

Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil

Effect of weather conditions on the risk of fire and the number of urban burnings and fires recorded by remote sensing in Cuiabá-MT, Brazil

Nadja Gomes Machado¹, Francisco Carlos Paiva da Silva ² e Marcelo Sacardi Biudes³

¹ Laboratório de Biologia da Conservação, Instituto Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT

² Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Mato Grosso, Várzea Grande/MT

^{1,3} PPG em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT

Resumo

O estabelecimento de políticas de prevenção de queimadas urbanas pode ser definido a partir de estudos sobre suas causas. As queimadas urbanas são agravadas por condições meteorológicas específicas, como a falta de precipitação, elevada velocidade do vento e baixa umidade relativa do ar, além de estarem relacionadas com atividades humanas. O número de queimadas no município de Cuiabá-MT é elevado durante estação seca, afetando a saúde da população. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi (i) avaliar a sazonalidade das queimadas atendidas pelo Corpo de Bombeiro e dos focos de calor obtidos por imagens de satélite; (ii) calcular as Fórmulas de Monte Alegre (FMA) e de Monte Alegre Alterada (FMA+); e (iii) correlacionar queimadas, focos de calor, FMA, FMA+, temperatura do ar e precipitação entre 2005 e 2009 em Cuiabá-MT. Para tanto, utilizou-se do banco de dados do número de ocorrências de queimadas urbanas atendidas pelo Corpo de Bombeiro de Cuiabá-MT obtidas do Centro Integrado de Operações de Segurança Pública de Mato Grosso (CIOSP) e do número de focos de calor obtidos da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) entre janeiro de 2005 e dezembro de 2009. Os índices FMA e FMA+ foram calculados por meio da precipitação diária e a velocidade do vento e a umidade relativa do ar medidas às 13 horas no Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I), localizado no Aeroporto Internacional Marechal Cândido Rondon. A precipitação e temperatura e umidade relativa do ar variaram interanualmente e sazonalmente com maiores valores durante a estação chuvosa. O maior número de queimadas e focos de calor ocorreram no final da estação seca (agosto e setembro), devido à baixa precipitação e umidade relativa do ar. Os índices FMA e FMA+ foram sensíveis às variações meteorológicas e correlacionaram fortemente com o número de queimadas e focos de calor sem defasagem temporal, com maiores valores durante a estação seca. Os índices FMA e FMA+ podem ser utilizados para prever ocorrência futura de incêndios em Cuiabá/MT.

Palavras-chave: modelos de previsão de incêndio; fogo; desastres ambientais; imagens de satélite.

Abstract

The establishment of urban fires prevention policies can be defined from studies about its causes. Urban fires are aggravated by specific weather conditions, such as lack of precipitation, high wind speed and low relative humidity, besides it has been related to human activities. The number of fires in the city of Cuiabá - MT is high during dry season, which affect the health of the population. Thus, the objective of this study was (i) assess the seasonality of fires attended by the Fire Department and the burnings obtained from satellite imagery; (ii) calculate the Monte Alegre (FMA) and Altered Monte Alegre (FMA+) Formulas; and (iii) correlate fires, burnings, FMA, FMA+, air temperature and rainfall between 2005 and 2009 in Cuiabá/MT. For this, we used the database of the number of occurrences of urban fires attended by the Fire Department Cuiabá - MT obtained from Centro Integrado de Operações de Segurança Pública de Mato Grosso (CIOSP) and the number of burnings obtained from Divisão de Geração de Imagens (DGI) of the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) between January 2005 and December 2009. The FMA and FMA+ indices were calculated using the daily precipitation and wind speed and relative humidity measured at 13 o'clock on the Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I), located in Aeroporto Internacional Marechal Cândido Rondon. The precipitation, air temperature and relative humidity varied annually and seasonally with higher values during the rainy season. The largest number of fires and burnings occurred in the late dry season (August and September), due to low rainfall and relative humidity. The FMA and FMA+ indices were sensitive to weather variations and correlated strongly with the number of fires and burnings without lag, with higher values during the dry season. The FMA and FMA+ indexes can be used to predict future occurrence of fires in Cuiabá-MT.

Keywords: fire prevision models; fire; environmental disasters; satellite images.

1 Introdução

O fogo é um dos agentes de perturbação mais importantes de ecossistemas terrestres em escala global e amplamente utilizado por seres humanos para transformar e manejar a terra em muitas finalidades, especialmente em ecossistemas tropicais e subtropicais (van der Werf et al., 2010). A queimada, caracterizada como uso do fogo, é uma prática primitiva da agricultura, destinada principalmente à limpeza do terreno para o cultivo de plantações ou formação de pastos (Leonel, 2000), cujo uso é de forma controlada, e que às vezes pode descontrolar-se e causar incêndios em florestas, matas e grandes terrenos.

Os biomas estão sujeitos às queimadas em maior ou menor grau, uma vez que florestas tropicais, florestas semidecíduas, cerrados e pradarias estão sendo queimados por humanos para diferentes fins e usos da terra, embora os potenciais naturais para a queima de cada vegetação sejam diferentes (Pivello, 2011). A vegetação nativa é desmatada, e sua biomassa é queimada durante todo o período seco, o que facilita a preparação da terra para o plantio de soja, milho (Klink et al., 1993), e pastagem (Coutinho, 1990) que ocorrem no início da estação chuvosa. Destaca-se que o uso de queimadas como um recurso agropecuário é encontrado na Amazônia e no Centro-Oeste brasileiro (Fearnside, 2005), mas tem sido uma prática cultural levada do campo para a cidade cujo intuito é de eliminar da cidade o lixo e/ou a biomassa vegetal.

Enquanto as queimadas podem ocorrer no campo por várias causas, tais como: (i) controle de arbustos em pastagens, (ii) controle de pragas, e (iii) negligência no manejo do fogo em áreas queimadas intencionalmente (limpeza das margens de rodovias e ferrovias) (Coutinho, 1990; Fiedler et al., 2006), nas cidades, normalmente o fogo é empregado em: (i) fundo de quintais, (ii) terrenos e áreas abandonadas que servem de depósitos clandestinos de lixo, e (iii) lotes sem construção com vegetação de pequeno e médio porte (Silva & Silva, 2006). Elas ainda podem ocorrer por causa da queda de balões com chamas durante os festivais religiosos em junho (Coutinho, 1990). A maioria das queimadas tem origem humana (Trejo, 2008; Torres e Ribeiro, 2008; Santos et al., 2006; Silva e Silva, 2006), mas os fatores climáticos, como baixa umidade relativa do ar e vento influenciam na sua propagação e determinam os seus efeitos devastadores (Coutinho, 1990; Mistry, 1998; Torres, 2006; Torres et al., 2010; Torres et al., 2011).

