

Relação Entre o Standardized Precipitation Index (SPI) e os Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROI) no Parque Nacional do Itatiaia

José Francisco Oliveira Júnior¹, Gustavo de Sousa², Marlon Nunes³,
Manoel Fernandes³, Gustavo Tomzhinski⁴

¹Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

²Departamento de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

³Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

⁴Parque Nacional do Itatiaia, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, Itatiaia/RJ, Brasil

RESUMO

Dados de focos de calor via satélites ambientais, de Sistemas Frontais (SF) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), juntamente com o Standardized Precipitation Index (SPI) e os Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROI) no Parque Nacional do Itatiaia (PNI) foram avaliados. O SPI foi calculado com dados pluviométricos de três estações no PNI. Os dados dos SF e ZCAS foram obtidos via Climanálise. A regressão múltipla foi aplicada a ROI, SPI, SF e ZCAS de forma independente. A maior categoria do ROI ocorreu na classe C (81%), sendo os maiores percentuais no inverno (57,2%) e primavera (35,1%). Os meses críticos de focos de calor foram julho (17%), setembro (23,2%) e agosto (31,9%). Independente da estação, o SF ($R^2 = 0,75$) se sobressaiu em relação a ZCAS ($R^2 = 0,43$). O SF condiciona 80% das variações entre ROI e índice SPI anual, enquanto a ZCAS em apenas 40%.

Palavras-chaves: sistemas produtores de chuva, incêndios florestais, índice de seca.

Relationship Between Standardized Precipitation Index (SPI) and the Fire Occurrence Reports (FOR) in Itatiaia National Park

ABSTRACT

We evaluated fire foci data via environmental satellites, from Frontal Systems (FS) and South Atlantic Convergence Zone (SACZ) together with Standardized Precipitation Index (SPI) and Fire Occurrence Reports (FOR) in Itatiaia National Park (INP). SPI were computed with rainfall data from three stations in INP. SF and SACZ data were obtained via Climanálise. We applied independent multiple regression to FOR, SPI, SF and SACZ. Largest FOR occurred category in C class (81%), highest percentages during winter (57.2%) and spring (35.1%). The critical months to fire foci were July (17%), September (23.2%) and August (31.9%). Regardless of the season, FS ($R^2 = 0.75$) were highlighted to SACZ ($R^2 = 0.43$). SF conditioned 80% of variations between FOR and annual SPI index, while only 40% were due to SACZ.

Keywords: systems meteorological, forest fires, drought index.

1. INTRODUÇÃO

O número de focos de incêndios florestais e queimadas têm aumentado significativamente no Brasil. Em virtude das atividades agropastoris e de atos criminosos que ocasionam perda de biodiversidade, aumento da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), perda da biota do solo, além da poluição do ar (via biogênicos e *black carbon*) e, conseqüentemente, a ocorrência frequente de doenças respiratórias (Souza et al., 2012; Caúla et al., 2015). A importância da detecção e monitoramento de incêndios florestais e queimadas estão além do problema do desmatamento, com implicações nas alterações climáticas, ecológicas e ambientais (Graneman & Carneiro, 2009; Libonati et al., 2010; Armenteras-Pascual et al., 2011).

Nos últimos 20 anos, o interesse por eventos de incêndios florestais aumentou consideravelmente, devido às conseqüências ambientais provocadas por sua ocorrência, principalmente em Áreas de Preservação Ambiental (APA) e nas Unidades de Conservação (UC) (Fernandes et al., 2001; Nunes et al., 2015). Os incêndios florestais podem ser de origem antrópica ou natural e aumentou significativamente por causa dos efeitos do Aquecimento Global e das alterações do clima provocados pelo modo de variabilidade climática El Niño – Oscilação Sul (ENOS) (Gutman et al., 2000; Hessel et al., 2004). Temperatura elevada, alterações nos padrões de chuva seguidos do aumento da ocorrência de secas severas em muitas regiões do mundo, devido os episódios de ENOS, contribuem para o aumento considerável de incêndios florestais nos mais diversos ecossistemas (Swetnam & Anderson, 2008).

A extensão territorial do Brasil e a diversidade de sua cobertura vegetal, bem como o número expressivo de ocorrências de incêndios florestais verificados no país são fatores que enfatizam a necessidade de um sistema cada vez mais aprimorado e consistente de detecção de incêndios (Antunes, 2000; Graneman & Carneiro, 2009; Caúla et al., 2015). Diversas iniciativas ensejaram-se com o fim de melhorar a gestão dos órgãos públicos e civis no sentido de evitar desastres como, por exemplo, a criação do Centro de Estudos para a Prevenção de Emergências e Desastres (CEPED). Outra ação do governo federal foi a criação do Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), que atribui ao Instituto Brasileiro do

Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) juntamente com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) a competência de coordenar a prevenção e o combate aos incêndios florestais e queimadas (Caúla et al., 2015).

