

## QUEIMADAS E SAÚDE: UMA ANÁLISE DO CASO DE RIO BRANCO, ACRE

Thiago Morello<sup>1</sup>, Rubicleis Silva<sup>2</sup>, Sonaira Silva<sup>3</sup>, Alejandro Duarte<sup>4</sup>, Raimundo Maciel<sup>5</sup>, Demerval Moreira<sup>6</sup>, Liana Anderson<sup>7</sup>, Vera Reis<sup>8</sup>, Foster Brown<sup>9</sup>, Cleyton Santos<sup>10</sup>, Edi Reyna<sup>11</sup>

<sup>1</sup>UFABC, Alameda da Universidade s/n, São Bernardo do Campo, SP, fonseca.morello@ufabc.edu.br; <sup>2</sup>UFAC Rio Branco, Rodovia BR 364, Km 04, rubicleis@uol.com.br; <sup>3</sup>UFAC Cruzeiro do Sul, Estrada do Canela Fina, Km 12, Cruzeiro do Sul, AC, sonairasilva@gmail.com; <sup>4</sup>UFAC Rio Branco, alejandro@ufac.br; <sup>5</sup>UFAC Rio Branco, rcmaciell@ufac.br; <sup>6</sup>UNESP, Estrada Municipal José Sandrin, s/n, Bauru, SP, demerval@fc.unesp.br; <sup>7</sup>Cemaden, Estrada Dr. Altino Bondensan, 500, São José dos Campos, SP, liana.anderson@cemaden.gov.br; <sup>8</sup>UFAC Rio Branco, vlreis.reis21@gmail.com; <sup>9</sup>UFAC Rio Branco, fbrown@whrc.org; <sup>10</sup>UFAC Rio Branco, cluan33@gmail.com; <sup>11</sup>UFV, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, MG, efloreyciw4@gmail.com.

### RESUMO

É estimado o dano à saúde evitado pela redução do limite legal à queimada agropecuária, principal fonte de poluição atmosférica na Amazônia brasileira rural. Dados de atendimento primário a doenças respiratórias foram georreferenciados na escala de bairros do perímetro urbano de Rio Branco, tendo sido combinados com dado acerca do nível de profundidade óptica de aerossóis e cicatrizes de queimadas. Como resultado, a significância estatística do impacto das queimadas na contagem de doenças respiratórias mostrou-se robusta a múltiplas especificações econométricas e categorias de grupos afetados e de doenças. O dano à saúde evitado pela redução para zero das queimadas realizadas por pequenos produtores correspondeu a no mínimo 5,6% e no máximo 7% das doenças respiratórias detectadas na estação de queimadas (Agosto a Novembro).

**Palavras-chave** — queimadas, saúde respiratória, Amazônia, profundidade óptica de aerossóis, econometria.

### ABSTRACT

*It is estimated the economic value of the health damage avoided by the reduction of the legal limit to agricultural fires, the main source of air pollution in rural Brazilian Amazon. Outpatient data on respiratory illnesses were georeferenced at urban neighborhood scale, and then merged with data on aerosol optical depth and on burn scar. The statistical significance of the impact of agricultural fire on the count of respiratory illnesses was robust to multiple econometric specifications and classes of affected groups and diseases. The health damage avoided by the total ban on agricultural fires set by smallholders amounted to at least 6% and at most 8% of the respiratory illnesses detected during the fire season (August to November).*

**Key words** — fire, respiratory health, Amazon, aerosol optical depth, econometrics.

### 1. INTRODUÇÃO

O uso do fogo na agricultura é um problema de saúde global. Todos os anos, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, queimadas são realizadas para preparar a terra e eliminar resíduos da colheita, com grande impacto na saúde respiratória da população [1]. Um caso particularmente preocupante é o da área urbana do município de Rio Branco, Acre, habitada por 330 mil pessoas. Todos os anos, esta população é exposta à fumaça majoritariamente oriunda de queimadas utilizadas para preparar a terra para a agricultura [2]. Os governos do estado do Acre e do município de Rio Branco têm adotado uma série de medidas para reduzir as queimadas [3]. Em particular, tal prática é proibida, exceto para os pequenos produtores ( $\leq 400$  ha), os quais podem queimar até um hectare por ano [4]. Outras medidas em curso incluem o subsídio a formas de utilização da terra sustentáveis (p.ex., piscicultura e sistemas agroflorestais).

