

Exposição à luz do sol como fator protetor para COVID-19: aplicações do modelo de painel espacial dinâmico

Exposure to sunlight as a protective factor for COVID-19: applications of the dynamic spatial panel model

DOI: 10.55905/rcssv12n5-004

Received on: August 15th, 2023

Accepted on: September 15th, 2023

Jobson Maurilio Alves dos Santos

Doutor em Economia

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife

E-mail: joebsonmaurilio@gmail.com

Tatiane Almeida de Menezes

Doutora em Economia

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife

E-mail: tatianedemenezes@gmail.com

Flávia Emília Cavalcante Valença Fernandes

Doutora em Inovação Terapêutica

Instituição: Universidade de Pernambuco (UPE)

Endereço: Rua Tivinha Ramos Brandão, 51, São José, Petrolina

E-mail: flavia.fernandes@upe.br

Rodrigo Gomes de Arruda

Doutor em Economia

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife

E-mail: rodrigo.garruda@ufpe.br

Lyndon Jhonson Soares dos Santos

Mestre em Ciências Contábeis

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, CEP: 50670-901

E-mail: lyndon.soares@ufpe.br

RESUMO

Este trabalho objetivou mensurar o impacto da luz solar como fator protetor para morte pela COVID-19 nos estados brasileiros, uma vez que a exposição ao sol é uma das fontes mais utilizadas para absorção de vitamina D e o aumento dos seus níveis no organismo humano pode combater diversas patologias. Para isso, controlou-se os efeitos das características climáticas dos estados, das medidas de distanciamento social impostas compulsoriamente pelos governos estaduais através de decretos e da adesão da população ao isolamento social medido pelo índice de isolamento social. Além disso, controlou-se

os efeitos que as taxas referentes à COVID-19 sofrem no tempo e no espaço, fazendo uso de modelos espaciais dinâmicos para dados em painel. Os resultados mostraram que as taxas de morte pela COVID-19 no período corrente apresentam relação positiva e significativa tanto das taxas ocorridas no período anterior como daquelas ocorridas nos estados vizinhos no período corrente e na véspera ao fazer uso das variáveis defasadas no tempo e no espaço. As variáveis climáticas também se mostraram preditoras das taxas de mortes COVID-19, indicando que estados com maior número de horas efetivas de luz do sol, maior temperatura e maior humidade relativa, têm uma diminuição nas suas taxas de morte pela COVID-19.

Palavras-chave: *spillover* espacial dinâmico, luz solar, vitamina D, coronavírus.

ABSTRACT

This work aimed to measure the impact of sunlight as a protective factor for death from COVID-19 in Brazilian states, since exposure to the sun is one of the most used sources of vitamin D absorption and the increase in its levels in the human body can combat various pathologies. For this, the effects of the climatic characteristics of the states, the social distancing measures compulsorily imposed by state governments through decrees and the population's adherence to social isolation measured by the social isolation index were controlled. In addition, the effects that the rates related to COVID-19 suffer in time and space were controlled, making use of dynamic spatial models for panel data. The results showed that death rates from COVID-19 in the current period have a positive and significant relationship with both the rates that occurred in the previous period and those that occurred in neighboring states in the current period and the day before when making use of variables lagged in time and space. Climatic variables also proved to be predictors of COVID-19 death rates, indicating that states with a greater number of effective hours of sunlight, higher temperature and higher relative humidity, have a decrease in their death rates from COVID-19.

Keywords: dynamic spatial *spillover*, sun light, vitamin D, coronavirus.

1 INTRODUÇÃO

No começo do ano de 2020, a Organização Mundial de Saúde declarou (WHO, 2020) declarou a infecção pelo novo Coronavírus uma emergência de saúde pública de interesse internacional. A pandemia de Covid-19 vem representando desafios para o setor saúde, pesquisas e comunidades médicas (Fauci et al, 2020).

