

A dinâmica de focos de calor no estado do Acre entre os anos de 2004 e 2010

Juliana de Oliveira Tostes^{1,3}
Márcio Rocha Francelino²
José Francisco de Oliveira Júnior³

¹ Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
Rua José Breves nº 550, Centro. CEP 27197-000 - Pinheiral - RJ, Brasil
juliana.tostes@ifrj.edu.br

² Universidade Federal de Viçosa
Campus UFV, Departamento de Solos. CEP 36570-900 - Viçosa- MG, Brasil
marcio.francelino@gmail.com.br

³ Universidade Rural do Rio de Janeiro
Rodovia BR 465 - Km 7, Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais.
CEP 23851-970- Seropédica - RJ, Brasil
joliveirajunior@gmail.com.br

Abstract. This paper aims to identify the seasonal behavior of the hotspots in the state of Acre, between the years 2004 and 2010, as well as analyze the relationship between the values of the Standardized Precipitation Index (SPI) and the number and spatial distribution of hotspots in the state. Focus data the heat of the satellites of reference were downloaded from the BDQueimadas and data were downloaded from the Global Precipitation Climate Centre (GPCC) in the period from 1948 to 2010. With these latest data quantified the deficit or excess rainfall using the Standardized Precipitation Index (SPI) on a quarterly scale. The results of this index were interpolated using ordinary kriging and were overlaid on hotspots. To measure the quantity of heat sources in forest areas that are near areas of deforestation, we used the deforestation polygons detected by Program Deforestation Detection in Real-time (PRODES) and ArcGIS 10.2 buffers were generated around the deforested areas with distances of 1, 2, 3 and 4 kilometers. Finally, we performed a correlation analysis between proximity to deforested area and number of hotspots. It was found that although drought triggers an increase in the number hotspots, its spatial pattern is more related to human factors such as proximity to areas already cleared.

Palavras-chave: Standardized Precipitation Index (SPI); kriging; deforestation; Índice de Precipitação Padronizado (SPI); krigagem; desmatamento.

1. Introdução

A floresta Amazônica é conhecida por ser resistente à seca sazonal, constituindo-se numa barreira natural à propagação do fogo. Porém, a ocorrência de eventos climáticos extremos, que afetam o padrão da precipitação pluvial, diminui a capacidade de resiliência da floresta (Brown et al, 2006; Aragão et al., 2008; Schroeder et al, 2009; Soares Filho et al, 2012).

Este cenário é preocupante, pois diversos estudos (Zeng et al., 2008; Yoon et al., 2010, Marengo et al., 2011.) apontam que, diante das mudanças climáticas globais, eventos extremos se tornarão cada vez mais frequentes.

Paralelamente à questão climática, o intenso processo de desmatamento e de degradação da floresta também contribui para a diminuição da resistência das fitofisionomias aos períodos de estiagem, deixando-as mais vulneráveis à propagação de incêndios (Aragão et al., 2008; Cochrane and Barber, 2009).

As queimadas e incêndios florestais podem ser detectados via sensoriamento remoto, o que se torna fundamental para uma região de grande extensão territorial e com muitas áreas de difícil acesso. Numa tentativa de tentar compreender a dinâmica dos focos de calor no estado do Acre, este trabalho pretende identificar o comportamento sazonal dos focos de calor no estado do Acre, entre os anos de 2004 e 2010, assim como analisar a relação entre os valores

do Índice de Precipitação Padronizado (*SPI – Standardized Precipitation Index*) e o número e distribuição espacial dos focos de calor no estado.

2. Metodologia de Trabalho

Os dados de focos de calor entre 2004 e 2010 foram baixados do Projeto BDQueimadas (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>), disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados de focos de calor foram derivados das imagens do sensor AVHRR do satélite NOAA-12 e do sensor MODIS do satélite AQUA M-T, com resolução espacial de 1km². Apesar de estarem disponíveis dados de focos de diversos outros satélites, selecionou-se apenas estes dois para evitar com que um mesmo foco fosse contabilizado duas vezes, superestimando o número dos mesmos.