O caráter fortemente sazonal da disponibilidade de água leva a acumulação de material inflamável que, potencialmente pode queimar todo ano (Scholes, 1997). Portanto, a propensão de queimadas aumenta consideravelmente em períodos com baixa umidade do ar (Deppe et al., 2004), visto que o ar mais seco acaba por forçar uma maior evapotranspiração dos vegetais (Larcher, 2000), em decorrência do aumento do déficit de pressão

de vapor da atmosfera (Silva et al., 2003). A reposição desta umidade que poderia vir do solo pelas chuvas não é suficiente, com isto se têm vegetais mais secos formando maior quantidade de material combustível (Nobre et al., 2007). A baixa umidade proporciona um déficit na formação de nebulosidade, favorecendo uma maior atuação da radiação solar sobre a superfície, que por sua vez eleva a temperatura do ar, o que também ajuda na propensão de ocorrência do fogo (Torres, 2006). Portanto, o fogo é um fenômeno que liga a terra, a atmosfera e o clima com o comportamento humano (Magi et al., 2012).

Essa situação vem-se agravando em muitos países, em consequência do acúmulo de material combustível e, principalmente, devido ao crescimento populacional (Torres et al., 2010), uma vez que a urbanização como fenômeno mundial, recente e crescente (Gomes & Soares, 2004), tem sido rápida e desorganizada no Brasil, acarretando problemas econômicos graves, péssima qualidade de vida (Cano, 1989), e consequentemente degradação do ambiente (Gomes & Soares, 2004). A urbanização desenfreada, sem mecanismos regulatórios e de controle traz consigo, agravamento de práticas predatórias, gerando erosões do solo, enchentes, desabamentos, desmatamentos, poluição do ar e água (Grostein, 2001), e insuficiência dos serviços básicos de saneamento, coleta e destinação adequada do lixo (Gouveia, 1999). Na última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE em 2000, foi registrado que somente 33% dos municípios brasileiros coletavam a totalidade dos resíduos domiciliares gerados em suas residências (Mucelin & Bellini, 2008). Sem ou com coleta de lixo inadequada, os moradores queimam ou depositam seu lixo em terrenos baldios. Além do lixo, a biomassa seca produzida por árvores utilizadas na arborização de casas e cidades também é incinerada, o que permite a limpeza da área.

Para monitorar as queimadas, imagens de satélite obtidas por sensores remotos a bordo de satélites, podem detectar focos de calor com boa resolução espacial e temporal (Granemann & Carneiro, 2009). O monitoramento por sensoriamento remoto nos dias de hoje amplia a área de estudo e controle do território. O Brasil investe em tecnologias que permitem o monitoramento e controle dos focos de calor em tempo recorde através de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) oriundos de satélites que possuem sensores óticos operando na banda termal-média de 4 μ m (Mato Grosso, 2010). Portanto, o sensoriamento remoto, aliado aos sistemas de informações geográficas, tornou-se necessário e essencial para a identificação de queimadas em larga escala, uma vez que possibilita a obtenção de dados precisos e confiáveis, permitindo a elaboração de mapas de riscos de incêndios, bem como a preservação e controle de incêndio em áreas de vegetação (Granemann & Carneiro, 2009).

A atual tendência de combate às queimadas está

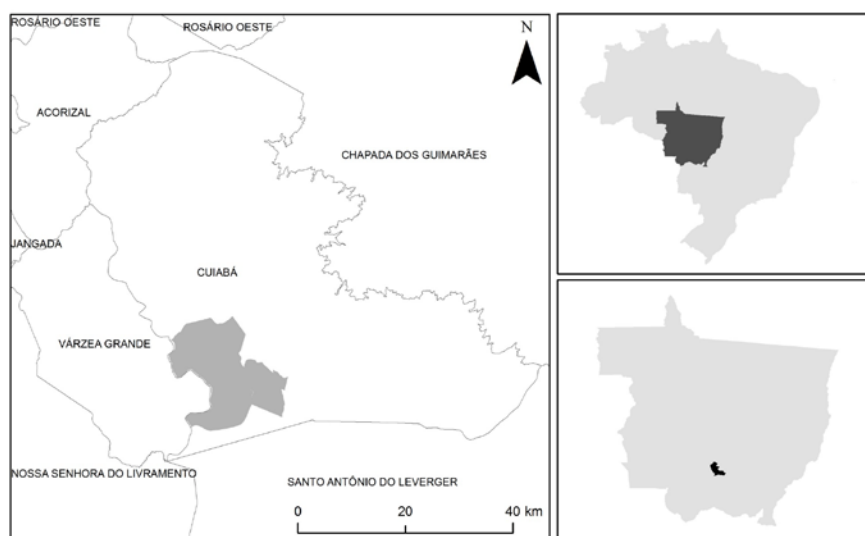


Figura 1. Localização de Cuiabá, Mato Grosso.

relacionada à prevenção e pré-supressão do fogo, pois é mais vantajoso evitar um incêndio ou atacá-lo imediatamente após seu início do que combatê-lo, quando este tem maior intensidade e propagação mais rápida (Soares, 1987). Portanto, para se estabelecer uma política adequada de prevenção de queimadas, é necessário conhecer as estatísticas referentes a elas, isto é, saber onde, quando, e por que elas ocorrem (Soares & Santos, 2002). A falta dessas informações pode levar a um dos dois extremos: gasto muito alto, acima do potencial de danos ou gasto muito baixo (Torres et al., 2010).

Nessa perspectiva de combate às queimadas, índices de perigo de incêndio foram desenvolvidos e têm sido aperfeiçoados, sobretudo com uso de dados climáticos em países desenvolvidos como o Canadá (Soares, 1972). O perigo de fogo é o potencial de danos causado pelo fogo para qualquer área (Contryman, 1966), podendo ser determinado pelo número avaliável de fontes de fogo tanto humanas quanto naturais como raios e combustão espontânea (Soares, 1972). Esses índices são números que refletem a possibilidade de ocorrer um incêndio e do mesmo se propagar em função das condições meteorológicas do dia (Contryman, 1966; Soares, 1972; Soares, 1987; Soares, 1998). Eles foram introduzidos pela primeira vez no Brasil em 1963, depois do incêndio que atingiu cerca de 2 milhões de hectares no Paraná (Soares, 1998).

A Fórmula de Monte Alegre (FMA) desenvolvida por Soares (1972) tem sido usada por empresas e instituições florestais brasileiras para estimar o grau de perigo de incêndio e ajudar no planejamento das atividades de prevenção e combate (Soares, 1998). Ela é estruturalmente muito simples, pois requer apenas umidade relativa do ar e precipitação para ser calculada (Soares, 1972; Soares, 1987; Soares, 1998). Recentemente, a FMA foi aperfeiçoada (FMA⁺) com a inclusão da velocidade do vento, o que a tornou mais eficiente, tanto na prevenção quanto no combate aos incêndios (Nunes et al., 2006).