Procurando contribuir para o aprimoramento das políticas públicas vigentes, o presente artigo estima o dano à saúde evitado pela redução do limite legal à queimada, tendo como região de estudo o município de Rio Branco e suas imediações dentro de um raio de 100 km. São considerados três cenários para o nível de queimada de pequeno porte, nomeadamente: (i) nível vigente (mesmo sendo superior ao limite legal de um hectare), esta a linha de base, (ii) nível equivalente ao limite de 0,5 hectare, (iii) nível equivalente ao limite de zero hectare. Apenas queimadas praticadas por pequenos produtores ( $\leq 400$  ha) são consideradas, pois os demais grupos sociais estão sujeitos à proibição total. É assumido o pleno cumprimento da lei pelos proprietários de terra médios e grandes.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O dano evitado foi estimado como  $\Omega_B(L) = [\sum_{s=1}^9 \Delta HS(s, L) C_a(s)] C_b$ , sendo  $\Delta HS(s) \equiv$  número de queimadas evitadas, estimado com base na contagem de detecções pontuais de fogo ou “focos de calor”,  $C_a(s) \equiv$  efeito marginal das queimadas na poluição,  $C_b \equiv$  efeito marginal da poluição na contagem de doenças respiratórias. A letra “L” representa o limite de queimada permitido (0,5

ou zero hectare), e a letra “s” um subsetor da região de estudo (RE).

A abordagem estatística detalhada a seguir foi adotada para estimar o efeito das queimadas na saúde, seguindo diversos estudos anteriores [5,6,7]. A estimação do efeito das queimadas na contagem de doenças respiratórias foi realizada em dois estágios. No primeiro, estimou-se o efeito das queimadas no nível de profundidade óptica de aerossóis (POA), uma *proxy* para o nível de poluição atmosférica. No segundo estágio, estimou-se o efeito da POA na contagem de doenças respiratórias.

### 2.1.1. Primeiro estágio ( $Ca(s)$ )

Devido à complexa influência de múltiplos fatores climáticos e topográficos, o efeito das queimadas na POA é geralmente mensurado com base na variação espacial e temporal das duas variáveis [8, 9]. Por isso, a análise aqui perseguida combina a abordagem de séries de tempo com uma estrutura espacialmente explícita simples, conforme explicado no próximo parágrafo.

A região de estudo (RE) foi subdividida em “setores”, com base em uma grade com células de 10 km x 10 km. A grade foi refinada, excluindo-se células parcialmente exteriores à RE. O polígono que compreende a área urbana de Rio Branco (doravante “perímetro urbano”), ou, mais precisamente, seu centróide, foi tomado como referência para delimitar os setores e será aqui referido como “centro geográfico”. Ele está localizado a 2,04 km de distância da capital municipal. As células da grade foram agrupadas em nove setores em função de:

1. Distância do centróide da célula ao centro geográfico, discretizada em três classes, (a) zero a 10 km, (b) 10 a 50 km, (c) 50 a 100 km;
2. O ângulo formado pela linha reta que liga o centróide da célula e o centro geográfico, discretizado em quatro classes de acordo com o círculo trigonométrico, (a) 0 a 90 graus (primeiro quadrante / nordeste), (b) 90 a 180 graus (segundo quadrante / noroeste), (c) 180 a 270 graus (terceiro quadrante / sudoeste), (d) 270 a 360 graus (quarto quadrante / sudeste).