Para se realizar uma análise sobre a influência da precipitação na ocorrência e distribuição de focos de calor, foram utilizados dados do modelo climático de precipitação do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), entre os anos de 1948 a 2010. Os dados foram organizados em uma grade (Figura 1) composto de 60 pares de pontos, com 6° de latitude e 10° de longitude, o que formou uma série de dados que extrapolou o estado do Acre. Isso foi realizado com o intuito de diminuir o efeito de borda decorrente do processo de interpolação que foi realizado posteriormente.

Para cada par de coordenadas, quantificou-se o déficit ou o excesso de precipitação através do SPI, considerando-se a escala trimestral. O SPI foi desenvolvido por McKee et al. (1993) e baseia-se em um banco de dados de precipitação com no mínimo de 30 anos. Para realizar o cálculo do SPI, os valores de precipitação foram ajustados através da distribuição gama e, posteriormente, foram transformados em uma distribuição normal.

Os cálculos que geraram o SPI foram realizados no Excel 2010, e os resultados foram classificados de acordo com McKee (1993) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos períodos secos e úmidos do Índice de Precipitação Padronizada, segundo McKee (1993).

SPI	Categoria
≥ 2,00	Extremamente úmido
1,5 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
≤ -2,00	Extremamente seco

Os valores de SPI para cada um dos 60 pontos do grid foram agrupados em uma única tabela e exportados para o *ArcGis 10.2*. Com o intuito de analisar a relação entre a distribuição espacial de focos de calor e as condições de seca meteorológica, os dados pontuais do SPI referente aos anos de 2004 a 2010 foram interpolados para geração de uma superfície contínua através de *Krigagem* ordinária pelo modelo Gaussiano.

Para se mensurar o quantitativo de focos de calor em áreas florestais que estão próximos a áreas de desmatamento, utilizou-se os polígonos de desmatamento detectados pelo Programa de Detecção do Desmatamento em tempo real (PRODES - <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>). No *ArcGis 10.2* foram gerados *buffers* em torno das áreas desmatadas com distâncias de 1 , 2 , 3 e 4 km. Este procedimento foi realizado para

todos os anos e o número de focos de calor para cada classe de distância foi quantificado através da ferramenta *Clip*. Finalmente, no Excel 2010 realizou-se uma análise de correlação entre proximidade de área desmatada e número de focos de calor.

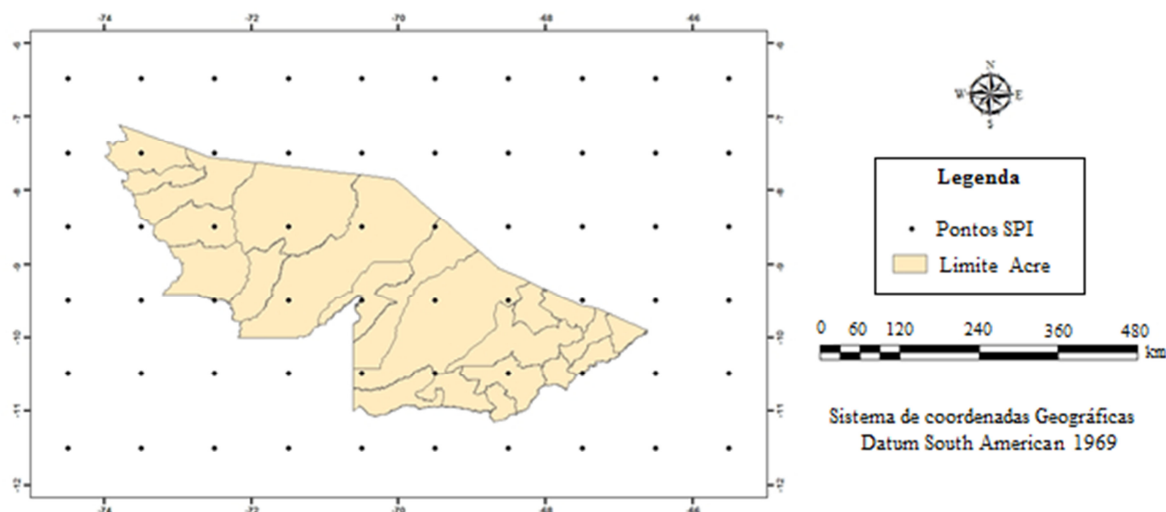


Figura 1. Pontos de grade utilizados para cálculo e interpolação do índice SPI no Acre.