O monitoramento do índice de risco de incêndio

aliado ao de variáveis meteorológicas é importante para caracterizar áreas com potencial de ocorrência de incêndios (Deppe et al., 2004), como o município de Cuiabá que apresenta sérios problemas de queimadas na estação seca (Sousa et al., 2008). Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi (i) avaliar a sazonalidade das queimadas atendidas pelo Corpo de Bombeiros e dos focos de calor obtidos por imagens de satélite; (ii) calcular as Fórmulas de Monte Alegre (FMA) e de Monte Alegre Alterada (FMA⁺); e (iii) correlacionar queimadas, focos de calor, FMA, FMA⁺, temperatura do ar e precipitação entre 2005 e 2009 em Cuiabá/MT.

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O Município de Cuiabá (15°35' S e 56°06' W) tem uma extensão territorial de 2.730 km² e está situado na porção centro-sul do Estado de Mato Grosso (Cuiabá, 2007). A área urbana (Figura 1) tem aproximadamente 530 ha e está localizada no sul do município, à margem esquerda do rio Cuiabá, afluente do rio Paraguai (Ross & Santos, 1982). Os seguintes municípios fazem limites com Cuiabá: Acorizal, Rosário-Oeste, Chapada dos Guimarães, Santo Antônio de Leverger e Várzea Grande (Cuiabá, 2007).

O clima de Cuiabá é tropical semi-úmido (Aw conforme classificação climática de Köppen) com temperatura média entre 24° e 26°C, com duas estações bem definidas: uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão), com índice pluviométrico anual de 1250 a 1500 mm (Maitelli, 1994; Biudes et al., 2012). O relevo varia de plano a suavemente ondulado com declive inferior a 5% (Castro Jr., 1990). A cobertura vegetal é constituída por remanescentes de cerrado, cerradão, matas ciliares e por vegetação introduzida, representada por espécies

frutíferas, ornamentais e gramíneas, cultivadas nos quintais e praças da cidade (Guarim Neto, 1991).

2.2. Coleta de dados

Os dados de precipitação, velocidade do vento e temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos do Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I), localizado no Aeroporto Internacional Marechal Cândido Rondon.

Os dados de ocorrências de queimadas urbanas atendidas pelo Corpo de Bombeiro de janeiro de 2005 a dezembro de 2009 em Cuiabá/MT foram obtidos do banco de dados do Centro Integrado de Operações de Segurança Pública de Mato Grosso (CIOSP). Esses dados de queimadas não incluem incêndios de prédios residenciais e comerciais.

Os dados de focos de calor foram obtidos da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que recebe e processa as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18 e NOAA-19, as imagens MODIS dos satélites polares NASA TERRA e AQUA, as imagens dos satélites geoestacionários GOES-13 e MSG-2 e as imagens VIIRS do satélite de órbita polar NPP. 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.

2.3 Cálculo das Fórmulas de Monte Alegre (FMA) e Monte Alegre Alterado (IMA⁺)

A Fórmula de Monte Alegre (FMA) é um índice acumulativo que requer para seu cálculo valores diários de umidade relativa do ar e quantidade de precipitação, além do número de dias sem chuva (Soares, 1972, Soares, 1998). A FMA (Equação 1) foi desenvolvida através de dados meteorológicos e de ocorrência de incêndios da Fazenda Monte Alegre em Telêmaco Borba/PR.

$$FMA = \sum_{n=1}^n 100/RH \quad (1)$$

em que, FMA é a Fórmula de Monte Alegre, RH é a umidade relativa do ar medida às 13h e n é o número de dias sem ocorrência de chuva.

Pela FMA, o risco de incêndio do dia é indicado por meio de uma escala de cinco níveis, de acordo com o valor de FMA que varia entre: Baixo (0-4); Moderado (5-9); Alto (10-19); Muito Alto (20-39); e Extremo (> 40).

A Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) (Nunes et al., 2006) inclui em sua estrutura a velocidade do vento que permite avaliar também o potencial de propagação do incêndio, fator de grande importância para a prevenção e combate aos incêndios que possam ocorrer (Schroeder & Buck, 1970; Heikkilä et al., 1993).

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n 100/RH_i * e^{0,04*v} \quad (2)$$

em que, FMA⁺ é a Fórmula de Monte Alegre Alterada, RH é a umidade relativa do ar medida às 13h, n é o número de dias sem ocorrência de chuva maior ou igual a 13 mm, v é a velocidade do vento em m/s, medida às 13h, e é a base dos logaritmos naturais (2,718282).

Pela FMA⁺, o risco de incêndio do dia é indicado por meio de uma escala de cinco níveis, de acordo com o valor de FMA⁺ que varia entre: Nulo (0-3); Pequeno (3,1-8); Médio (8,1-14); alto (14,1-24); e Muito Alto (> 24).

2.4 Análise estatística

A análise de correlação cruzada foi utilizada para avaliar se há defasagem nas correlações entre queimadas, focos de calor, precipitação, temperatura do ar, FMA e FMA⁺. Ela é uma medida de força e direção da correlação entre duas variáveis como uma função de um intervalo de tempo para aplicar uma delas (Wei, 2006).

3 Resultados

A média anual de precipitação acumulada foi de 1186 mm e de temperatura foi de 32,5°C. A menor precipitação acumulada anual ocorreu em 2005 (1005,8 mm) e a maior em 2007 (1281,9 mm), enquanto a menor temperatura média anual foi em 2005 e 2009 (32,2°C) e a maior em 2007 (33,3°C) em Cuiabá/MT (Figura 2).

O total de queimadas entre 2005 e 2009 foi de 3991 ocorrências registradas, enquanto que o total de focos de calor foi de 1608 registros por imagens de satélite no período estudado em Cuiabá. O menor número de queimadas foi em 2005 (375 ocorrências) e o maior número em 2008 (1281 ocorrências). O menor número de focos de calor foi em 2009 (70 focos) e o maior foi em 2007 (696 focos).

Em geral, os maiores valores de queimadas e focos de calor ocorreram no final da estação seca (agosto-setembro) (Figura 3), enquanto os maiores valores de temperatura ocorreram na transição entre a estação seca e chuvosa (setembro-outubro), com maior variabilidade na estação seca (Figura 3).

