBI JUNIOR, F. W.; PEREIRA, J. A. A.; REIS, A. A. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.41, n. 1000, p. 445-455, 2013.

PEREIRA, A. A.; BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; ACERBI JUNIOR, F. W.; MORELLI, F.; SCOLFORO, J. R. S. Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 459-469, 2014.

PIVELLO, V. R. Os cerrados e o fogo. **ComCiência**, Campinas, n. 104, p.1-2, 2009.

SALAME, C. W.; QUEIROZ, J. C. B.; ROCHA, G. M.; AMIN, M. M.; ROCHA, E. P. Use of spatial regression models in the analysis of burnings and deforestation occurrences in forest region, Amazon, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, Amsterdam v. 75, n. 274, p. 1-12, 2016.

SCHROEDER, W.; PRINS, E.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SCHMIDT, C.; MORISETTE, J.; MORTON, D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. **Remote Sensing Environment**, Amsterdam, v.112, n. 5, p. 2711-2726, 2008.

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

TOBAR-TOSSE, D. E.; CASTOLDI, R.; CNADIDO, W; S.; FERRAUDO, A. S.; CHARLO, H. C. O.; BRAZ, L. T. Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 7, p. 1214-1219, 2015.

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

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.