3. Resultados e Discussão

A análise dos números de focos de calor detectados no estado do Acre, no período de 2004 a 2010, demonstra que eles apresentam um padrão sazonal bem definido, com uma maior concentração de focos de calor entre os meses de julho a outubro (Figura 2A). Apesar dos menores índices de precipitação média ocorrerem nos meses de junho e julho (Figura 2B). O pico dos focos de calor só ocorre em setembro. Segundo Zeng et al. (2008) isso ocorre porque a Floresta Amazônica ainda se mantém úmida durante os primeiros meses de estiagem, no entanto, posteriormente ela começa a entrar em estado de estresse e, conseqüentemente fica mais susceptível ao fogo.

De forma geral, em anos onde ocorrem anomalias negativas de precipitação representadas pelas classes de SPI moderadamente seco, muito seco e extremamente seco, observa-se um aumento considerável do número de focos de calor, conforme verificado nos anos de 2005 (Figura 3B) e 2010 (Figura 3G), anos com maior quantitativo de focos de calor no período analisado.

No entanto, é importante ressaltar que estas anomalias não se distribuem uniformemente pelo estado, sendo que, inclusive, ocorreram anomalias positivas de precipitação (moderadamente úmido) em algumas regiões do estado.

No ano de 2004 (Figura 3A), o padrão de precipitação esteve próximo à normalidade na maior parte do estado, apenas a região central apresentou uma anomalia positiva, classificada como moderadamente úmido. Apesar de o padrão normal ter se estendido por grande parte do Acre, os focos de calor estavam concentrados principalmente na porção leste do estado, região onde existe a maior densidade demográfica, segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2014).

Em 2005 (Figura 3B), ano com as maiores anomalias negativas de precipitação, grande parte do estado foi classificada pelo SPI como extremamente seca, porém algumas áreas da porção leste foram classificadas como muito seca e moderadamente seca, e parte da porção sudeste foi classificada como dentro da normalidade.

Neste ano, o quantitativo de focos aumentou consideravelmente, mas a sua distribuição espacial manteve-se relativamente constante. Ora, se a questão meteorológica tivesse maior

peso na distribuição dos focos de calor, era para grande parte do estado apresentar uma alta densidade de focos, porém isso não foi observado. Pelo contrário, eles tenderam a se concentrar nas proximidades daqueles locais onde ocorreram no ano de 2004 (ano onde a precipitação esteve dentro da normalidade)

Finalmente, verificou-se também que, nas porções sudeste e leste do estado, onde as anomalias de precipitação foram menos severas que nas outras regiões, foi detectada uma alta densidade de focos.

Nos anos de 2006(Figura 3C) e 2007(Figura 3D), o padrão espacial se manteve, e a precipitação esteve próxima à normalidade na maior parte do estado. Neste último ano, observou-se que apenas a parte central do estado apresentou uma anomalia de precipitação classificada como extremamente seca, no entanto, isso não se traduziu num aumento significativo do número de focos nesta região.