A precipitação acumulada média durante a estação seca foi de 196,6 mm e de temperatura média do ar foi 32,9°C, e na estação chuvosa a precipitação acumulada média foi de 989,4 mm e a temperatura média do ar foi 32,1°C (Figura 4). A distribuição de precipitação mensal de 2005 a 2009 apresentou de maneira geral o padrão da Normal Climatológica (NC) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET 1961-1990) de precipitação para Cuiabá/MT, com estação chuvosa de outubro até março e seca de abril até setembro (Figura 4). Os menores valores de temperatura média mensal ocorreram de maio a julho

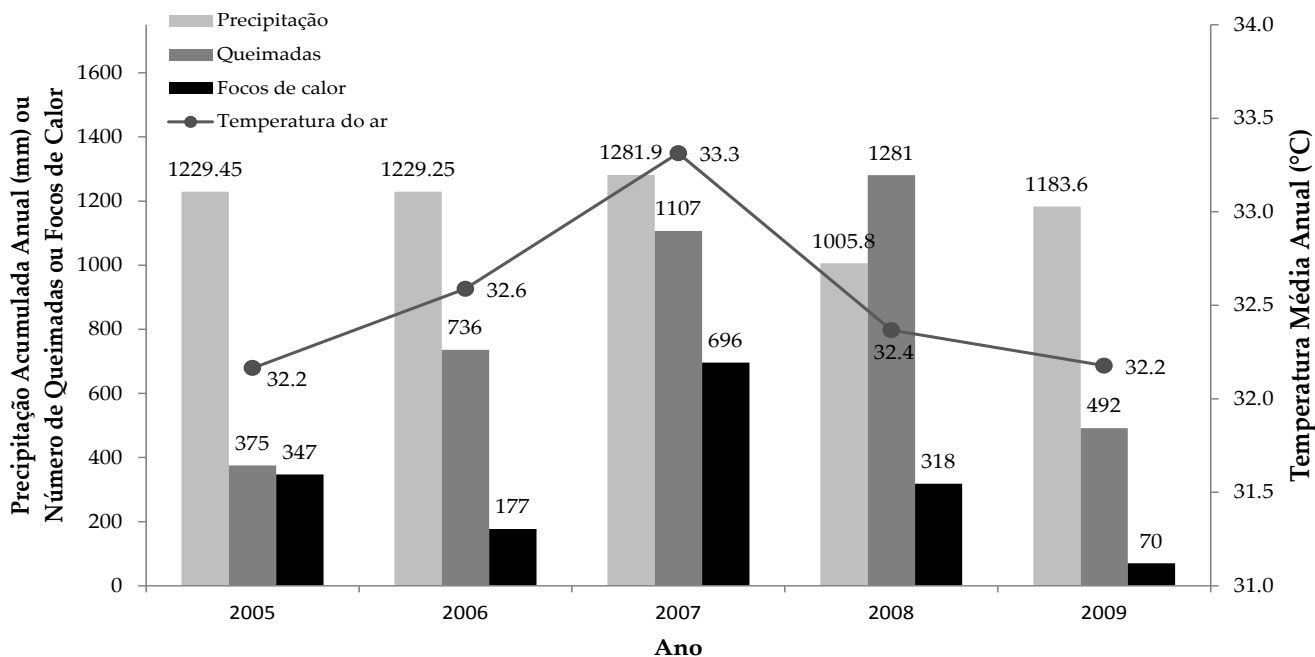


Figura 2 Variabilidade interanual de precipitação acumulada (mm), temperatura média do ar(°C), focos de calor e queimadas de 2005 a 2009 em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

e os maiores valores de agosto a outubro (Figura 4).

O período de seca (abril-setembro) correspondeu a 91,25% e 90,23% da média de ocorrências de queimadas (728,4) e registros de focos de calor (290,2), respectivamente (Figura 4); enquanto o período de chuva (outubro-março) correspondeu a 8,74% e 9,76% da média de ocorrências de queimadas (69,8) e registros de focos de calor (31,4), respectivamente.

Os valores de FMA variaram de nulo a baixo nos meses de dezembro a março, enquanto que os meses de abril a novembro apresentaram risco de moderado

a extremo (Tabela 1). No entanto, o perigo de incêndio com base no FMA+ variou de nulo a pequeno nos meses de outubro a março, enquanto que os meses de abril a novembro apresentaram risco de médio a muito alto (Tabela 2).

O pico dos focos de calor está defasado em 1 mês em relação ao pico das queimadas (R2 = 0,60). O pico dos focos de calor ocorreu em fase com a temperatura média mensal (R2 = 0,41%), enquanto o pico das queimadas ocorreu 1 mês antes do pico da temperatura média (R2 = 45%). O pico dos focos de calor ocorreu no mês

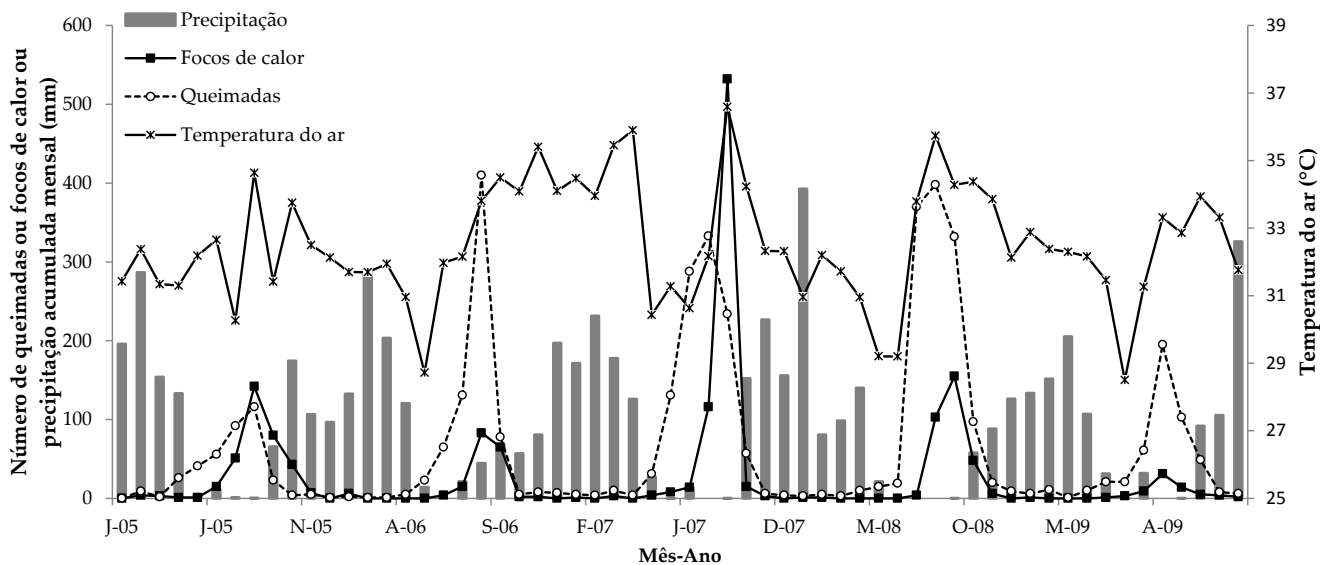


Figura 3 Variabilidade mensal de precipitação acumulada (mm), temperatura média do ar(°C), focos de calor e queimadas de 2005 a 2009 em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