As células a um raio de 10 km do centro geográfico foram agrupadas em apenas um setor, “centro urbano”, cuja área corresponde, em 40%, ao perímetro urbano. Para cada setor da RE, foram compiladas séries de tempo abrangendo todos os meses de janeiro de 2010 a dezembro de 2016 e referentes à (i) detecções pontuais de fogo e (ii) direção do vento - mais precisamente, esta última série captura a média intra-setor da direção dominante do vento medida em graus com base no círculo trigonométrico. Adicionalmente, apenas para o setor “centro urbano”, a série temporal de POA foi compilada. Deve-se lembrar que o objetivo deste estágio é mensurar o efeito na fumaça detectada no centro urbano causado pelas queimadas detectadas nos demais setores, os quais, em sua maioria, correspondem à áreas rurais. Assim, na verdade a série de POA foi obtida para uma subdivisão do setor “centro urbano”, o perímetro urbano, região-alvo da pesquisa de preferência declarada referente à saúde. No

último passo, foram empregados modelos econométricos de séries de tempo para analisar os dados.

Todas as séries de tempo foram submetidas a testes de raízes unitárias para verificar sua estacionariedade. O segundo passo foi a estimação do modelo abaixo:

$$POA_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{fogo}_{t,s} + \beta_2 \cdot d_{\text{vento}_s} + \beta_3 \cdot \text{fogo}_s \cdot d_{\text{vento}_s} + u_{t,s}, \quad t = \text{Jan2010}, \dots, \text{Dec2016}, \quad s = 1, \dots, 9.$$

Em que “fogo”  $\equiv$  detecções pontuais de fogo,  $d_{\text{vento}}$   $\equiv$  variável binária indicando se a direção do vento aponta no sentido do centro urbano,  $u$   $\equiv$  termo de perturbação.

Os coeficientes estimados foram utilizados para obter o efeito marginal das queimadas detectadas em cada setor no nível de POA do perímetro urbano, como segue.

Efeito marginal estimado  $\equiv \beta_{1,s} + \beta_{3,s} \overline{d_{\text{vento}_s}}$ , em que  $\overline{d_{\text{vento}_s}}$  é a porcentagem de meses com vento soprando a partir do setor e na direção do centro urbano.

Deve notar-se que, ao medir estatisticamente a relação entre (i) queimadas observadas em um local de origem particular e (ii) poluição referente a um local de destino diferente, captura-se automaticamente muitas das forças por detrás da relação queimadas-fumaça. Por exemplo, o sincronismo dos picos e vales das séries de queimadas (origem) e de fumaça (destino) tende a ser menor, quanto maior a distância origem-destino e menos favorável é o vento ao transporte de partículas entre origem e destino [8]. Colocando de outra maneira, quanto menor o sincronismo entre a série de queimadas na origem e a série de poluição no destino, menos favorável à hipótese de que destino afeta origem é a evidência disponível. Esta é a ideia fundamental do teste estatístico para a significância do efeito marginal realizado.

Quanto às fontes dos dados, a série de POA foi obtida a partir do produto de aerossol de alta resolução MAIAC da NASA ([10]; píxeis de 1km). A série de focos de calor advém [11] (píxeis de 1km) e a série de velocidade do vento de [12] (píxeis de 50 km x 65 km).

### 2.1.2. Segundo estágio ( $C_b$ )

A forma geral do modelo estimado no segundo estágio é a seguinte:  $Y_{it} = \exp[\beta_0 + \alpha POA_{it} + X_i' \beta + d_{it}' \gamma + a_{it}] + u_t$ ,  $i=1, \dots, 128$ ,  $t=1, \dots, 12$

Com “i” indexando os bairros do perímetro urbano, “t” indexando meses da estação de queimadas, ou seja, agosto a novembro, dos anos 2014 a 2016, “Y” sendo a contagem de doenças respiratórias e “X”, um vetor de covariadas invariantes no tempo (conforme detalhado abaixo). Variáveis binárias indicando anos e meses estão subsumidas ao vetor  $d_{it}$ . Trata-se pois de um modelo para dados em painel (corte longitudinal). Assinale-se que o segundo estágio se circunscreveu, geograficamente, ao perímetro urbano de Rio Branco.