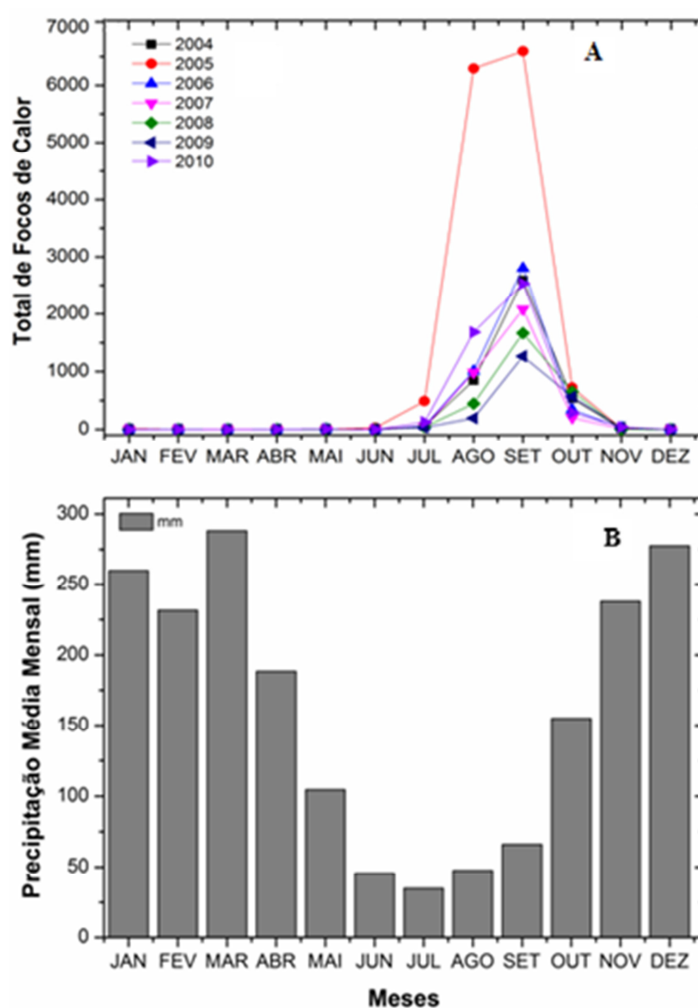


Figura 2A. Distribuição mensal do número de focos de calor detectados pelos satélites de referência. Fonte: BDQueimadas(2014). **2B.**Distribuição da precipitação média (mm)no Acre, entre 2004 e 2010. Fonte: GPCC.