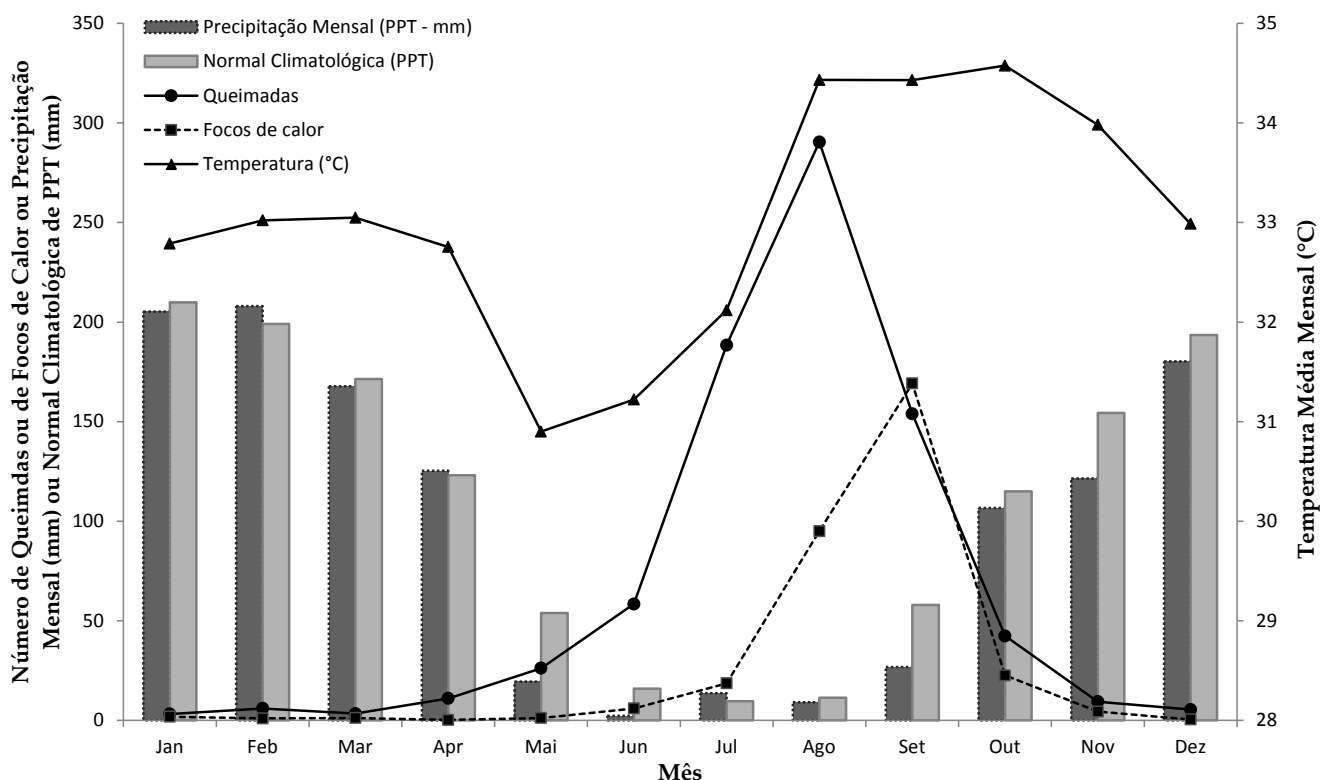


Figura 4 . Média mensal de precipitação acumulada (mm), temperatura média do ar(0C), focos de calor e queimadas de 2005 a 2009 em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

anterior ao início do período chuvoso ($R^2 = -0,32$), assim como o pico das queimadas ($R^2 = -0,51$).

O pico dos focos de calor esteve em fase com o valor máximo da FMA ($R^2 = 0,73$), assim como o pico das queimadas esteve em fase com a FMA ($R^2 = 0,79$). O pico dos focos de calor esteve em fase com o valor máximo

da FMA+ ($R^2 = 0,74$), assim como o pico das queimadas esteve em fase com a FMA+ ($R^2 = 0,79$). Os valores de correlação cruzada entre focos de calor e queimadas com FMA e FMA+ foram altos porque essas fórmulas são altamente correlacionadas entre si ($R^2 = 0,99$) sem defasagem.

Tabela 1. Fórmula de Monte Alegre (FMA) de 2005 a 2009 em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Mês	2005		2006		2007		2008		2009	
	IMA	Risco	IMA	Risco	IMA	Risco	IMA	Risco	IMA	Risco
1	1.08	Baixo	1.04	Baixo	1.11397	Baixo	0.45	Nulo	3.90	Moderado
2	2.66	Baixo	0.66	Nulo	0.37039	Nulo	3.06	Moderado	1.60	Baixo
3	1.24	Baixo	0.41	Nulo	1.772	Baixo	1.91	Baixo	1.24	Baixo
4	9.09	Elevado	3.28	Moderado	4.15082	Moderado	2.17	Baixo	10.59	Elevado
5	12.75	Elevado	30.38	Extremo	9.61896	Elevado	7.84	Moderado	26.56	Extremo
6	35.90	Extremo	46.04	Extremo	43.12	Extremo	18.55	Elevado	14.63	Elevado
7	19.79	Elevado	24.60	Extremo	37.02	Extremo	84.12	Extremo	25.60	Extremo
8	130.18	Extremo	65.84	Extremo	94.58	Extremo	83.17	Extremo	38.35	Extremo
9	7.00	Moderado	12.46	Elevado	140.28	Extremo	144.31	Extremo	9.79	Elevado
10	2.56	Baixo	8.46	Elevado	13.77	Elevado	6.18	Moderado	4.07	Moderado
11	4.31	Moderado	4.65	Moderado	2.18	Baixo	3.81	Moderado	2.31	Baixo
12	0.62	Nulo	1.08	Baixo	1.17	Baixo	1.74	Baixo	0.62	Nulo

Tabela 2. Fórmula de Monte Alegre (FMA⁺) de 2005 a 2009 em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Mês	2005		2006		2007		2008		2009	
	IMA	Risco	IMA	Risco	IMA	Risco	IMA	Risco	IMA	Risco
1	1,4	Nulo	1,4	Nulo	1,5	Nulo	0,6	Nulo	5,2	Pequeno
2	3,2	Pequeno	0,9	Nulo	0,5	Nulo	3,9	Pequeno	2,0	Nulo
3	1,5	Nulo	0,5	Nulo	2,3	Nulo	2,3	Nulo	1,6	Nulo
4	11,0	Médio	3,9	Pequeno	5,3	Pequeno	2,8	Nulo	12,5	Médio
5	15,6	Alto	35,9	Muito Alto	11,6	Médio	9,6	Médio	31,2	Muito Alto
6	43,2	Muito Alto	54,8	Muito Alto	52,6	Muito Alto	21,7	Alto	17,6	Alto
7	25,2	Muito Alto	31,3	Muito Alto	45,4	Muito Alto	98,9	Muito Alto	31,1	Muito Alto
8	159,6	Muito Alto	81,1	Muito Alto	118,3	Muito Alto	101,6	Muito Alto	47,0	Muito Alto
9	8,8	Médio	15,2	Alto	173,4	Muito Alto	177,9	Muito Alto	12,5	Médio
10	3,4	Pequeno	10,6	Médio	16,8	Alto	8,3	Médio	5,2	Pequeno
11	5,4	Pequeno	6,2	Pequeno	2,9	Nulo	5,1	Pequeno	3,2	Pequeno
12	0,8	Nulo	1,4	Nulo	1,6	Nulo	2,1	Nulo	0,8	Nulo

