

Nota informativa



Correlação entre a densidade do rebanho bovino e a incidência de focos de incêndio por área

quinta-feira, 22 de outubro de 2020

Introdução

Os incêndios florestais e em áreas rurais trazem consequências nefastas tanto para a sustentabilidade ambiental, quanto para os produtores rurais brasileiros, que são os que sofrem diretamente suas consequências.

No entanto, o debate sobre a matéria toma, muitas vezes, caráter diverso do que seria recomendado pela análise rigorosa dos fatos e das estatísticas. Nesse sentido, essa nota avalia a correlação entre a densidade dos rebanhos bovinos e o número de focos de incêndio no território brasileiro e nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, a fim de fomentar o debate técnico da questão por estudiosos e pela sociedade civil. Desse modo, essa nota analisa a correlação dessas variáveis tanto em termos absolutos quanto ponderados pela área do respectivo município, realizando testes estatísticos para avaliar a significância dos resultados obtidos. Vale esclarecer que essa nota não tem intenção de discutir a causalidade entre tamanho do rebanho e número de queimadas, mas apenas a própria correlação entre essas variáveis empregando-se métodos quantitativos empíricos.

Metodologia

As variáveis utilizadas nesse estudo foram obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram considerados os anos de 2018 e 2019. O rebanho bovino por município foi obtido por meio da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM)¹. As áreas territoriais dos municípios e sua classificação por micro e mesorregiões também foram obtidas no site do IBGE, na área de informações geodésicas do sítio. Por outro lado, os números de focos de incêndio por município foram coletados da plataforma *BDQueimadas*² do INPE utilizando dados do satélite "AQUA_M-T", que é o satélite de referência utilizado pelo INPE³. Também foi obtido no site do INPE indicador para mensurar a intensidade dos focos de incêndio, uma vez que está relacionada com a quantidade de biomassa queimada pelo incêndio em questão (Wooster *et al.*, 2005; Vermote *et al.*, 2009). Esse indicador denominado FRP (do inglês, *Fire Radiative Power*) mensura a taxa de emissão de energia pelo fogo na forma de radiação durante uma queimada. Os dados de FRP também foram coletados na plataforma *BDQueimadas* do INPE para os anos de 2018 e 2019.

¹ Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA): Tabela 3939 - Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho.

² Dados disponíveis em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>

³ INPE – Programa Queimadas – Perguntas frequentes: "O que é o "satélite de referência"?". Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes#p7>. Acesso em 20/10/2020.



A partir desses dados foram criadas as variáveis de interesse para mensuração da correlação. A primeira delas é a **densidade do rebanho bovino no município**, obtida pelo quociente entre o tamanho do rebanho existente no município e sua extensão territorial.

A outra variável calculada para o computo da correlação foi a **incidência de focos de incêndio por quilômetro quadrado no município**, calculada a partir da razão entre o número de focos de incêndio no município e sua área.

Por fim, a variável **emissão de energia de incêndios por quilômetro quadrado no município** foi calculada pela divisão do FRP pela área municipal

Para que se analise a correlação entre o tamanho do rebanho e a incidência de focos de incêndio, de, necessariamente, ponderaras variáveis pela área territorial, pois, a utilização dessas variáveis em termos absolutos implicaria em possível relação espúria.

Isso porque, tanto o tamanho do rebanho quanto o número de focos de incêndio devem possuir correlação positiva com o tamanho do município. Assim, pode ser que eventual correlação positiva entre o tamanho do rebanho e o número de focos de incêndio reflita tão somente a correlação positiva dessas duas variáveis em relação à extensão territorial dos municípios. Em suma, o tamanho do território pode ser a variável de confusão que determina a correlação.