Com o avanço tecnológico tornou-se possível a utilização de imagens de satélites ambientais, obtidas a partir de sensores remotos a bordo (Libonati et al., 2010), para detectar e localizar, em tempo real, focos de calor, com criação do Banco de Dados Queimadas (BDQueimadas) pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – (CPTEC, 2015). O Brasil investiu em tecnologias que permitem o monitoramento e controle dos focos de calor em tempo real, de grande auxílio no combate às queimadas e incêndios: é o meio mais eficiente e de baixo custo (Graneman & Carneiro, 2009; Aximoff & Rodrigues, 2011; Caúla et al., 2016).

No entanto, no Brasil, poucos foram os estudos que realizaram uma avaliação dos focos de calor baseada em dados de satélites ambientais, seguida da caracterização regional e tentativa de associá-la com sistemas meteorológicos produtores de chuva e eventos severos de seca em áreas queimadas de UC. O objetivo deste trabalho foi exatamente avaliar padrões relacionais entre os focos de calor, Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROI), sistemas meteorológicos produtores de chuva e eventos de seca em áreas queimadas no Parque Nacional do Itatiaia – Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) foi a primeira UC na categoria parque nacional com proteção integral criada no Brasil (Aximoff & Rodrigues, 2011). Localizado na Serra da Mantiqueira entre os estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais (Figura 1), nele se encontra o 5º ponto culminante do Brasil e o mais alto do RJ, o Pico das Agulhas Negras, altitude de 2.791 m.

2.2. Dados meteorológicos, de ocorrências de incêndios e focos de calor

Foram coletados dados de três estações pluviométricas, estações de Agulhas Negras (AGNE) e Parque (PQUE) que se localizam no interior da UC, e estação Visconde de Mauá (MAUA), localizada na zona de amortecimento

de cinco quilômetros no entorno do PNI – essas denominações serão adotadas ao longo do texto. Cada estação pluviométrica corresponde a uma zona de influência (Figura 2), determinada por Tomzhinski (2012), utilizando características microclimáticas e topográficas. A estação de AGNE corresponde às bacias da vertente norte (N) do PNI e ao Planalto do Itatiaia, PQUE corresponde às bacias contribuintes da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e MAUA representa a região do Alto Rio Preto. Os dados pluviométricos das duas estações meteorológicas localizadas dentro

do PNI são de responsabilidade de Furnas Centrais Elétricas SA (Furnas) e os da última, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA).

O PNI conta com informações sobre incêndios desde sua criação, em 1937, porém essas passaram a ser organizadas na forma de ROI a partir de 2001 quando se deu a criação da 1ª Brigada de Incêndio do PNI. A partir de 2008, as áreas atingidas passaram a ser delimitadas com auxílio de Global Navigation Satellite Systems (GNSS) (Lechner & Baumann, 2000), contabilizando, até o final do ano de 2011, total de

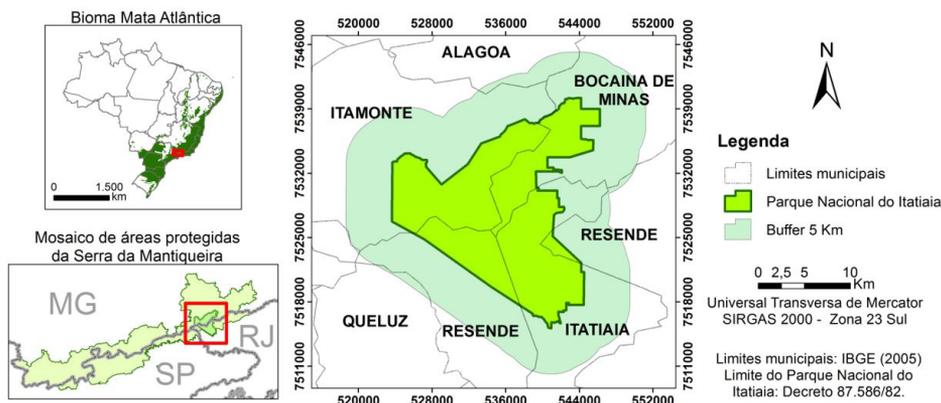


Figura 1. Área de estudo definida num raio de 5 km do Parque Nacional de Itatiaia com seus limites municipais, inclusive contextualização nacional no Bioma Mata Atlântica e regional no Mosaico Mantiqueira.