4 Discussão

A precipitação acumulada anual foi inferior à média anual que varia de 1250 a 1500 mm (Maitelli, 1994; Biudes et al., 2012). No entanto, diversos estudos sugerem que há variabilidade interanual de precipitação em diversos locais em Mato Grosso (Marcuzzo et al., 2012; Pizzato et al., 2012; Alves et al., 2011; Dallacort et al., 2011; Silva Neves et al., 2011; Diniz et al., 2008; Rosa et al., 2007). A média de precipitação acumulada anual neste estudo foi inferior a 1347,8 mm encontrada em Santo Antônio do Leverger (Diniz et al., 2008), 1578,9 mm em Barra do Garças (Alves et al., 2011), 1300 mm em Cáceres (Pizzato et al., 2012; Silva Neves et al., 2011), 1830 mm em Tangará da Serra (Dallacort et al., 2011) e 2750 mm em outros municípios mais ao norte de Mato Grosso (Sousa et al., 2006).

A variabilidade mensal de precipitação foi consistente com a climatologia da região com estação chuvosa de outubro a março e a estação seca de abril a setembro (Maitelli, 1994; Sousa et al., 2006; Diniz et al., 2008; Silva Neves et al., 2011; Dallacort et al., 2011; Biudes et al., 2012). Estudos indicam que há variabilidade mensal da precipitação em diversos locais em Mato Grosso com meses críticos para o regime de água de junho a setembro (Sousa et al., 2006; Diniz et al., 2008; Silva Neves et al., 2011; Dallacort et al., 2011; Biudes et al., 2012).

A temperatura do ar seguiu o padrão sazonal da região (Sanches et al., 2011; Biudes et al., 2012), em que os menores valores observados e a maior variabilidade da temperatura durante a estação seca estão relacionados com a ocorrência periódica de frentes frias na região (Sanches et al., 2011; Biudes et al., 2012).

O período de seca (abril-setembro) apresentou o maior número de queimadas e de focos de calor (Pereira, 2003; Torres, 2006; Ribeiro et al., 2009; Torres et al., 2010; Torres et al., 2011; Souza et al., 2012), adequadamente

previsto pelos índices de risco de incêndio FMA e FMA⁺ no período estudado em Cuiabá, o que foi corroborado por outros estudos (Deppe et al., 2004; Santos et al., 2006; Nunes et al., 2006; Nunes et al., 2007; Torres et al., 2008; Lemos et al., 2012).

Philipp (2007) ao avaliar a FMA nos anos de 2003 e 2004 nos municípios de Sorriso, São José do Rio Claro, Tangará da Serra e Matupá em Mato Grosso observou a maior ocorrência de focos de calor de maio a setembro (estação seca), assim como a FMA indicou a estação seca com a maior possibilidade de risco de incêndio. Em estudo recente, Souza et al. (2012) encontraram valores críticos (risco muito alto) nos meses de julho e agosto nas regiões Norte e Noroeste do Estado de Mato Grosso, bem como eles indicaram que a FMA⁺ apresentou 98,69% de ajustamento e 86,44% desempenho geral, tornando-a a metodologia mais recomendada para avaliação dos riscos de incêndios nas regiões estudadas. Portanto, os resultados obtidos por Philipp (2007) e (Souza et al., 2012) mostraram um bom desempenho da FMA e FMA⁺ para as condições de Mato Grosso.

O aumento de queimadas ou focos de calor na estação seca foi devido a baixa umidade relativa do ar causada pela ausência de chuvas ou baixo índice pluviométrico o que provoca aumento no déficit de pressão de vapor da atmosfera e no poder evaporativo dos vegetais, tornando-os mais secos (Torres, 2006). Essa biomassa seca é de fácil combustão por apresentar alto índice de inflamabilidade, sobretudo quando associada com elevada temperatura e baixa umidade relativa do ar (Nobre et al., 2007). As condições climáticas e incêndios mantêm uma estreita relação, desde a probabilidade de ocorrências de incêndios decorrente das condições atmosféricas em um dado período de tempo, até a manutenção e propagação do fogo (Torres, 2006).

Índices de risco de incêndio possibilitam aos setores de prevenção e combate aos incêndios uma avaliação

mais técnica do problema ao refletir uma possibilidade futura de ocorrência de incêndios (Deppe et al., 2004), ajudando-os a tomar decisões mais adequadas e eficientes (Torres et al., 2008), principalmente nas cidades em função dos prejuízos que o fogo pode provocar. O monitoramento do risco de incêndio aliado ao monitoramento de variáveis meteorológicas possui importância na caracterização de regiões que apresentam potencialidades de ocorrência de incêndios, possibilitando assim subsídios às seguintes atividades: (i) prevenção e combate aos incêndios, (ii) dimensionamento de infraestrutura e de equipes, (iii) vigilância e monitoramento de incêndios (Deppe et al., 2004).

Recentes publicações tem mostrado a importância das queimadas em escalas local, regional e global, ao provocar destruição de vegetação, problemas de erosão, empobrecimento dos solos, poluição atmosférica e alterações químicas da atmosfera, redução na biodiversidade (Nobre et al., 2007; Laurance, 2004), bem como problemas de saúde pública (Arbex et al., 2004), diminuição da visibilidade atmosférica, aumento de acidentes em estradas, limitação do tráfego aéreo e destruição de patrimônio público e privado (Torres et al., 2008).

Um estudo em Cuiabá no ano de 2007 apontou maior ocorrência de focos de calor na estação seca (maio a setembro) e que: (i) a qualidade do ar era inadequada com alta concentração de material particulado em suspensão na atmosfera, ultrapassando os padrões primários e secundários de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução nº 03/1990 do CONAMA, (ii) a velocidade dos ventos apresentou valores baixos, impedindo o transporte e diluição dos poluentes atmosféricos, permitindo desta maneira maior concentração dos níveis de poluentes na atmosfera, (iii) a precipitação apresentou característica de chuva ácida cujo pH registrado foi de 4,2, (iv) as temperaturas elevadas acima da média anual, (v) a umidade relativa do ar era baixa, e (vi) as notificações de doenças foram de Pneumonia, Gripe, Síndrome do Desconforto Adulto, e Amigdalite, afetando crianças, adultos e idosos (Sousa et al., 2008). Essas doenças são causadas por microrganismos infecciosos presentes no ar, como também pela presença de produtos químicos e gases poluentes na atmosfera (Sousa et al., 2008), oriundos da queima de combustíveis fósseis e de queimadas.