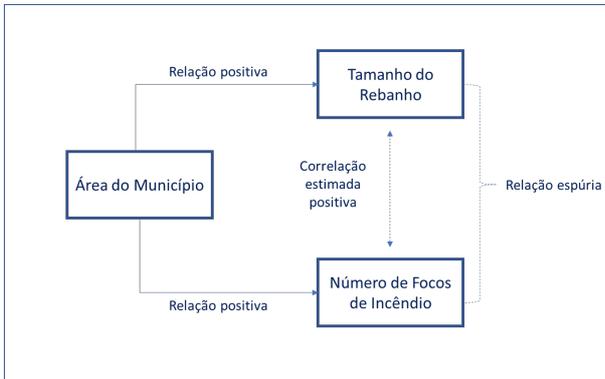
Entende-se por “variável de confusão” (do inglês *confounding variable*, também conhecido como *lurking variable*), uma variável Z que influencia duas outras variáveis X e Y ao mesmo tempo. Conforme discutido em Aldrich (1995) e Greenland, Robins & Pearl (1999), na presença de uma variável de confusão Z que influencia tanto X quanto Y , a correlação entre X e Y pode ser espúria, no sentido de estar meramente capturando a influência que Z exerce em ambas. Dessa forma, analisar apenas a correlação entre X e Y seria insuficiente para inferir potenciais relações de causalidade entre essas duas variáveis.

Um exemplo bem conhecido de correlação espúria é a relação entre vendas de sorvetes e mortes por afogamento, as quais tendem a apresentar uma forte correlação positiva, porém sem implicações de causalidade em nenhum dos dois sentidos; em vez disso, a variável de confusão “temperatura” tem alto poder explicativo para as duas variáveis – visto que, em dias de calor, a demanda por sorvetes tende a ser maior, assim como a procura por piscinas para fins de lazer, o que por sua vez aumenta o risco de acidentes de afogamento.

Dessa forma, a Figura 1 exemplifica o possível caso de relação espúria entre as variáveis “tamanho do rebanho” e “número de focos de incêndio”, ambas determinadas, ainda que parcialmente, pela variável de confusão “área do município”. Sendo assim, o tamanho do rebanho e o número de focos de incêndio não apresentam entre si a relação positiva indicada pela simples correlação estimada entre essas duas variáveis.

Intuitivamente, municípios maiores tenderão a ter tanto maior rebanho bovino, quanto maior número de focos de incêndio. O importante é avaliar se o número de focos de incêndio cresce de forma mais do que proporcional, menos que proporcional ou proporcionalmente ao tamanho do rebanho.

Figura 1
Variável de confusão causando viés na correlação estimada



A normalização das variáveis de interesse em relação à área municipal elimina esse problema. O que se verificará é se a concentração de gado bovino tem correlação com a incidência de focos de incêndio por quilômetro quadrado.

Assim define-se:

$$dr_i = \frac{tr_i}{at_i}$$

e

$$fa_i = \frac{nf_i}{at_i},$$

sendo tr_i o tamanho do rebanho bovino no município i medido em número de cabeças, at_i é a área territorial total do município i em quilômetros quadrados, nf_i é o número total de focos de incêndio observados anualmente no município i , dr_i é a densidade do rebanho bovino no município i medida em cabeças por quilômetro quadrado e fa_i é o número de focos de incêndios por quilômetro quadrado observados anualmente no município i .

A análise dessas correlações foi executada calculando-se os coeficientes de correlação de Pearson de acordo com a sua formulação usual:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

r é a estimativa do coeficiente de correlação de Pearson, n é o número de municípios da amostra, x e y são as variáveis que se avalia a correlação e \bar{x} e \bar{y} são os valores médios das variáveis consideradas. Ademais, a fim de se verificar a significância estatística das correlações amostrais, realizou-se o seguinte teste de hipóteses bicaudal para cada bioma e ano

$$\begin{cases} H_0: r = 0 \\ H_A: r \neq 0 \end{cases}$$



A significância da estimativa obtida é testada conforme a estatística-t, dada por:

$$t_0 = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

Sob a hipótese nula H_0 , t_0 é uma variável aleatória com distribuição t com $(n-2)$ graus de liberdade.

Resultados e discussão

A primeira bateria de cálculos se debruçou sobre a possível existência de variável de confusão, no caso a área territorial, na correlação entre tamanho do rebanho bovino municipal e número de focos de incêndio no município. A Tabela 1 relata os resultados encontrados nesses cálculos.