Figure 1. Study area set within a 5 km Itatiaia National Park radius with municipal boundaries, including national contextualizing in Atlantic Forest biome and regional in Mantiqueira Mosaic.

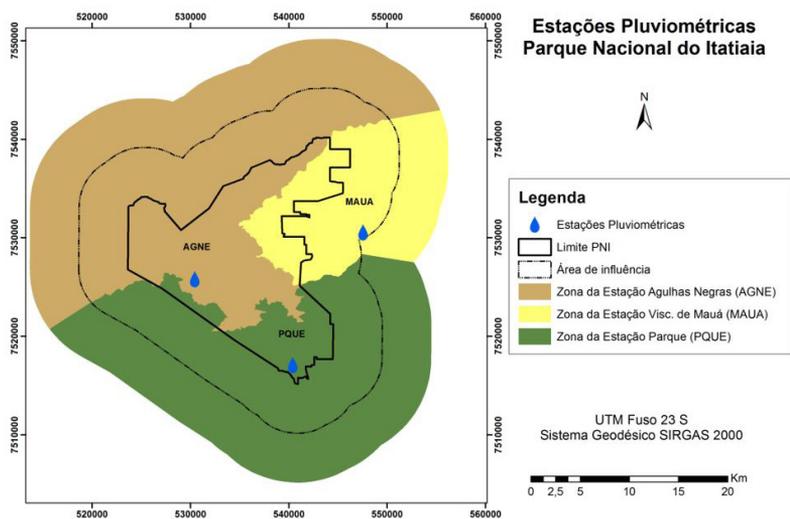


Figura 2. Mapa de localização das estações pluviométricas (AGNE, MAUA e PQUE), com respectivas áreas de influência, e limites do PNI.

Figure 2. Location map of rainfall stations (AGNE, MAUA and PQUE) with their respective influence areas and PNI limits.

145 áreas queimadas. Além do período mencionado foram inseridas duas outras áreas correspondentes a grandes incêndios que ocorreram em 2001 e 2007, que foram identificadas com auxílio de imagens do satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper) adquiridas do site do INPE (INPE, 2011).

Aqueles incêndios que puderam ter a sua área estimada foram divididos em três categorias de ordem de grandeza, sendo considerado o parâmetro de 500 ha para incêndios classificados como de grande porte pelo Projeto Megafires Europeu, com mobilização de combate exigida (Figura 3).

Dados referentes aos focos de calor que realizam a identificação de pontos aproximados de queimada foram obtidos através do BDQueimadas disponibilizado no site do INPE (CPTEC, 2015) para toda a região da área de estudo INPE (2011).

2.3. Índice de severidade de seca – SPI

O índice Standardized Precipitation Index (SPI) foi criado por McKee et al. (1993) com o objetivo de determinar períodos secos e úmidos, seguido da avaliação da sua intensidade em uma escala de tempo que pode variar em 3, 6, 9, 12, 24 e 48 meses. O diferencial em relação a outros índices de seca existentes na literatura refere-se à utilização somente de dados de chuva como variável de entrada (Gois et al., 2015) e de monitoramento de secas meteorológicas de curta e longa duração (Teodoro et al., 2015), o que permite a comparação entre locais e climas diferentes (Ntale & Gan, 2003).

A formulação do índice SPI é baseada na função de densidade e probabilidade gama (Equação 1), na qual α é parâmetro de forma ($\alpha > 0$), β parâmetro de escala ($\beta > 0$) e x é a quantidade de chuva. É importante citar que α e β variam em relação à x , ou seja, o cálculo do SPI utiliza somente valores de chuva (Teodoro et al., 2015). Maiores detalhes sobre as formulações matemáticas e procedimentos estatísticos usados no cálculo do índice SPI em McKee et al. (1993).

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (1)$$

A partir dos valores obtidos, o SPI foi categorizado de acordo com a Tabela 1. No estudo será utilizado apenas o SPI na escala anual em comparação com ROI e atuação dos sistemas produtores de chuva no

RJ. O período dos dados pluviométricos das estações variaram no cálculo do índice SPI anual, AGNE e PQUE (1984-2011 – 27 anos) e MAUA (1937-2011 – 74 anos). Vale ressaltar que foi utilizado apenas o período de 2001 a 2011.