As condições climáticas das localidades têm sido alvo de pesquisas em busca dos fatores determinantes da COVID-19. Clima quente e maior humidade relativa do ar têm relação inversa com as taxas infecção da COVID-19, mostrando que regiões com essas características climáticas sofrem menos incidência da doença. Wang et al. (2020) investigaram a relação entre a COVID-19 e as condições climáticas de 100 cidades chinesas onde registrou-se mais de 40 casos confirmados da doença. O resultado mostrou

que lugares com temperaturas mais elevadas e maior humidade relativa do ar têm menos disseminação da COVID-19. Nesta mesma linha Paez et. al., 2020 aplicando um SUR espacial, para dados da Espanha encontra que altas temperaturas reduz tanto o número de casos como o número de mortes pela doença.

A literatura aponta que o aumento nos níveis de Vitamina D podem melhorar os desfechos clínicos ou até mitigar os piores desfechos em pacientes com a COVID-19 (Alipio, 2020). Encontrar a correlações entre a Vitamina D sobre os desfechos da COVID-19 consiste em uma grande contribuição, pois incentivará o desenvolvimento de pesquisas clínicas visando profilaxia para pandemia. Utilizando o nível de exposição diária a luz solar (insolação) como proxy para nível de vitamina D da População, o presente trabalho, emprega um painel espacial dinâmico e utiliza dados para o Brasil. Nesse contexto, busca mensurar o impacto da luz solar como fator protetor para disseminação e morte pela COVID-19 nos estados brasileiros.

Esta pesquisa está dividida em mais 3 seções além desta introdução. Na seção 2, têm-se a estratégia empírica e a apresentação dos dados utilizados no presente trabalho. Na seção 3, analisam-se os resultados e faz-se uma discussão dos principais achados. Por fim, na seção 4, tem-se a conclusão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ESTRATÉGIA EMPÍRICA

2.1.1 Dados

Na presente pesquisa, utilizou-se um banco de dados único com informações do Ministério da saúde sobre os casos confirmados, e os que resultaram em morte pela COVID-19 do dia 10 março a 10 de abril de 2020 nas unidades federativas do Brasil que são compostas de 26 estados e um Distrito Federal. Consta ainda no referido banco, informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) sobre as características meteorológicas dos estados brasileiros e o Índice de Isolamento Social desenvolvido pela Inloco¹.

Variáveis do estudo: Txdeaths - Taxa de mortalidade pela COVID-19 por 100 mil habitantes no estado i no dia t ; Sunhours - Número de horas de brilho do sol sem interferência de nuvens que as pessoas podem efetivamente se expor no estado i no dia t ;

¹ Empresa fundada em 2014 e sediada em Recife, com equipes em São Paulo, Nova York e na área da Baía de São Francisco. A Inloco conta hoje com dispositivos de 60M+ alavancando sua tecnologia de localização. <https://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br/pt/>

Temmin - Temperatura mínima no estado i no dia t ; Temmax - Temperatura máxima no estado i no dia t ; dTxemp - Taxa de crescimento da temperatura no estado i no dia t ; Humid - Umidade relativa do ar (em percentual) no estado i no dia t ; Precip - Precipitação pluviométrica (em milímetros) no estado i no dia t ; Lockdown - *Dummy* que assume valor igual a 1 se o estado i decretou alguma medida de isolamento social no dia t ; Sii - Percentual da população que está seguindo as recomendações de isolamento social no estado i no dia t (i o número total de estados já conta com o Distrito Federal).