A estimação da forma geral foi realizada a partir de todas as combinações possíveis entre (i) modelos Poisson e binomial

negativo e (ii) estimadores de efeitos fixos, efeitos aleatórios e de média populacional.

Apenas foram considerados os meses da estação de queimadas para reduzir a probabilidade de que as doenças capturadas pela variável dependente tivessem outras causas que não a poluição gerada por queimadas (um procedimento comum na análise dose-resposta para queimadas na Amazônia, ver [2]). De fato, fontes distintas de poluição liberam quantidades distintas de poluentes, gerando, pois, impactos distintos à saúde.

A variável explicada foi obtida a partir de registros de atendimentos ambulatoriais em unidades administradas pelo governo municipal de Rio Branco. Os endereços dos pacientes foram atribuídos a bairros com a ajuda de um profissional de saúde municipal, ex-agente de endemias e especialista em sistemas de informação geográfica. Os endereços rurais não puderam ser georreferenciados (geralmente, faziam referência a uma estrada estadual, sem mencionar quilômetro ou referência). Foram consideradas oito definições para a variável dependente, incluindo a contagem total de doenças, contagens por faixa etária até 4 anos, 5 a 17 anos, 18 a 65 e acima de 65 anos e contagem por grupo de doença. Portanto, considerando todas as especificações econométricas e variáveis dependentes, um total de 48 modelos foram ajustados aos dados, cada um tendo sua estimação repetida 25 vezes (cada das vezes representando um procedimento bootstrap de 50 iterações).

As covariadas invariantes no tempo foram escolhidas a partir de estudos anteriores de funções dose-resposta para a relação entre poluição do ar e saúde ([5], [6], [7]). Elas capturam a disponibilidade de serviços de saúde pública (hospitais e unidades ambulatoriais), uma *proxy* para fontes veiculares de poluição (densidade de ruas), demografia (densidade e faixas etárias), renda e uma *proxy* para a riqueza (densidade de luzes noturnas).

### 2.1.3 Detecções pontuais evitadas ( $\Delta HS(s)$ )

A estimação das queimadas evitadas com a redução do limite à queimada foi feita a partir do cruzamento de mapas de cicatrizes de queimada com os limites de propriedades registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR). Os mapas de cicatrizes foram construídos a partir da classificação supervisionada de imagens Landsat-8 (30m de resolução) e Resourcesat (56m) para os meses de pico da estação de queimadas, dos anos 2014 a 2016 (para a metodologia, consultar [13]). Com base nisso, foi contabilizada a área total queimada na escala da propriedade fundiária.

O cálculo do dano requer estimativas do número total de queimadas evitadas em todos os setores da RE. Essas estimativas têm de ser, em consonância com o “primeiro estágio” (2.1.1), derivadas de mapas de detecções pontuais de queimadas. Porém, o limite à queimada, imposto por lei, se refere à área queimada. Para compatibilizar essas duas medidas diferentes de queimada, assegurando proporcionalidade, na escala dos setores da RE, a medida de área foi projetada na medida de detecção pontual. O que foi feito a partir de um modelo econométrico de dados em

painel, estimado na escala de propriedades fundiárias. Uma vez estimado o modelo, ele foi utilizado para prever o número de focos de calor em cada um dos três cenários considerados. Com isso, a estimativa para  $\Delta HS(s)$  correspondeu à diferença entre (i) a previsão para o nível corrente de queimadas e (ii) as previsões para os dois cenários com plena adequação a um limite mais restrito (meio ou zero hectare).

## 3. RESULTADOS

Foram estatisticamente significativos os efeitos (i) das queimadas no nível de fumaça (POA) e (ii) da fumaça na contagem de doenças respiratórias. No primeiro estágio, o motivo da significância foi notório, tratando-se da coincidência de picos nas séries de focos de calor e POA, em consonância com estudos anteriores ([8], [9]). As séries de tempo revelaram-se estacionárias, de modo que a correlação captada pelo efeito estimado não é espúria.