Tabela 1

Correlações entre área territorial, tamanho do rebanho bovino e número de focos de incêndio no município, por bioma selecionado, 2018 e 2019

Bioma – Ano	Correlação com a Área do Município				Número de observações
	Tamanho do Rebanho		Número de Focos de Incêndio		
	Coeficiente	Estatística-t	Coeficiente	Estatística-t	
Brasil – 2018	0,388	26,78***	0,568	43,88***	4.044
Brasil – 2019	0,390	28,12***	0,597	49,38***	4.400
Amazônia – 2018	0,228	5,34***	0,490	12,81***	522
Amazônia – 2019	0,223	5,25***	0,558	15,43***	529
Cerrado – 2018	0,746	38,17***	0,640	28,42***	1.164
Cerrado – 2019	0,748	39,25***	0,800	46,34***	1.213
Pantanal – 2018	0,936	13,04***	0,946	14,28***	26
Pantanal – 2019	0,917	11,05***	0,953	15,10***	25

* Estatisticamente significativa com 90% de confiança

** Estatisticamente significativa com 95% de confiança

*** Estatisticamente significativa com 99% de confiança

Fontes: IBGE, INPE

Elaboração: SPE

Como se pode observar, existe correlação positiva entre a área territorial e o tamanho do rebanho, bem como entre a área territorial e o número de focos de incêndios em todos os casos estudados. No bioma Amazônia a correlação entre a área e o tamanho do rebanho é mais fraca, mas ainda bastante significativa.

Esses valores indicam que a área territorial dos municípios funciona como variável de confusão na relação entre o tamanho do rebanho e o número de focos de incêndio. Dessa forma, a correlação entre essas duas variáveis, embora elevadas e significativas em todos os casos estudados (Tabela 2), reflete, possivelmente, o fato de que elas sejam determinadas pelas áreas dos municípios.

**Tabela 2****Correlações entre o tamanho do rebanho bovino e número de focos de incêndio no município, por bioma selecionado, 2018 e 2019**

Bioma – Ano	Coeficiente	Estatística-t	Número de observações
Brasil – 2018	0,458	32,74***	4.044
Brasil – 2019	0,574	46,52***	4.400
Amazônia – 2018	0,479	12,46***	522
Amazônia – 2019	0,561	15,57***	529
Cerrado – 2018	0,260	9,18***	1.164
Cerrado – 2019	0,516	20,94***	1.213
Pantanal – 2018	0,844	7,71***	26
Pantanal – 2019	0,821	6,90***	25

* Estatisticamente significativa com 90% de confiança

** Estatisticamente significativa com 95% de confiança

*** Estatisticamente significativa com 99% de confiança

Fontes: IBGE, INPE

Elaboração: SPE

No entanto, a análise da correlação entre as variáveis normalizadas pela variável de confusão leva a conclusões bastante diversas. Como se pode depreender na Tabela 3, a correlação entre a densidade do rebanho e o número de focos de incêndio por quilômetro quadrado é negativa para todos os biomas analisados, com exceção do bioma Amazônia em 2018. No caso do bioma Amazônia, a correlação não é significativa em nenhum dos anos e no caso do bioma Pantanal a correlação é significativa a um nível de confiança de 90% para o ano de 2018 e significativa a um nível de confiança de 95% para o ano de 2019. Já para o Brasil e para o bioma Cerrado, as correlações são todas significativas com 99% de confiança.

Tabela 3**Correlações entre a densidade do rebanho bovino e número de focos de incêndio por quilômetro quadrado no município, por bioma selecionado, 2018 e 2019**

Bioma – Ano	Coeficiente	Estatística-t	Número de observações
Brasil – 2018	-0,164	-10,56***	4.044
Brasil – 2019	-0,144	-9,64***	4.400
Amazônia – 2018	0,050	1,13	522
Amazônia – 2019	0,004	0,08	529
Cerrado – 2018	-0,323	-11,65***	1.164
Cerrado – 2019	-0,286	-10,39***	1.213
Pantanal – 2018	-0,360	-1,89*	26
Pantanal – 2019	-0,418	-2,21**	25