2.1.2 Modelos dinâmicos para dados em painel e a sua versão para dados espaciais

As estimações da associação entre as taxas da COVID-19 e as horas efetivas de luz solar, sem interferência de nuvens, nos estados brasileiros foram realizadas para um período de 32 dias através da estimação para dados em painel e sua versão para dados espaciais. O modelo para dados em painel é dado em (1).

$$y_{it} = \varphi y_{it-1} + x'_{it}\beta + a_i + \mu_{it} \quad (1)$$

Onde:

y_{it} é a taxa de morte da COVID-19, no estado i no dia t ; φy_{it-1} é a taxa de prevalência (e de morte) da COVID-19, no estado i no dia $t-1$; x'_{it} é o vetor de covariáveis utilizadas como controles; a_i é o conjunto de variáveis não observadas invariante no tempo e μ_{it} é o termo de erro aleatório.

Para mensurar o efeito *spillover* das taxas de COVID-19, usou-se o *Spatial Autorregressive Model* (SAR) em (2) que, além de mensurar o efeito transbordamento das taxas de morte pela COVID-19 para além das fronteiras dos estados, resolve o problema de viés de variável omitida espacial que torna a estimação da eq. (1) enviesada e inconsistente. Esse modelo possibilita incorporar diversas características do comportamento das variáveis através do espaço na modelagem econométrica (Elhorst, 2010, 2011).

$$y_{it} = \varphi y_{it-1} + \psi W y_{t-1} + \rho W y_t + x'_{it}\beta + a_i + \mu_{it} \quad (2)$$

Onde:

Wy_t é taxa de morte da COVID-19 dos estados vizinhos ao estado i no dia t ; Wy_{t-1} é taxa de morte da COVID-19 dos estados vizinhos ao estado i no dia $t-1$ e W é a matriz de ponderação espacial que captura a interação entre regiões com fronteiras em comum (Lesage; Pace, 2009).

Além do efeito *spillover* da taxa de COVID-19, as covariáveis também podem apresentar tal efeito. Nesse caso, o modelo de regressão utilizado será o *Spatial Durbin Model* (SDM) em (3) (Guliyev, 2020).

$$y_{it} = \varphi y_{it-1} + \psi W y_{t-1} + \rho W y_t + x'_{it} \beta + W X_t \delta + a_i + \mu_{it} \quad 3)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os modelos econométricos para as taxas de mortalidade da COVID-19 nos estados do Brasil. Os resultados obtidos no modelo SDM dinâmico mostram que os óbitos em decorrência da COVID-19 são influenciados pela quantidade de óbitos ocorridos no dia anterior ($txdeaths_{t-1}$) e pelas mortes por COVID-19 ocorridas nos estados vizinhos tanto no momento corrente ($Wtxdeaths_t$) quanto na véspera ($Wtxdeaths_{t-1}$), pois o valor de seus coeficientes foram positivos e fortemente significativos ($p\text{-value} < 1\%$), indicando que estados que apresentaram aumentos nas taxas de mortalidade no dia anterior e que são vizinhos de outros estados com aumentos das mesmas taxas no período corrente e na véspera, terão maiores taxas de mortalidades ocasionadas pelo novo coronavírus.

Os resultados mostram também a importância das variáveis climáticas na determinação dos óbitos pela COVID-19. Aumentos na quantidade efetiva de luz do sol a qual as pessoas se expõem ($Sunhours$), na temperatura máxima ($Tempmax$), na humidade relativa do ar ($Humid$) no índice de isolamento social (Sii) e a adesão a medidas de isolamento social ($Lockdown$) fazem os números de óbitos diminuir nos estados brasileiros. O contrário ocorre para aumentos nas variáveis de $Precip$, $tempmin$ e $dTxtemp$, indicando que estados com maiores precipitações pluviométricas, mais frios e com maiores diferenças entre as temperaturas mínima e máxima, experimentam maiores quantidades de óbitos pela COVID-19 (Tabela 1).

Tabela 1. Estimação dos modelos dinâmicos para dados em painel e suas versões espaciais para as taxas diárias de mortes pela COVID-19 nos estados brasileiros de dez de março a dez de abril de 2020.