Os efeitos marginais setoriais da queimada na POA revelaram dois principais padrões. Primeiramente, os setores com maiores efeitos marginais localizaram-se à menor distância do perímetro urbano, desconsiderando-se o próprio setor em que se encontra tal perímetro – o que significa focar nos setores predominantemente rurais. Tem-se aí, pois, evidência quanto ao decaimento do efeito marginal com a distância entre o local em que a queimada ocorreu e o local de referência para medição da poluição. O que parece intuitivo uma vez tendo-se contabilizado o efeito da direção do vento ([8], [6]). Secundariamente, os setores do terceiro quadrante (sudoeste) tiveram os menores efeitos marginais dentro de cada uma das duas classes de distância (10 a 50 km e 50 a 100 km), o que é razoável, pois, nestes setores, o vento soprou na direção contrária à do centro urbano e à maior velocidade do que na maioria dos demais setores. Um terceiro fator aparentemente influente, além da distância origem-centro urbano e do vento, foi o número de focos de calor detectados em cada setor.

Quanto ao segundo estágio, o nível de POA teve efeito significativo (i) na contagem total de doenças respiratórias, (ii) nas contagens específicas para cada faixa etária (0 a 4 anos, 5 a 17 anos, 18 a 65 anos, acima de 65), e (iii) também nas contagens de ocorrências de Influenza e de todas as doenças excluindo Influenza e pneumonia. Porém, o efeito nas contagens de pneumonia não foi significativo, o que indica que a prevalência desta doença não esteve relacionada com o nível de fumaça observado na estação de queimadas nos anos de 2014 a 2016 e dentro do perímetro urbano de Rio Branco.

Para minimizar a incerteza deve-se levar em conta apenas as combinações modelo-estimador que (i) apresentaram efeito da POA significativo em mais de 80% das 25 repetições de estimação (iterações bootstrap) e (ii) foram robustas para os vieses de heterogeneidade e sobredispersão. Dentre estes modelos, o menor valor do efeito marginal foi de 0,006 caso de doença respiratórias por bairro/mês para aumento do

nível do POA em um centésimo. Este foi o coeficiente considerado, o qual conduziu a uma medida conservadora do dano total. Tal coeficiente implicaria em um aumento na contagem de doenças respiratórias para o perímetro urbano como um todo de 46 doenças/mês, caso o nível de POA aumentasse em 60 centésimos, o que fato ocorreu comparando novembro de 2015 a agosto de 2016.

Tomando-se os resultados dos três estágios (incluindo, pois, as estimativas de queimadas evitadas; seções 2.1.1 a 2.1.3), foram obtidas estimativas de doenças respiratórias geradas pelas queimadas detectadas em todos os setores da região de estudo. Resultou que a redução do limite de queimada evitaria um total de 1.247 doenças respiratórias agudas/ano (DRA/ano), prevalecendo o limite de meio hectare e de 1.393 DRAs/ano, para um limite final de zero hectare. Números esses que corresponderiam, respectivamente, a 5,62% e 6,27% do total de DRAs detectadas no perímetro urbano de Rio Branco, nos meses da estação de queimadas, tomando-se a média de 2014 a 2016 (agosto a novembro; 22.206 casos, 42% em 2014). Tais números passariam a 6,5% e 7,2% caso fossem consideradas apenas as doenças respiratórias detectadas na estação de queimadas de 2016 (agosto a novembro; 19.175 casos). A erradicação das queimadas realizadas por pequenos produtores, responsáveis por 70% da área queimada na RE, permitiria, pois, evitar de 5,6 a 7% das doenças respiratórias detectadas na estação seca.

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O artigo avaliou o dano à saúde evitado pelo aumento da severidade de uma lei que impõe um limite superior à extensão de terra queimada por pequenos produtores, único grupo social que, no estado do Acre, é autorizado a queimar. Como resultado, o efeito de tal mudança mostrou-se estatisticamente significativo, sendo o dano medido como número de doenças respiratórias evitadas no perímetro urbano de Rio Branco. Caso as queimadas fossem totalmente proibidas, seriam evitadas de 5,6% a 7% das doenças respiratórias registradas no período de queimadas.