* Estatisticamente significativa com 90% de confiança

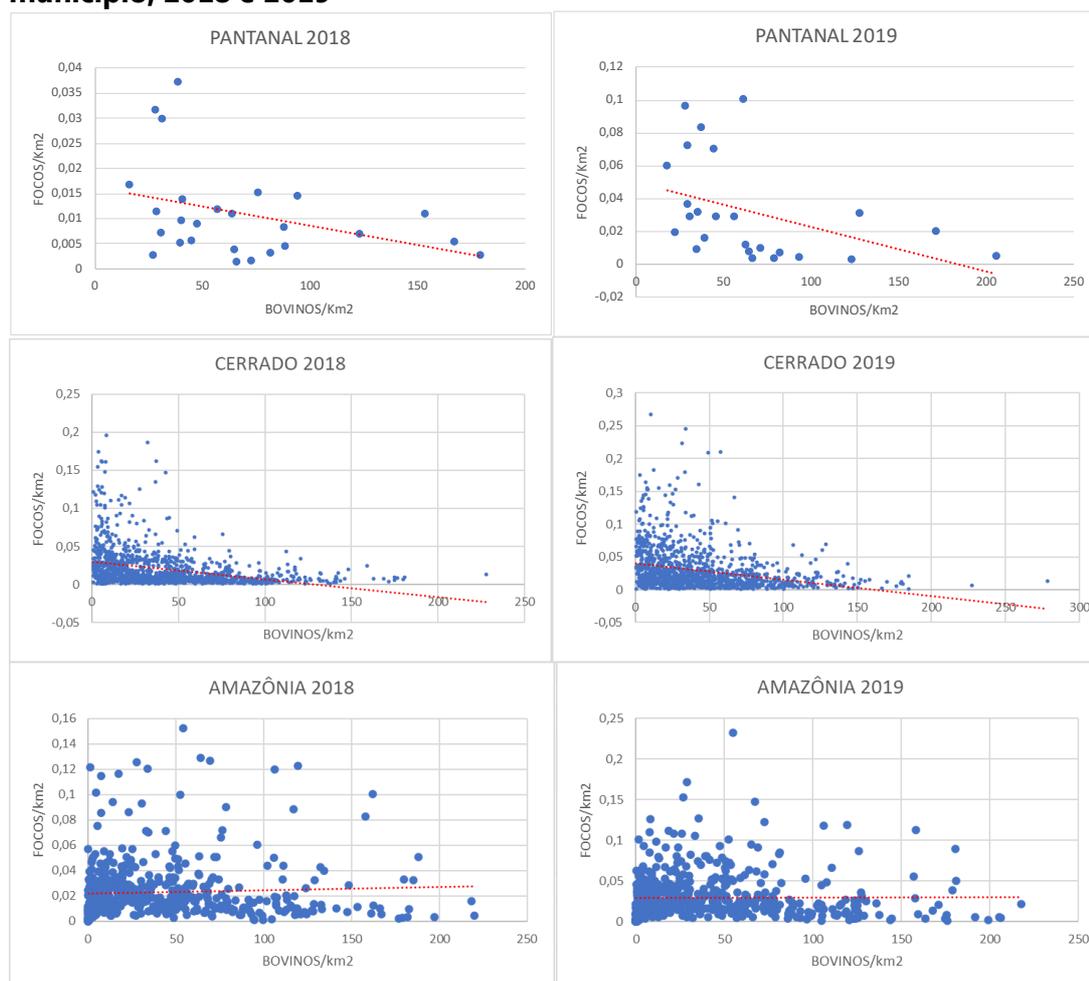
** Estatisticamente significativa com 95% de confiança

*** Estatisticamente significativa com 99% de confiança

Fontes: IBGE, INPE

Elaboração: SPE

Portanto, com exceção do bioma Amazônia, foram estimadas correlações negativas e significativas a uma significância de pelo menos 10% para todos os outros biomas. Isso indica que uma densidade de gado bovino acima da média em um município está associada a uma incidência de focos de incêndio por quilômetro quadrado abaixo da média no município considerado. Vale ressaltar que no bioma Amazônia não foi detectada correlação, nem positiva e nem negativa, uma vez que os resultados sugerem que a correlação é estatisticamente igual a zero. Os gráficos da Figura 2 ilustram as observações obtidas nos anos de 2018 e 2019, para os três biomas em questão.