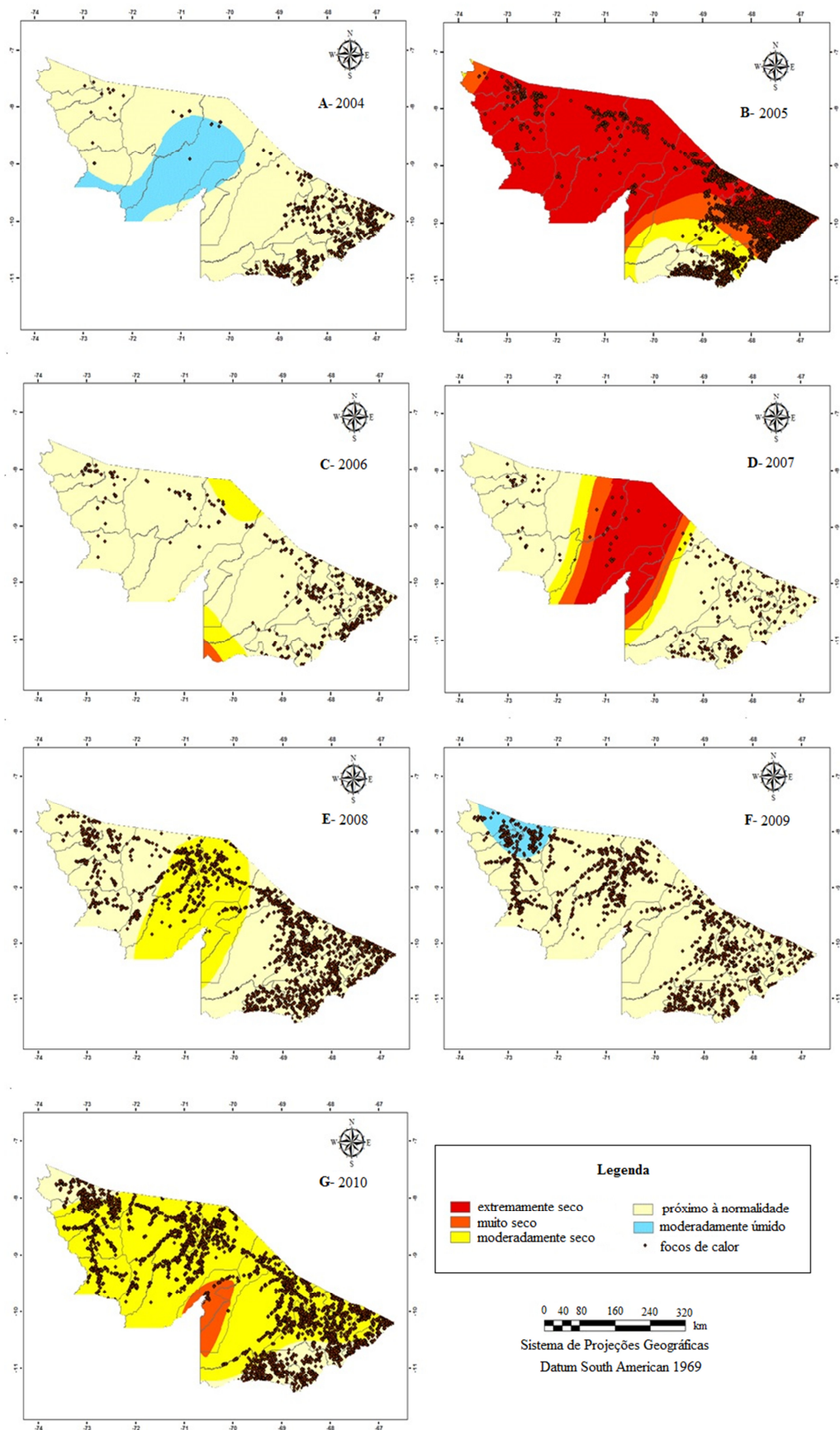


Figura 3. Espacialização do índice SPI (julho a setembro) juntamente com os focos de calor detectados pelos satélites referência do respectivo ano.

No ano de 2008 (Figura 3E), a região central continuou com anomalias negativas de precipitação, inferiores ao ano anterior, mas ainda existentes. Neste ano, no entanto, o número de focos aumentou muito nesta área em relação aos anos anteriores. Acredita-se que isso possa ter ocorrido, dentro outros fatores, pelo intenso estresse sofrido pela vegetação que passou por dois anos de estiagem, o que a deixou mais vulnerável à ocorrência de incêndios (Hoffmann et al., 2003; Nepstad et al., 2004; Aragão et al, 2007, Cochrane, 2009).

Dentro do período analisado, foi a primeira vez que essa região apresentou um alto número de focos de calor, característica que se manterá nos anos posteriores. Isso decorre porque a ocorrência de fogo se retroalimenta, ou seja, uma floresta queimada em um ano estará muito mais susceptível à propagação de fogo no ano seguinte (Cochrane, 2003). Além disso, quando a floresta é queimada para ser convertida em pastagem ou lavoura, possivelmente a área será queimada novamente no ano seguinte para limpeza do terreno.

Esse padrão espacial de focos observado no ano de 2008 se mantém nos anos de 2009 (Figura 3F) e 2010 (Figura 3G). Tal padrão visualmente parece coincidir com os eixos rodoviários e com a proximidade de alguns rios, locais onde existe um maior povoamento.

Da série analisada, 2010 foi o ano com o segundo maior número de focos, perdendo apenas para 2005. Pelos mapas de SPI, observa-se que assim como 2005, as anomalias negativas de precipitação se distribuíram por quase todo o estado, embora numa intensidade mais leve, classificada como moderadamente seca. No entanto, a distribuição espacial dos focos foi mantida igual aos anos anteriores, inclusive com muitos focos sendo observados nas porções sudeste e leste, locais com precipitação próxima à normalidade.

O padrão espacial de distribuição dos focos de calor pode ser melhor compreendido, quando se analisa em qual tipo de cobertura eles ocorrem com mais frequência.

Embora a maior parte dos focos seja detectada em florestas, uma importante parcela ocorre em áreas já desmatadas, onde a queimada é utilizada como prática agrosilvopastoril. Neste sentido, destacam-se os anos de 2004 e 2005, cujos números de focos em áreas desmatadas foram superiores aqueles que ocorreram em áreas de florestas. (Figura 4).