O leste da região de estudo revelou-se prioritário para implementar as reduções do limite à queimada. A razão está no fato de que tal subregião apresentou 62% das pequenas propriedades ( $\leq 400$  ha) em que foram observadas queimadas superiores aos limites dos cenários de intervenção. A maioria das pequenas propriedades da porção leste da RE pertencem ao maior assentamento do Acre, PAD Pedro Peixoto, o qual abrange 57% de tal domínio geográfico. Esta evidência é coerente com estudos anteriores que detectaram alto nível de desmatamento e queimadas no PAD Pedro Peixoto [14]. Além disso, foi evidenciado não só que os focos de calor detectados no estado do Acre concentraram-se principalmente em assentamentos agrários, mas também que o leste do estado [15], que contém a porção leste da RE, apresentou o maior nível e taxa de crescimento da frequência de fogo.

Assinale-se que a decisão governamental quanto à intervenção a ser utilizada para reduzir as queimadas não deve ser tomada apenas em função do benefício aqui estimado. É preciso complementar os resultados apresentados com a estimação do custo enfrentado pelos pequenos produtores. Tal custo não é meramente contábil. Ele compreende o desconforto associado ao esforço de trabalho requerido pela nova prática agropecuária (relativamente à queimada), bem como eventuais perdas de produção decorrentes do processo de aprendizado quanto ao manejo da nova prática.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Cassou, Emilie. Field Burning. Agricultural Pollution;. World Bank, Washington, DC. © World Bank, 2018.
- [2] Silva, P. R. D. S., Ignotti, E., Oliveira, B. F. A. D., Junger, W. L., Morais, F., Artaxo, P., & Hacon, S. High risk of respiratory diseases in children in the fire period in Western Amazon. *Revista de saude publica*, 50, 2016.
- [3] CEGRA. Plano integrado de prevenção, controle e combate às queimadas e aos incêndios florestais do estado do Acre, 2013.
- [4] Acre. PORTARIA NORMATIVA Nº 004 DE 14 DE MAIO DE 2013. Diário oficial do Acre, Nº 11.050, 17/05/2013.
- [5] Deryugina, T., Heutel, G., Miller, N., Molitor, D., & Reif, J. The Effect of Pollution on Health and Health Care Utilization: Evidence from Changes in Wind Direction. Working paper, 2016.
- [6] Chagas, A. L., Azzoni, C. R., & Almeida, A. N. A spatial difference-in-differences analysis of the impact of sugarcane production on respiratory diseases. *Regional Science and Urban Economics*, 59, 24-36, 2016.
- [7] Mendonça, M. J. C., Diaz, M. D. C. V., Nepstad, D., da Motta, R. S., Alencar, A., Gomes, J. C., & Ortiz, R. A. The economic cost of the use of fire in the Amazon. *Ecological Economics*, 49(1), 89-105, 2004.
- [8] Mishra, A. K., Lehahn, Y., Rudich, Y., & Koren, I. Co-variability of smoke and fire in the Amazon basin. *Atmospheric Environment*, 109, 97-104, 2015.
- [9] Koren, I., Remer, L. A., & Longo, K. Reversal of trend of biomass burning in the Amazon. *Geophysical Research Letters*, 34(20), 2007.
- [10] Martins, V. S., Lyapustin, A., Carvalho, L. A. S., Barbosa, C. C. F., & Novo, E. M. L. M. Validation of high-resolution MAIAC aerosol product over South America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017.
- [11] INPE. Banco de dados de queimadas. Dados coletados para o “bioma Amazônia” e para o “satélite de referência”, 2017.
- [12] MERRA. Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA), NASA Giovanni website, 2017.
- [13] Silva, S. Dinâmica dos incêndios florestais no Estado do Acre. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2017.
- [14] IPEA and GIZ. Avaliação das políticas de desenvolvimento sustentável do Estado do Acre (1999-2012), 2014.
- [15] Anderson, L. O., Yamamoto, M., Cunningham, C., Fonseca, M. G., Fernandes, L. K., Pimentel, A., ... & Salazar, N. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(1), 2017.