Figura 2**Densidade do rebanho bovino e número de focos de incêndio por quilômetro quadrado no município, 2018 e 2019**

Avaliando as correlações entre a densidade dos rebanhos bovinos e o emissão média de energia de incêndios por quilômetro quadrado no município, observa-se pela tabela 4 que o sinal da correlação estimada foi negativa para dados do Brasil e dos biomas Cerrado e Pantanal, sendo significantes com 99% de confiança para Brasil e Cerrado. Para o Pantanal, as correlações estimadas foram mais fortes em valor absoluto, porém os resultados foram significantes com 90% de confiança em 2018 e não foram significantes em 2019. Nesse caso, o baixo número de observações pode ter contribuído



para esse resultado. Já no bioma amazônia, as correlações foram positivas porém sem significância estatística.

Tabela 4

Correlações entre a densidade do rebanho bovino e o FRP total dos focos de incêndio por quilômetro quadrado no município, por bioma selecionado, 2018 e 2019

Bioma – Ano	Coefficiente	Estatística-t	Número de observações
Brasil – 2018	-0,119	-7,61***	4.044
Brasil – 2019	-0,108	-7,20***	4.400
Amazônia – 2018	0,066	1,51	522
Amazônia – 2019	0,068	1,56	529
Cerrado – 2018	-0,238	-8,35***	1.164
Cerrado – 2019	-0,176	-6,22***	1.213
Pantanal – 2018	-0,356	-1,87*	26
Pantanal – 2019	-0,269	-1,34	25

* Estatisticamente significativa com 90% de confiança

** Estatisticamente significativa com 95% de confiança

*** Estatisticamente significativa com 99% de confiança

Fontes: IBGE, INPE

Elaboração: SPE

Como a dispersão entre as variáveis medidas pode não seguir padrão esférico e pelo fato de que os dados podem não ser distribuídos normalmente, fatos que poderiam prejudicar inferências com a estatística-t apresentada para o coeficiente de Pearson, foram também estimados coeficientes de correlação não-paramétricos de Kendall.

Qualitativamente, as conclusões foram muito parecidas, as análises de correlação feitas utilizando-se o método não paramétricos baseados em ranques de Kendall produziram apenas variações de magnitude, o que contribui para atestar a robustez dos resultados.

Conclusões

A fim de evitar a relação espúria existente entre o tamanho do rebanho bovino e o número de focos de incêndio em um município, essa nota procedeu a normalização dessas variáveis, dividindo-as pela área territorial do município, possível variável de confusão da correlação entre elas.

As correlações calculadas para essas proporções apresentaram-se negativas para todos os biomas estudados, exceto para o bioma Amazônia, que apresentou correlação estatisticamente nula.

Esses achados permitem concluir que, nos biomas Pantanal e Cerrado, a maior densidade de bovinos por quilômetro quadrado está associada a menor incidência de focos de incêndio por quilômetro quadrado em escala municipal. No bioma Amazônia essa correlação é não significativa. Em relação à correlação entre densidade de bovinos e FRP ponderado pela área do município das queimadas, constatou-se que a relação é significativamente negativa no bioma Cerrado, bem como no bioma pantanal em 2018 a 90% de nível de confiança e não-significativa no bioma Amazônia. A nota não fez nenhum teste de causalidade entre os pares de variáveis normalizadas.



Referências

Aldrich, J. (1995). Correlations genuine and spurious in Pearson and Yule. *Statistical science*, 10(4), 364-376.

Greenland, S., Robins, J. M., & Pearl, J. (1999). Confounding and collapsibility in causal inference. *Statistical science*, 29-46.

Myles Hollander, Douglas Wolfe (1999) *Nonparametric Statistical Methods*, Wiley.

Vermote, E., Ellicott, E., Dubovik, O., Lapyonok, T., Chin, M., Giglio, L., & Roberts, G. J. (2009). An approach to estimate global biomass burning emissions of organic and black carbon from MODIS fire radiative power. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D18).

Wooster, M. J., Roberts, G., Perry, G. L. W., & Kaufman, Y. J. (2005). Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D24).