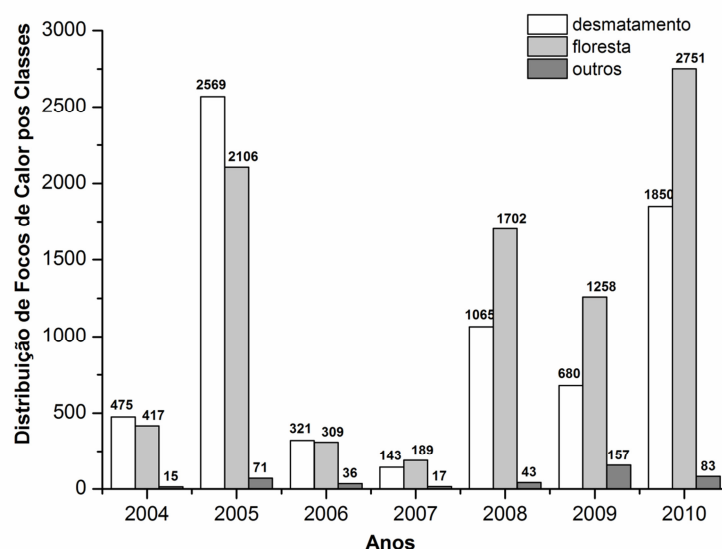


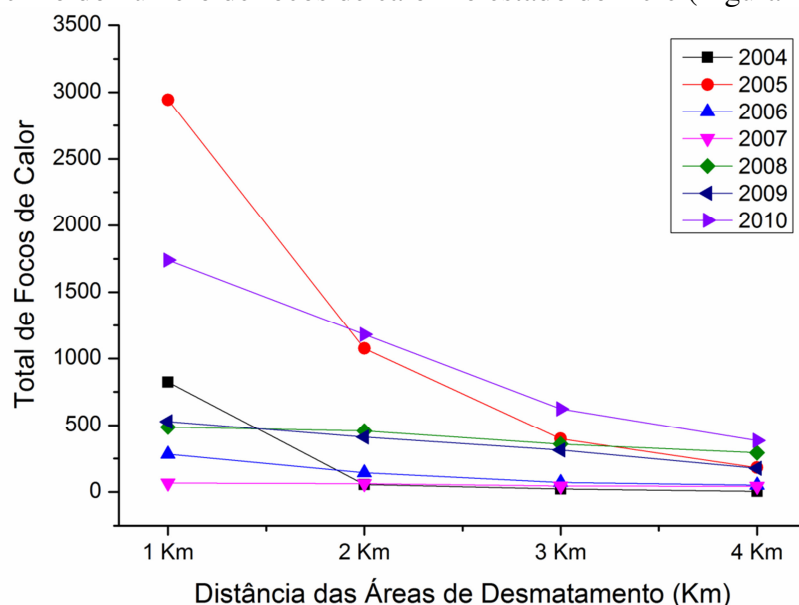
Figura 4. Distribuição dos focos de calor por classes desmatamento, floresta e outros no período de 2004 a 2010. Fonte: BDQueimadas (2014) e PRODES(2014)

Diversos estudos, como, por exemplo, Cochrane and Laurance (2002); Aragão et al.(2007) e Soares Filho et al.(2012) afirmam que os focos de calor concentram-se principalmente próximo às áreas já desmatadas. O presente trabalho vai ao encontro destas pesquisas, pois em todos os anos analisados observou-se uma forte correlação entre estas variáveis; conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Correlação entre proximidade de áreas desmatadas e número de focos de calor, considerando-se classes de 1 a 4 km de distância

Ano	r	Ano	r
2004	0.8	2008	0.98
2005	0.92	2009	0.99
2006	0.94	2010	0.98
2007	0.96		

Assim, verificou-se que quanto maior a distância das áreas desmatadas ocorre um decréscimo do número de focos de calor no estado do Acre (Figura 13).

**Figura 13.** Relação entre o número de focos de calor e a proximidade de áreas desmatadas identificadas pelo PRODES no período de 2004 a 2010.