Variáveis Independentes	Variável dependente: Txdeaths		
	OLS	SAR	SDM
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Txdeaths _{t-1}		1.18*** (0.03)	1.89*** (0.03)
Wtxdeathst ₋₁		2.17*** (0.05)	1.36*** (0.05)
Wtxdeaths		-1.39*** (0.04)	0.51*** (0.03)
Sunhours	0.00(0.00)	-0.03*** (0.00)	-0.03*** (0.00)
Precip	-0.00(0.00)	0.00*** (0.00)	0.00*** (0.00)
Humid	-0.00(0.00)	-0.00*** (0.00)	-0.00*** (0.00)
dTxtemp	7.51(4.33)	441.28*** (1.02)	289.44*** (0.99)
Tempmin	0.03(0.02)	1.71*** (0.00)	1.14*** (0.00)
Tempmax	-0.03*(0.01)	-1.14*** (0.00)	-0.75*** (0.00)
Lockdown	0.07*** (0.01)	-0.05*** (0.00)	-0.14*** (0.00)
Sii	0.00(0.00)	-0.02*** (0.00)	-0.04*** (0.00)
Constante	0.00(0.15)		
Defasagens Espaciais (Wx)			
Sunhours			-0.09*** (0.00)
Precip			0.01*** (0.00)
Humid			0.00*** (0.00)
dTxtemp			1203.72*** (1.83)
Tempmin			4.61*** (0.01)
Tempmax			-3.04*** (0.00)
Lockdown			-0.18*** (0.01)
Sii			-0.02*** (0.00)
Obs.	864	837	837
Moran _a	0.30***	-	-
Akaike	-	-4075.6	-4082.95
Schwarz	-	-4018.84	-3988.36

Nota: [i] o número total de estados já conta com o Distrito Federal; [a] Índice de Moran que mede a autocorrelação espacial global presente nos dados. [ii] erro padrão entre parênteses; [#] os modelos SAR e SDM dinâmicos utilizam o primeiro dia da amostra como valor de referência, resultando em menos observações que no modelo OLS. [iii] *, **, *** indica significativos estatisticamente aos níveis 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os efeitos dinâmicos das taxas de letalidade da COVID-19 se mostraram importantes preditores de tais taxas no período corrente, indicando que o crescimento dos casos de morte pela COVID-19 é retroalimentado pelos casos do período anterior ocorridos tanto nos estados que servem de unidade de observação quanto nos estados vizinhos. Gatto et al. (2020) mostrou que as taxas de disseminação da COVID-19 crescem de forma exponencial com o passar dos dias, o que enseja medidas de isolamento social para frear o avanço do contágio.

As interações entre os estados brasileiros ocorridas pela proximidade geográfica destes resultam em um efeito *spillover* de das mortes pela COVID-19, indicando que estados que estão cercados por vizinhos com altas taxas de mortes relacionadas à COVID-19 sofrem um aumento nas suas taxas. Este resultado também está em conformidade com outros como em Guliyev (2020) e Snyder; Parks (2020).

As condições climáticas dos estados também se revelaram determinantes das taxas de disseminação e de óbitos em decorrência da COVID-19, com destaque para a quantidade de horas efetivas que o sol brilha, isto é, sem interferência de nuvens (Wang et al., 2020). As horas efetivas de brilho do sol permitem que as pessoas, ao se expor ao sol, melhorem os níveis de vitamina D no organismo (Lips, et al 2014). Esta é uma forma eficaz de melhorar o sistema imunológico e combater diversos tipos de patologias (Cantorna, 2010; Brot et al., 2001).