É importante destacar que, a relação entre foco de calor e queimada não é direta nas imagens de satélite, pois um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 1km x 1km até 5 km x 4 km (Brasil, 2013). Portanto, em um pixel podem ocorrer várias queimadas pequenas, e vários pixels podem detectar uma única queimada grande (Mato Grosso, 2010). Sendo assim, a detecção de queimadas pode ser prejudicada quando: (i) há frentes de fogo com menos de 30 m; (ii) o fogo ocorre apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores; (iii) há nuvens cobrindo a região (nuvem de fumaça não atrapalham); (iv) a queimada é de pequena

duração, ocorrendo entre as imagens disponíveis; (v) ocorre fogo em uma encosta de montanha, enquanto que o satélite só observou do outro lado (Brasil, 2013).

5 Conclusões

Os índices FMA e FMA+ demonstraram sensibilidade em prever ocorrência futura de incêndios ao estar positivamente correlacionado com as ocorrências de queimadas e registros de focos de calor em Cuiabá/MT.

No entanto, é necessário desenvolver estudos sobre: (i) a distribuição espacial do número de queimadas por bairros em Cuiabá/MT; (ii) tipo de material depositado nos terrenos baldios nos bairros que mais queimam; e (iii) o monitoramento espacial e temporal da composição química do ar no período de seca.

Referências

- ALVES, E.D.L.; PRADO, M.F. & SPECIAN, V. (2011). Análise da Variabilidade Climática da Precipitação pluvial em Barra do Garças, Mato Grosso. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research*, v. 2, n. 2, p. 512-523.
- ARBEX, M.A.; CANÇADO, J.E.D.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F. & SALDIVA, P.H.N. (2004). Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 30, n. 2, p. 158-175.
- AYOADE, J.O. (1998). *Introdução à Climatologia para os Trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- BIUDES, M.S.; NOGUEIRA, J.S.; DALMAGRO, H.J.; MACHADO, N.G.; DANELICHEN, V.H.M. & SOUZA, M.C. (2012). Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. *Ciências Agro-Ambientais*, v. 10, n. 1, p. 61-68.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Monitoramento de Queimadas e Incêndios: Perguntas Frequentes. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/fag.php>>. Acesso em: 15 março 2013.
- CANO, W. (1989). Urbanização: sua crise e revisão de seu planejamento. *Revista de Economia Política*, v. 9, n. 1, p. 62-82.
- CASTRO JR., P.R. (1990). *Carta Geotécnica de Cuiabá*. Cuiabá: Fundação Universidade de Mato Grosso/ Prefeitura de Cuiabá. (mimeo.).
- COUNTRYMAN, C. (1966). Rating fire danger by the

- multiple basic index systems. *Journal of Forestry*, v.64, n.8, p.531-536.
- COUTINHO, L.M. Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado. In Goldammer, J.G., editor, *Fire in the tropical biota*, Berlin: Springer-Verlag, 82±105, 1990.
- CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. *Organização Geopolítica de Cuiabá*. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano (IPDU). Cuiabá: 2007. 130 p.
- DALLACORT, R.; MARTINS, J.A.; INOUE, M.H.; FREITAS, P.S.L. & COLETTI, A.J. (2011). Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 193-200.
- DEPPE, F.; PAULA, E.V.; MENEGHETTE, C.R.; VOSGERAU, J. (2004). Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. *Floresta*, v. 34, n. 2, p. 119-126.
- DINIZ, G.L.; FONSECA, M. & CAMPELO JUNIOR, J.H. (2008). Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. *Biomatemática*, v.18, p.37-48.
- FEARNSIDE, P.M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology*, v. 19, p. 680-688.
- FIEDLER, N.C.; MERLO, D.A. & MEDEIROS, M.B. (2006). Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. *Ciência Florestal*, v. 16, p. 153-161.
- GOMES, M.A.S. & SOARES, B.R. (2004). Reflexões sobre a qualidade urbana. *Estudos Geográficos*, v. 2, n. 2, p. 21-30.
- GOUVEIA, N. Saúde e meio ambiente nas cidades: desafios da saúde ambiental. *Saúde e Sociedade*, v. 8, n. 1, p. 49-61, 1999.
- GRANEMANN, D. C. & CARNEIRO, G.L. (2009) Monitoramento de fogos de incêndios e áreas de queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 1, n. 1, 55-62.
- GROSTEIN, M. D. (2001). Metrôpole e expansão urbana: a persistência de processos insustentáveis. *São Paulo em Perspectiva*, v. 15, n. 1, p. 13-19.
- GUARIM NETO, G. (1991). *Diagnóstico Florístico e Faunístico da Cidade de Cuiabá*. Cuiabá: Relatório Final do Convênio Fundação Universidade de Mato Grosso/Prefeitura de Cuiabá.
- HEIKKILÄ, T.V.; GRONOVIST, R. & JURVÉLIUS, M. *Handbook on Forest Fire Control*. Helsinki: Forestry Training Programme, 1993. 239 p. (Publication 21).
- KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. & SOLBRIG, O.T. Ecological impact of agricultural development in the Brazilian cerrado. In Young, M.D. and Solbrig, O.T., editors, *the world's savannas. Economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use*. Man and the Biosphere Vol. 12, Paris: UNESCO, 259±82, 1993.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. RIMA, São Carlos. 2000.
- LAURANCE, W.F. (2004). Forest-climate interactions in fragmented tropical landscapes. *Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Science*, v. 359, p. 345-352.
- LEMONS, C.F.; JUSTINO, F. & ROSSONI, H.A. (2012). Comparação entre métodos de risco de queimadas pelo índice de Haines, Angström, Monte Alegre e o Hidrotermométrico na região de Viçosa-MG no período de 01 a 30 de setembro de 2003. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 2, n. 2., p. 196-208.
- LEONEL, M. (2000). O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estudos Avançados*, v. 14, n. 40, p. 231-250.
- MACIEL, C.R.; NOGUEIRA, M.C.J.A.; NOGUEIRA, J.S. (2011). Cobertura do solo e sua influência na temperatura de microclimas urbanos na cidade de Cuiabá-MT. *Caminhos de Geografia*, v. 12, n. 38, p. 40-57.
- MAGI, B.I.; RABIN, S.; SHEVLIAKOVA, E. & PACALA, S. (2012). Separating agricultural and non-agricultural fire seasonality at regional scales. *Biogeosciences*, v. 9, 3003-3012.
- MAITELLI, G.T. (1994). *Uma Abordagem Tridimensional de Clima Urbano em Área Tropical Continental. O Exemplo de Cuiabá – MT*. Tese de Doutorado, São Paulo: Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas/ Universidade de São Paulo.
- MARCUZZO, F.F.N.; OLIVEIRA, N.L.; PINTO FILHO, R.F. & FARIA, T.G. (2012). Chuvas na região centro-oeste e no estado do Tocantins: análise histórica e tendência futura. *Boletim de*