O resultado obtido pode ser explicado porque, muitas vezes, as queimadas utilizadas como técnicas agrícolas, saem do controle e atingem as florestas do entorno, transformando-se em incêndios florestais. Além disso, devido ao efeito de borda dos fragmentos, a vegetação recebe maior quantidade de vento e insolação, tornando-se menos úmida, o que aumenta a sua inflamabilidade (Cochrane and Laurance, 2002).

Verifica-se que, apesar das anomalias negativas de precipitação contribuírem para o aumento do número de focos, estas não necessariamente estão relacionadas ao padrão espacial dos focos de calor no estado. Possivelmente, este último está mais relacionado ao uso e ocupação do solo, pois, ainda que haja condições favoráveis à propagação do fogo, é o homem que provoca a sua ignição.

4. Conclusões

A estiagem propicia um aumento do número de focos de calor. No entanto, o seu padrão espacial está mais relacionado a fatores antrópicos, tais como a proximidade de áreas já desmatadas. Por isso, para uma compreensão mais profunda deste fenômeno é necessária a realização de estudos que integrem a variável climática a diversas variáveis socioeconômicas.

Referências Bibliográficas

- ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E., ANDERSON, L. O., AND SAATCHI, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Phil. Trans. R. Soc.** v.363, p.1779-1785, 2008.
- ARAGAO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; SAATCHI, S., ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophys. Res. Lett.**34, L07701, 2007.
- BROWN, I. F.; SCHROEDER, W.; SETZER, A. ; M; DE LOS RIOSMALDONADO; PANTOJA, N.; DUARTE, A. ; MARENGO, J. Monitoring Fires in Southwestern Amazonia Rain Forests **Eos, Transactions, American Geophysical Union** , v. 87, n. 26, p.253-264, 2006.
- COCHRANE, M. A. Fire science for rainforest. **Nature**, v.421 ,p. 913-919, 2003.
- COCHRANE, M. A forest fire, deforestation and landcover change in the Brazilian Amazon. **The Joint Fire Science Conference and Workshop**, 2009
- COCHRANE, M. A., AND C. P. BARBER..Climate change, human land use and future fires in the Amazon. **Global Change Biology**, v. 15, p.601-612, 2009.
- COCHRANE, M., AND W. F. LAURANCE. Fire as a large-scale edge effect in Amazonia forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p.311-325, 2002.
- HOFFMAN, W. A., SCHROEDER, W. and JACKSON R. B.. Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation, **J. Geophys. Res.**, v.108, n D23, 4721, 2003.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTAÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/censodemografico>>Acesso em: 02 fev 2014.
- INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. BDQueimadas – Banco de Dados de Queimadas. DPI/INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- INPE .Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia por Satélite. Disponível em:< <http://www.obt.inpe.br/prodes/dados/> > Acesso em 10 de fevereiro de 2014.
- MARENGO, J. A., J. TOMASELLA, L. M. ALVES, W. R. SOARES, AND D. A. RODRIGUEZ . The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region,**Geophys. Res. Lett.**,v. 38, n.12, L12703, 2011.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anhaeim, CA. Proceedings. Boston: **American Meteorological Society**, p. 179-184, 1993.
- NEPSTAD, D.; LEFEBVRE, P.; LOPES DA SILVA, U; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLÓRZANO, L; MOUTINHO, P; RAY, D., AND GUERREIRA BENITO, J. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis, **Global Change Biol.**, v.10, n.5, 704–717, 2004
- SOARES-FILHO, B.; SILVESTRINI, R.; NEPSTAD, D.; BRANDO,P.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A.; COE, M.; • LOCKS, C.; LIMA, L.; HISSA, L.; STICKLER, C. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. **Landscape Ecology**, 2012. DOI 10.1007/s10980-012-9723-6 .
- YOON, J. H., AND N. ZENG. An Atlantic influence on Amazon rainfall, **Clim. Dyn.**, v. 34, n(2–3), p.249–264, 2010.
- ZENG, N., J. H. YOON, J. A. MARENGO, A. SUBRAMANIAM, C. A. NOBRE,A. MARIOTTI, AND J. D. NEELIN. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environ. Res. Lett.**, v.3, n.1, 014002, 2008.