Diversas pesquisas têm associado maiores níveis de vitamina D no organismo ao combate a infecções do trato respiratório dentre as quais destacam-se o vírus influenza e o novo coronavírus (Grant et al, 2020). A ação desse nutriente no organismo faz, dentre outras coisas, diminuir a replicação dos vírus no corpo humano e, com isso, diminui os danos causados a órgãos como os pulmões. A influência da incidência de luz do sol sobre os casos da COVID-19 nos estados brasileiros obteve resultados que corroboram com os achados mais recentes da literatura, uma vez que esta variável é a fonte mais utilizada pelas pessoas, voluntária ou involuntariamente, para absorção de vitamina D e, desta forma, conseguiu-se verificar a existência de correlação negativa entre as horas de luz solar e as taxas de óbito pela COVID-19. As demais variáveis climáticas tiveram os resultados esperados. Nas estimações realizadas constatou-se que estados com maiores níveis de temperatura máxima e maior humidade têm menos casos de letalidade da COVID-19 como em Wang et al. (2020).

Os atuais números referentes à COVID-19 são atribuídos, em muitos casos, às decisões dos líderes políticos das localidades (Allcott et al., 2020; Gadarian et al., 2020). Desta forma, procurou-se controlar o efeito das decisões políticas nos modelos de regressão propostos nesse trabalho. Os resultados obtidos mostraram que estados onde adotou-se políticas de isolamento social enfrentam menores taxas de mortes pela COVID-19. Esta política de isolamento social tem sido recomendada como uma forma eficaz de evitar uma disseminação descontrolada do novo coronavírus e o colapso do sistema de saúde (Gatto et al., 2020; Toda, 2020). Estes resultados estão em consonância com os achados de Ajzenman, et al (2020) e Mariani, et al (2020).

4 CONCLUSÃO

Esta pesquisa buscou avaliar os efeitos dinâmicos das taxas de letalidade da COVID-19 que se mostraram importantes preditores de tais taxas no período corrente.

Assim, utilizando um modelo espacial dinâmico, os resultados gerados indicam que o crescimento dos casos de morte pela COVID-19 é retroalimentado pelos casos do período anterior ocorridos tanto nos estados que servem de unidade de observação quanto nos estados vizinhos.

As variáveis explicativas climáticas apresentaram os resultados esperados com destaque para as horas efetivas de luz do sol. Verificou-se também que estados com maiores níveis de temperatura e de humidade relativa do ar apresentam menores índices de morte pela COVID-19. Estados onde os governadores adotaram, por força de decreto, medidas de isolamento social, como o *Lockdown* e outras formas mais brandas, tiveram redução nas taxas de mortalidade. Resultado semelhante foi verificado em estados onde a população se mostrou mais disposta a seguir as medidas de distanciamento social, mensuradas pelo índice de isolamento social, indicando que quanto maior o nível de isolamento social, menores os de morte pela COVID-19.

As defasagens espaciais das covariáveis utilizadas no modelo dinâmico de regressão também se mostraram significantes para explicar as taxas nos estados, mostrando que os fatores climáticos e as medidas de isolamento social geram efeitos na mortalidade não só nos estados onde ocorrem, mas também nos estados próximos. Este resultado sugere que políticas inter-regionais de combate à COVID-19 sejam adotadas como forma de salvar vidas e reduzir os impactos da pandemia sobre a economia e sobre a saúde da população.