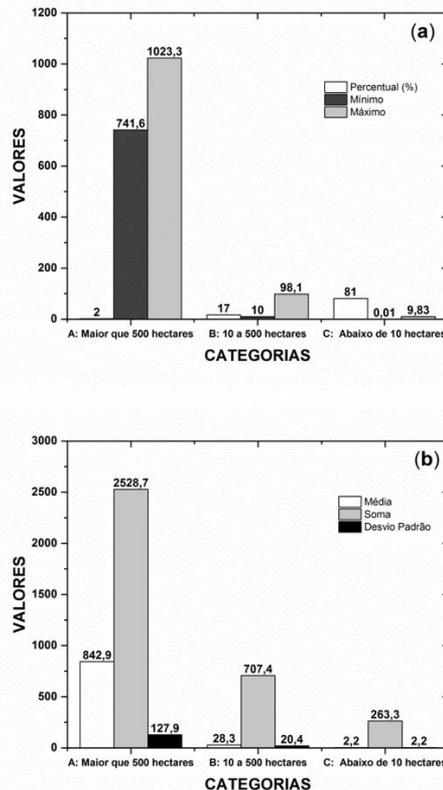


Figura 3. Classificação e quantificação (percentual, mínimo e máximo) – (a) média, soma e desvio padrão; (b) dos polígonos de incêndios estudados, segundo a área atingida (hectares).

Figure 3. Classification and measurement (percentage, minimum and maximum) – (a) average, sum and standard deviation; (b) of fire polygons studied, according to the affected area (hectares).

Tabela 1. Categorias e escala do índice SPI adaptado de McKee et al. (1993).

Table 1. SPI index categories and scale, adapted from McKee et al. (1993).

Escala do SPI	Categorias
≥ 2	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
≤ -2	Extremamente seco

2.4. Sistemas produtores de chuva no RJ

Os dados sobre os principais sistemas produtores de chuva (Sistemas Frontais – SF e Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS) no RJ foram obtidos via boletim da Climanálise. Os dados foram extraídos com auxílio do diagrama de frequência de ocorrência na região e nos relatos dos boletins da Climanálise (Climanálise, 2015). Os dados correspondem ao período 1996-2012 (Oliveira et al., 2014). Vale ressaltar que o estudo foi restrito à ocorrência desses sistemas sinóticos, pois ocorrem com maior frequência em comparação aos demais sistemas que atuam no RJ (Reboita et al., 2010; Zeri et al., 2011).

2.5. Regressão linear múltipla

Foi aplicada análise de regressão múltipla no conjunto formado por ROI, SPI, SF e ZCAS no período 2001 a 2011 para cada uma das estações pluviométricas. Ela verifica a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente (Y_i) com duas ou mais variáveis independentes (X_i , $i = 1, 2, \dots, k$). Modelo adotado:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Os parâmetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ da Equação 2 são os coeficientes de regressão em que β_0 é o intercepto da reta no eixo da ordenada e β_1, \dots, β_k é a inclinação da reta. O termo ε_i representa o erro associado à distância entre o valor observado e o correspondente ponto na curva do modelo.

Quando o número de observações (n) for maior que o número de variáveis preditoras (k), o método utilizado é o método dos mínimos quadrados ordinários. Ele estima os parâmetros de regressão de forma a minimizar as somas quadráticas dos resíduos.

A análise de variância (ANOVA) é utilizada para o teste de significância da regressão. Ela verifica a existência de relação linear entre preditando e preditores. A verificação da qualidade de uma equação ajustada é baseada no coeficiente de determinação (R^2) (Equação 3), entre $0 \leq R^2 \leq 1$:

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQT} \quad (3)$$

em que SQReg é soma dos quadrados da regressão e SQT é soma dos quadrados total. O coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2) (Equação 4) é uma medida de controle que leva em consideração tanto

a variabilidade de Y_i , que é explicada pelo modelo, quanto o número de variáveis de controle utilizado:

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2) \quad (4)$$

em que p = número de parâmetros do modelo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A categorização dos registros históricos de incêndios no PNI ocorreu na classe C (119, 81%), em comparação com as demais classes identificadas na PNI (Figura 3). De acordo com a análise espacial do ROI, constatou-se que a maior ocorrência de queimadas, nos maiores incêndios ocorridos entre 2008-2011, concentrou-se na parte superior e na região central do PNI, correspondente à estação AGNE, principalmente em 2010 (Figura 4). Em 2010 houve uma diminuição significativa da frequência de entrada de SF (18 ocorrências), seguida de um aumento significativo de ZCAS (6 ocorrências) no RJ, maiores detalhes em Oliveira et al. (2014). No entanto, a ZCAS só ocorre nas estações de verão e primavera, enquanto que os SF ocorrem ao longo do ano e, portanto interferem drasticamente no regime de chuva do RJ (Reboita et al., 2010; Zeri et al., 2011).