- Geografia*, v.30, n.1, p.19-30.
- MATO GROSSO, Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso – SEMA, Superintendência de Monitoramento de Indicadores Ambientais. *Relatório de Monitoramento de focos de calor 2008-2009*. Org. OLIVEIRA, Gabriel Vitorelli; CAMARGO, Lígia. Cuiabá: SEMA/MT; SMIA, 2010.
- MISTRY, J. (1998). Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography*, v. 22, n. 4, p. 425-448.
- MUCELIN, C. A. & BELLINI, M. (2008). Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. *Sociedade & Natureza*, v. 20, n. 1, p. 111-124.
- NOBRE, A.C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. (2007). Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 22-27.
- NUNES, J.R.S.; SOARES, R.V. & BATISTA, A.C. (2006). FMA⁺ - um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná, Brasil. *Floresta*, v. 36, n. 1, p. 75-91.
- NUNES, J.R.S.; SOARES, R.V. & BATISTA, A.C. (2007). Ajuste da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) para o estado do Paraná. *Floresta*, v. 37, n. 1, p. 1-14.
- PHILIPP, M.P. (2007). *Análise do perigo de incêndio em municípios do estado de Mato Grosso por meio da Fórmula de Monte Alegre*. Dissertação de Mestrado, Cuiabá: Instituto de Física/Universidade Federal de Mato Grosso.
- PIVELLO, V.R. (2011). The use of fire in the cerrado and amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire Ecology*, v. 7, n. 1, p. 24-39.
- PIZZATO, J.A.; DALLACORT, R.; TIEPPO, R.C.; MODOLO, A.J.; CREMON, C. & MOREIRA, P.S.P. (2012). Distribuição e probabilidade de ocorrência de precipitação em Cáceres (MT). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, n.2, p.137-142.
- ROSA, D.B.; SOUSA, R.R.; NASCIMENTO, L.A.; TOLEDO, L.G.; TOPANOTTI, D.Q. & NASCIMENTO, J.A.A. (2007). distribuição espacial das chuvas na porção centro-oeste do Estado de Mato Grosso - Brasil. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, v.1, n.5, p.127-152.
- ROSS, J.L.S. & SANTOS, L.M. (1982). Geomorfologia. In: *Projeto RADAMBRASIL*, Folha Cuiabá CD 21. vol. 26. Org.: Ministério das Minas e Energia. Brasília: Ministério das Minas e Energia.
- SANCHES, L.; VOURLITIS, G.L.; ALVES, M.C.; PINTO-JÚNIOR, O.B. & NOGUEIRA, J.S. (2011). Seasonal patterns of evapotranspiration for a *Vochysia divergens* forest in the Brazilian Pantanal. *Wetlands*, v.31, p.1215-1225.
- SANTOS, J.F.; SOARES, R.V. & BATISTA, A.C. (2008). Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. *Floresta*, v. 36, n. 1, 93-100.
- SANTOS, J.F.; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. (2006). Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas de 1998 a 2002. *Floresta*, v. 36, n. 1, p. 93-100.
- SCHOLES, R.J. (1997). Savanna. In '*Vegetation of southern Africa*'. (Eds RM Cowling, DM Richardson & SM Pierce) pp. 258-277. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- SCHROEDER, M.J. & BUCK, C.C. *Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operation*. Washington, D.C.: USDA Forest Service, 1970. 229 p. (Agriculture Handbook 360).
- SILVA NEVES, S.M.A.; NUNES, M.C.M. & NEVES, R.J. (2011). Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT, Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 31, n. 2, p. 55-68.
- SILVA, A.S. & SILVA, M.C. (2006). Prática de queimadas e as implicações sociais e ambientais na cidade de Araguaina-TO. *Caminhos de Geografia*, v. 7, n. 18, p. 8-16.
- SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D.; SANTOS, V.F. (2003). Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. *Acta Botanica Brasilica*, v. 17, n. 2, p. 231-246.
- SOARES, R.V. & SANTOS J.F. (2002) Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. *Floresta*, v. 32, n. 2, p. 219-232.
- SOARES, R.V. (1972). Índice de perigo de incêndio. *Floresta*, v.3, n.3, p.19-40.
- SOARES, R.V. (1987). Comparação entre quatro índices na determinação do grau de perigo de

- incêndios no Município de Rio Branco do Sul – PR. *Floresta*, v.17, n.12, p.31–35.
- SOARES, R.V. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre”: índice brasileiro de perigo de incêndios florestais. *Cerne*, v.4, n.1, p.87–99, 1998.
- SOUSA, R.R.; ROSA, D.B.; NASCIMENTO, L.A. & LIMA, P.R.M. (2006). Estudo da variabilidade pluviométrica no extremo norte do estado de Mato Grosso entre os anos de 1990 a 1996. *Geoambiente*, v. 7, p. 89-107.
- SOUZA, A.P.; CASAVECCHIA, B.H. & STANGERLIN, D.M. (2012). Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia Plena*, v. 8, n. 5, p. 1-14.
- TORRES, F.T.P. & RIBEIRO, G.A. (2008). Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. *Seropédica: Floresta e Ambiente*, v.15 n.2, p.30-39.
- TORRES, F.T.P. (2006). Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). *Caminhos de Geografia*, v. 7, n. 18, p. 162-171.
- TORRES, F.T.P.; RIBEIRO, G.A.; MARTINS, S.V. & LIMA, G.S. (2011). Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. *Revista Árvore*, v. 35, n. 1, p. 143-150.
- TORRES, F.T.P.; RIBEIRO, G.A.; MARTINS, S.V.; LIMA, G.S.; ROCHA, G.C. (2008) *Incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora – Minas Gerais*. Ubá: Editora Geographica Consultoria, Estudos e Projetos Ambientais.
- TORRES, F.T.P.; RIBEIRO, G.A.; MARTINS, S.V.; LIMA, G.S. (2010) Perfil dos Incêndios em Vegetação nos Municípios de Juiz de Fora e Ubá, MG, de 2001 a 2007. *Floresta e Ambiente*, v. 17, n. 2, p. 83-89.
- TREJO, D.A.R. (2008). Fire Regimes, Fire Ecology, and Fire Management in Mexico. *Journal of the Human Environment*, v. 37, n. 7, p. 548-556.
- VAN DER WERF, G.R.; RANDERSON, J.T.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G.J.; MU, M.; KASIBHATLA, P.S.; MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; JIN, Y. & VAN LEEUWEN, T.T. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 10, p. 11707-11735.
- WEI, W.W.S. (2006). Time series analysis: univariate and multivariate methods. (2nd Edition). Pearson Addison Wesley. 614 pp.