REFERÊNCIAS

- AJZENMAN, N.; CAVALCANTI, T.; DA MATA, D. More Than Words: Leaders' Speech and Risky Behavior during a Pandemic (April 22, 2020). **SSRN**: <https://ssrn.com/abstract=3582908> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3582908>.
- ALIPIO, M. Vitamin D Supplementation Could Possibly Improve Clinical Outcomes of Patients Infected with Coronavirus-2019. **SSRN**: <https://ssrn.com/abstract=3571484> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3571484>.
- ALLCOTT, H.; BOXELL, A.; CONWAY, J.; GENTZKOW, M.; THALER, M.; YANG, D. Polarization and public health: partisan differences in social distancing during the coronavirus pandemic. **NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH Working Paper**. 2020. <http://www.nber.org/papers/w26946>
- BROT, C.; VESTERGAARD, P; KOLTHOFF, N.; GRAM, J.; HERMANN, A.; SÜRENSEN, O. Vitamin D status and its adequacy in healthy Danish perimenopausal women: relationships to dietary intake, sun exposure and serum parathyroid hormone. **British Journal of Nutrition**. v. 86, Issue S1, August 2001, p. S97-S103.
- CANTORNA, M. T. (2010). Mechanisms underlying the effect of vitamin D on the immune system. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.69, n.3, 286-289.
- ELHORST, J. P., **Spatial Panel Data Models**, Springer, chapter 2, p. 377–407, 2010.
- ELHORST, J. P., 'Dynamic spatial panels: models, methods, and inferences', *Journal of Geographical Systems*, v. 14, n. 5–28, 2011.
- FAUCI, A. S.; LANE, H. C.; REDFIELD, R. R. Covid-19 - Navigating the Uncharted. **The New England journal of medicine**, v. 382, n. 13, p. 1268–1269, 2020.
- GADARIAN, K. GOODMAN S, PEPINSKY, S. W.; THOMAS, B., Partisanship, Health Behavior, and Policy Attitudes in the Early Stages of the COVID-19 Pandemic (March 27, 2020). Disponível em: **SSRN**: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3562796> >.
- GATTO, M.; BERTUZZOB, E.; MARIA, L.; MICCOLID, S.; CARRARO, L.; CASAGRANDIA, R.; RINALDO, A. Spread and dynamics of the COVID-19 epidemic in Italy: Effects of emergency containment measures. **PNAS**. May 12, 2020 117 (19) 10484-10491; first published April 23, 2020 <https://doi.org/10.1073/pnas.2004978117>.
- GRANT, W.; LAHORE, H.; MCDONNELL, S.; BAGGERLY, C.; FRENCH, C.; ALIANO, J.; BHATTOA, H. Evidence that Vitamin D Supplementation Could Reduce Risk of Influenza and COVID-19 Infections and Deaths. **Nutrients Review**. 2020.
- GULIYEV, H. Determining the spatial effects of COVID-19 using the spatial panel data model. **Spatial statistics**. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2020.100443> 2211-6753/© 2020.
- LESAGE, J. P.; PACE, R. K. **Introduction to Spatial Econometrics**. Chapman and Hall/CRC Press, 2009.

LIPS, P.; SCHOOR, N.; JONGH, R. Diet, sun, and lifestyle as determinants of vitamin D status. **Ann. N.Y. Acad. Sci.** 1317, 2014, 92–98 C_ 2014 New York Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1111/nyas.12443>.

MARIANI, L.; GAGETE-MIRANDA, J.; RETTL, P. Words can hurt: How political communication can change the pace of an epidemic. **Covid Economics**. Issue 12, 1 May, 2020.

PAEZ, A., LOPEZ, F. A., MENEZES, T., CAVALCANTI, R., & PITTA, M. G. D. R. A Spatio-Temporal Analysis of the Environmental Correlates of COVID-19 Incidence in Spain. **Geographical Analysis**. v. 0, 2020. Disponível em: < doi: 10.1111/gean.12241>.

SNYDER, B.; PARKS, V. Spatial Variation in Socio-ecological Vulnerability to COVID-19 in the Contiguous United States. 2020. Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3587713>

TODA, A. Susceptible-Infected-Recovered (SIR) Dynamics of COVID-19 and Economic Impact. *arXiv:2003.11221 [q-bio.PE]* 2020.

WANG, J. TANG, K. FENG, K. LV, W. High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19 (March 9, 2020). Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3551767>.

WHO, World Health Organization. Declaração do diretor-geral da OMS sobre o Comitê de Emergência do RSI sobre o novo coronavírus (2019- nCoV). Geneva: World Health Organization, 2020. Disponível em: [https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-statement-on-ihf-emergency-committee-on-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-statement-on-ihf-emergency-committee-on-novel-coronavirus-(2019-ncov))