A maior concentração mensal do ROI ocorreu no inverno (57,2%) e meados da primavera (35,1%), no período de estudo (Figura 5a). Os meses críticos em relação às áreas queimadas no PNI foram julho (17%), agosto (31,9%) e setembro (23,2%). Esses meses são tipicamente influenciados pela atuação da massa de ar seco, seguida da diminuição da umidade relativa (UR) na região Sudeste (Reboita et al., 2010). Vale reassaltar que os resultados obtidos corroboram com os resultados encontrados por Caúla et al. (2015), a nível de Brasil, e Nunes et al. (2015) para mesma região de estudo.

Os índices SPI anuais das estações PQUE e AGNE e o ROI alternaram-se durante os anos estudados, a exceção foi a estação MAUA, que obteve índice SPI categorizado como muito seco, segundo a Tabela 1. Os índices SPI anual AGNE e PQUE mostraram similaridade com as maiores ocorrências de ROI (2003 – El Niño moderado, 2006 – El Niño fraco, 2008 – La Niña moderada e 2011 – La Niña forte, conforme Oliveira et al. (2014) no PNI nas categorias moderadamente seco e próximo ao normal. Contudo, apesar da série temporal de ROI ser

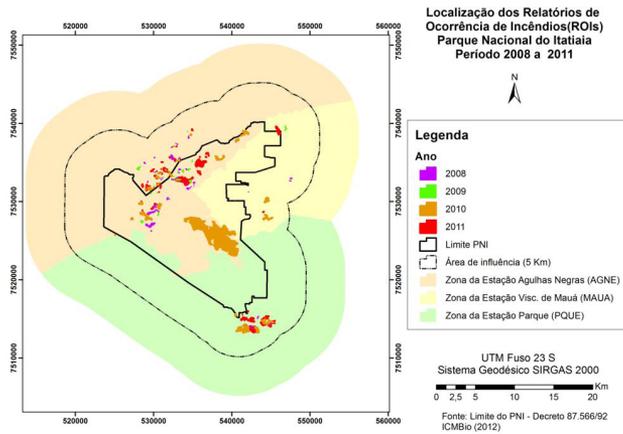


Figura 4. Localização dos ROI no PNI, seguida da delimitação das zonas das estações pluviométricas (AGNE, MAUA e PQUE) e área de influência (5 km), nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011.

Figure 4. ROI Localization in PNI, setted by delimitation of rainfall stations zone (AGNE, MAUA and PQUE) and influence area (5 km) in 2008, 2009, 2010 and 2011 years.

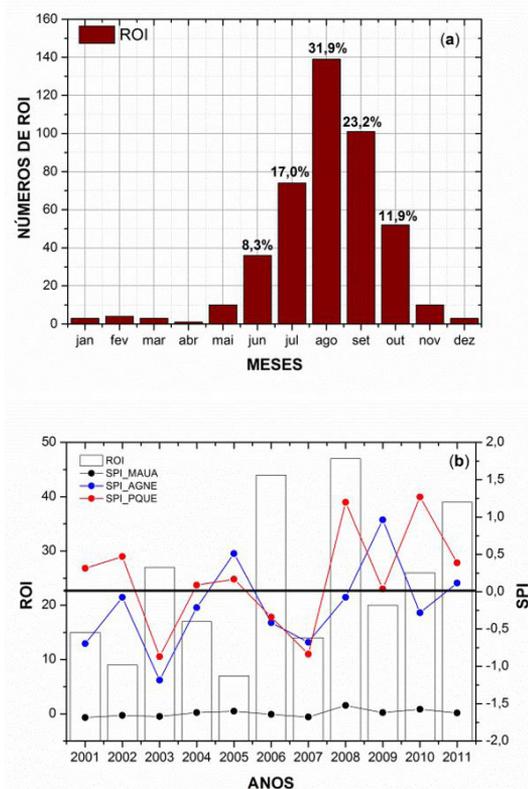


Figura 5. Distribuição mensal do número de ROI registrados no PNI no período 2001 a 2011 (a) e relação ROI versus índice SPI anual das estações pluviométricas (AGNE, MAUA e PQUE) (b), entre 2001 e 2011.

Figure 5. Monthly distribution of ROI number recorded in PNI from 2001 until 2011 (a) and relation ROI versus annual SPI index of rainfall stations (AGNE, MAUA and PQUE) (b) between 2001 and 2011.

pequena, foi possível encontrar um padrão relacional entre as maiores áreas queimadas no PNI, o índice SPI anual com episódios de ENOS e sua intensidade nas categorias moderado e forte.

A partir da Figura 5b, em que se observou maior ocorrência de ROI nos anos 2003, 2006, 2008 e 2011, foram obtidos os dados de focos de calor dos respectivos anos e plotados nos limites do PNI e municipal. Os focos de calor obtidos via satélites ambientais mostraram que os anos 2006 e 2008 apresentaram a menor ocorrência no limite do PNI em comparação aos demais. No entanto, em relação a área de influência, o ano 2011 se sobressai em relação aos demais em ocorrência de focos de calor ativo (Figura 6). Em comparação aos anos de ROI, os dados de focos de calor ativos não foram correspondentes, isso se deve a resolução espacial na detecção dos focos (pixel) e ao tipo de imageamento realizado por cada satélite meteorológico usado no BDQueimadas (Caúla et al., 2015, 2016).

Por não haver correspondência entre os focos de calor ativo e as ocorrências de ROI no PNI, optou-se apenas pela aplicação da análise de regressão múltipla ao conjunto ROI, SPI, SF e ZCAS.

Independentemente da estação pluviométrica, o SF se destacou nas estimativas da variação entre as variáveis ROI, SPI no PNI, com menor dispersão (maior R^2) das estimativas (0,71 – PQUE, 0,74 – MAUA e 0,75 – AGNE) em relação a ZCAS (0,47 – PQUE, 0,43 – MAUA e 0,43 – AGNE). A diferença entre os

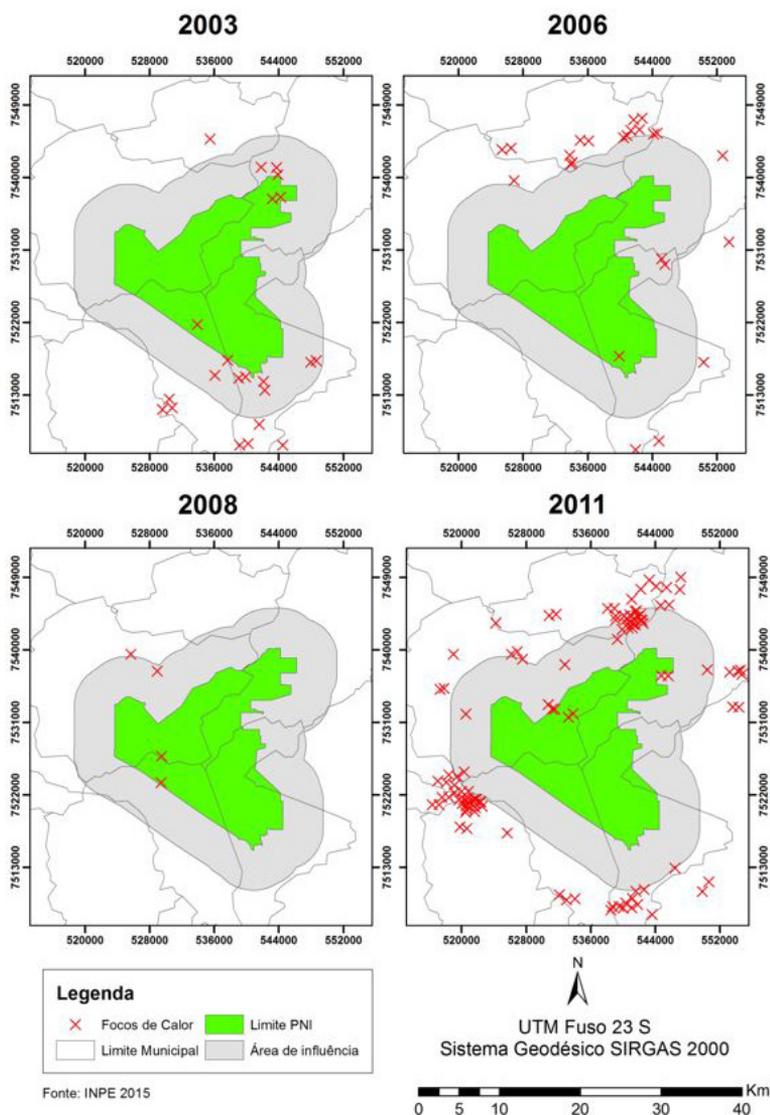


Figura 6. Distribuição espacial dos focos de calor registrados no limite do PNI e na área de influência em 2003, 2006, 2008 e 2011.

Figure 6. Spatial distribution of hot spots recorded in PNI border and influence area to 2003, 2006, 2008 and 2011 years.

valores observados e estimados foi quantificada por meio do erro padrão (EP). Para o SF, o EP variou entre 1,87 (AGNE) e 1,99 (PQUE), enquanto o EP estimado para a ZCAS variou entre 2,70 (PQUE) e 2,80 (MAUA), e assim o EP foi superior a SF em todas as estações pluviométricas. A ANOVA com grau de liberdade igual a 3, sendo teste F de significação de 0,03 para SF menor, em comparação ao teste F de significação de 0,30 para ZCAS (Tabela 2).

Na análise por sistema produtor de chuva, as maiores precisões (maior R²) foram observadas na

análise de regressão entre ROI, SPI e SF, na qual o R² apresentou-se superior em todas as estações pluviométricas existentes no PNI. Novamente, o SF mostrou precisão em relação a ZCAS em todas as análises. Os valores de R² obtidos no estudo foram superiores a 0,7 (SF) e inferiores a 0,4 (ZCAS), ou seja, o SF mostrou que 80% das variações entre ROI e SPI, enquanto a ZCAS apenas 40% baseado no índice R².

Assim, o restante de 20% da variabilidade de ROI, SPI e SF e dos 60% de ROI, SPI e ZCAS ocorreram em função de outros fatores (meteorológicos e fisiográficos)

Tabela 2. Resultados da análise de regressão múltipla (R^2 , EP e teste F) entre ROI, SPI, SF e ZCAS no período 2001 a 2011 para cada uma das estações pluviométricas (PQUE, MAUA e AGNE).

Table 2. Multiple regression analysis results (R^2 , EP and F test) between ROI, SPI, SF and ZCAS the period 2001-2011 for each of the rainfall stations (PQUE, MAUA e AGNE) for the period 2001 and 2011.

Estações pluviométricas	R^2		Erro padrão (EP)		Teste F	
	SF	ZCAS	SF	ZCAS	SF	ZCAS
PQUE	0,71	0,47	1,99	2,70	0,04	0,253
MAUA	0,74	0,43	1,88	2,80	0,03	0,307
AGNE	0,75	0,43	1,87	2,79	0,03	0,29

que ocorrem na região de estudo como, por exemplo, características microclimáticas e topográficas (Tomzhinski, 2012; Caúla et al., 2016).

4. CONCLUSÕES

Com base nas áreas delimitadas pela ocorrência de queimadas no Parque Nacional de Itatiaia durante o período de estudo foi definido que a classe C se sobressai em comparação às demais. Outro resultado obtido no estudo foi que a maior ocorrência sazonal de ROI no Parque Nacional de Itatiaia se dá nas estações inverno e primavera.

A avaliação temporal dos focos de calor obtida dos satélites ambientais no Parque Nacional de Itatiaia mostra que os meses críticos são julho, agosto e setembro. No entanto, não é possível constatar padrão relacional entre ROI e focos de calor no Parque Nacional de Itatiaia. Isso se deve à resolução espacial na detecção dos focos (pixel) e ao tipo de imageamento realizado por cada satélite meteorológico usado no BDQueimadas/CPTEC-INPE.

As variáveis ROI e SPI possuem elevada variabilidade e se distribuem melhor nas estações AGNE e PQUE, em comparação à estação MAUA. As estações AGNE e PQUE apresentam índices similares aos índices SPI anuais, embora com curta duração, nas categorias muito seco, moderadamente seco e próximo ao normal. Independentemente das estações pluviométricas existentes no Parque Nacional de Itatiaia, o Sistema Frontal sobressai-se na análise de regressão entre ROI e o SPI anual em relação à Zona de Convergência do Atlântico Sul em todas as análises estatísticas.

Apesar de a série temporal de queimadas no Parque Nacional de Itatiaia ser pequena é possível encontrar um padrão relacional entre ROI, o índice SPI anual e os episódios de ENOS e sua intensidade nas categorias moderado e forte. Vale ressaltar a utilização de outro tipo de ferramenta de análise matemática-estatística

como, por exemplo, da Técnica de *Wavelets* (TW) ou Análise Harmônica Espectral (AHE) na verificação de outros padrões relacionais.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 13 jun., 2016

Aceito: 16 out., 2016

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

José Francisco Oliveira Júnior

Departamento de Ciências Ambientais,
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro –
UFRRJ, Rodovia BR 465, Km 7, s/n, CEP 23890-
000, Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: junior_inpe@hotmail.com

REFERÊNCIAS

- Antunes MAH. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. *Ação Ambiental* 2000; 12: 24-27.
- Armenteras-Pascual D, Retana-Alumbreros J, Molowny-Horas R, Roman-Cuesta RM, Gonzalez-Alonso F, Morales-Rivas M. Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology* 2011; 151(3): 279-289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.002>.
- Aximoff I, Rodrigues RC. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal* 2011; 21(1): 83-92. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982750>.
- Caúla RH, Oliveira JF Jr, Lyra GB, Delgado RC, Heilbron PFL Fo. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences* 2015; 74(2): 1497-1508. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z>.
- Caúla RH, Oliveira-Júnior JF, Gois G, Delgado RC, Pimentel LCG, Teodoro PE. Nonparametric statistics applied to fire foci obtained by meteorological satellites and their relationship to the MCD12Q1 product in the state of

- Rio de Janeiro, Southeast - Brazil. *Land Degradation & Development* 2016; 25(1): 225-236.
- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. *BDqueimadas: monitoramento de focos*. Cachoeira Paulista; 2015 [citado em 2015 Fev 04]. Disponível em: <http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/>
- Climanálise. *Produtos climanálise*. INPE/CPTEC; 2015 [citado em 2015 Jul 31]. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/>
- Fernandes MC, Coura PHF, Sousa GM, Avelar AS. Avaliação geoecológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Floresta e Ambiente* 2001; 18(3): 299-309. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.050>.
- Gois G, Delgado RC, Oliveira JF Jr. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do Standardized Precipitation Index (SPI) para os Episódios de El Niño forte no estado do Tocantins, Brasil. *Irriga* 2015; 20(2): 371-387. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n2p371>.
- Graneman DC, Carneiro GL. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. *Revista de Engenharia e Tecnologia* 2009; 1(1): 55-62.
- Gutman G, Csizsar I, Romanov P. Using NOAA/AVHRR products to monitor El nino impacts: forest on Indonesia in 1997-98. *Bulletin of the American Meteorological Society* 2000; 81(6): 1189-1205. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<1189:UNPTME>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<1189:UNPTME>2.3.CO;2).
- Hessl A, McKenzie D, Schellhaas R. Drought and pacific decadal oscillation linked to fire occurrence in the Inland Pacific North-west. *Ecological Applications* 2004; 14(2): 425-442. <http://dx.doi.org/10.1890/03-5019>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. *Catálogo de imagens de satélite*. São José dos Campos; 2011 [citado em 2011 Jul 01]. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>
- Lechner W, Baumann S. Global navigation satellite systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 2000; 25(1-2): 67-85. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00056-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00056-3).
- Libonati R, DaCamara CC, Pereira JMC, Peres LF. Retrieving middle-infrared reflectance for burned area mapping in tropical environments using MODIS. *Remote Sensing of Environment* 2010; 114(4): 831-843. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.018>.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*; 1993, Boston. Boston: AMS; 1993. p. 179-184.
- Ntale HK, Gan TY. Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology* 2003; 23(11): 1335-1357. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.931>.
- Nunes MTO, Sousa GM, Tomzhinski G W, Oliveira JF Jr, Fernandes MC. Factors Influencing on susceptibility forestry fire in Itatiaia National Park. *Anuário do Instituto de Geociências* 2015; 38(1): 54-62.
- Oliveira JF Jr, Delgado RC, Gois G, Lannes A, Dias FO, Souza JC et al. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. *Floresta e Ambiente* 2014; 21(2): 140-149. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.030>.
- Reboita MS, Gan MA, Rocha RP, Ambrizzi T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2010; 25(2): 185-204. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>.
- Souza LS, Landau L, Moraes NO, Pimentel LCG. Air quality photochemical study over Amazonia Area, Brazil. *International Journal of Environment and Pollution* 2012; 48(1): 194-202. <http://dx.doi.org/10.1504/IJEP.2012.049666>.
- Swetnam TW, Anderson RS. Fire climatology in the western United States: introduction to special issue. *International Journal of Wildland Fire* 2008; 17(1): 1-7. <http://dx.doi.org/10.1071/WF08016>.
- Teodoro PE, Correa CCG, Torres FE, Oliveira JF Jr, Silva AC Jr, Gois G et al. Analysis of the occurrence of wet and drought periods using standardized precipitation index in Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Journal of Agronomy (Print)* 2015; 14(2): 80-86. <http://dx.doi.org/10.3923/ja.2015.80.86>.
- Tomzhinski GW. *Análise geoecológica dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia* [dissertação]. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Rio de Janeiro; 2012.
- Zeri M, Oliveira JF Jr, Lyra GB. Spatiotemporal analysis of particulate matter, sulfur dioxide and carbon monoxide concentrations over the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics* 2011; 113(3): 139-152. <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-011-0153-9>.