

Clima e COVID 19: as relações entre a temperatura do ar, radiação solar e os novos casos diários em Ponta Grossa, PR

Climate and COVID 19: the relation between air temperature, solar radiation and new daily cases in Ponta Grossa, PR, Brazil

Clima y COVID 19: relaciones entre la temperatura del aire, radiación solar y los nuevos casos diarios en Ponta Grossa, PR, Brasil

Gilson Campos Ferreira da Cruz

<https://orcid.org/0000-0002-7804-7998>

gilsoncruz@uepg.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR

Resumo: O mundo vive um momento de apreensão, que teve início no final de 2019 e que se estendeu por todo os anos de 2020/21, o qual corresponde ao período da pandemia da Covid 19. A doença chegou ao Brasil no final de fevereiro e se espalhou por todo o país. Em Ponta Grossa, o primeiro caso de transmissão comunitária ocorreu em 26/05/2020. A partir desta data foi possível estabelecer correlações entre o Clima e a Covid 19, considerando as variáveis: temperatura do ar (máxima, média e mínima) e radiação solar, objetivo geral deste trabalho. Com a elaboração de gráficos e tratamento estatístico dos dados, foi possível determinar a correlação entre as variáveis climáticas e os novos casos diários da Covid 19. Ressalta-se que é necessário dar continuidade à pesquisa para compreender melhor o momento que estamos vivendo e as relações supracitadas.

Palavras-chave: Pandemia, Coronavirus, Variáveis Climáticas, Clima Urbano.

Abstract: The world is experiencing a moment of apprehension, which began in late 2019 and extended throughout the years 2020/21 which corresponds to the pandemic period of Covid 19. The disease arrived in Brazil in late February and spread all over the country. In Ponta Grossa, it arrived a few months later and the first case of community transmission occurred on 05/26/2020. From this date on, it was possible to establish correlations between the climate and Covid 19, considering air temperature (maximum, average, and minimum) and solar radiation, the main goal of this paper. With the elaboration of graphs and statistical treatment of the data, it was possible to determine the correlation between climatic variables and the new cases of Covid 19. It should be noted that it is necessary to continue the research to better understand the moment we are living and the mentioned relationships.

Keywords: Pandemia. Coronavirus, Climate Variables, Urban Climate.

Resumen: El mundo vive un momento de preocupación que tuvo inicio a fines del 2019 y se extendió durante todos los años de 2020/21, periodo que corresponde a los

meses de pandemia de la Covid 19. La enfermedad llegó a Brasil a fines de febrero y se expandió por todo el país. A Ponta Grossa el primer caso de transmisión comunitaria ocurrió el 26/05/2020. A partir de esta fecha se tornó posible establecer correlaciones entre el clima y la Covid 19 al considerarse las variables: temperatura del aire (máxima, media y mínima) y radiación solar, objetivo general del presente trabajo. Con la elaboración de gráficas y tratamiento estadístico de los datos fue posible determinar la correlación entre las variables climáticas y los nuevos casos diarios da Covid 19. Es de destacar que es necesario dar continuidad a la investigación para comprender mejor el momento que estamos viviendo las relaciones mencionadas.

Palabras clave: Pandemia, Coronavirus, Variables Climáticas, Clima Urbano.

INTRODUÇÃO

O mundo vive desde março de 2020 em meio a pandemia da Covid 19, síndrome respiratória grave, causada pelo SARS-CoV-2, um vírus da família do Coronavírus, que teve início em Whuran, na China, no final de 2019, inicialmente como uma epidemia com os primeiros casos confirmados em janeiro de 2020.

Apesar de o primeiro Coronavírus ter sido identificado em 1960, em função de epidemias que ocorreram à época, sabe-se que se trata de uma família de vírus que ataca tanto o homem, como animais domésticos e selvagens. Segundo informações que foram divulgadas até o momento da realização da pesquisa, o início da pandemia ocorreu em um mercado de animais vivos, muito comum na China. Contudo ainda existem dúvidas sobre esta origem e a Organização Mundial da Saúde (OMS) pretende realizar novas investigações para determinar a verdadeira origem da pandemia (Cohen, 2020).

Em 11 de março de 2020 a Organização Mundial da Saúde, diante da disseminação da doença pelo mundo, declarou que o mundo estava vivendo uma Pandemia da Covid 19, fato este que se confirmou com o passar dos dias (Organização das Nações Unidas, [ONU], 2020).

No início da pandemia, as pesquisas apontavam para muitas incertezas, até porque naquele momento a pandemia estava ocorrendo, basicamente no hemisfério norte e em condições de inverno. Na medida em que o tempo passou e a pandemia se expandiu para todo o planeta, inclusive em regiões nas quais estava terminando o verão, outras dúvidas surgiram, principalmente em função da sua disseminação em países e cidades de clima quente e úmido (Lipsitch, 2020).

Segundo Sajadi et al. (2020), a Covid 19 inicialmente se espalhou por uma faixa de latitude entre 30° e 50° de latitude norte, em condições de temperatura entre 05°C e 11°C, no entanto, ainda era o início da pandemia.

O tempo que o vírus permanece ativo no ambiente depende das características da superfície e das condições observadas no ar, principalmente, com relação as condições climáticas, sendo que com relação a estas, três elementos do clima podem ser destacados: a temperatura do ar, a umidade do ar (relativa e absoluta) e a radiação solar (Sagripanti & Lytle, 2020).

A influência das nuvens na quantidade de radiação UV que chega à superfície foi abordada por Calbó, Pagès e González (2005), quando afirmam que diferentes condições interferem na quantidade de radiação UV que chega à superfície, como fatores astronômicos, ozônio, nuvens, aerossóis, albedo e altitude. As nuvens constituem um fator que provoca uma grande variabilidade na incidência da radiação solar, pois esta influência vai depender de sua densidade, espessura, altura e tempo de atuação no seu bloqueio.

O novo Coronavírus pode ser inativado pela radiação UV, assim como outros vírus. Desta forma a análise dos índices de radiação que chegam à superfície em uma determinada região, em maior ou menor quantidade, também pode ajudar a explicar uma maior ou menor expansão da Covid 19 (Sagripanti & Lytle, 2020). Ainda segundo Sagripanti & Lytle (2020), a sensibilidade do novo Coronavírus a radiação UV e a inativação de 90% do SARS-CoV-2 ocorre após exposição ao sol do meio-dia, por um período de tempo que pode variar entre 11 e 34 minutos.

Com o passar do tempo a Covid 19 continuou se espalhando, atingindo quase todos os países do mundo, independente da estação do ano, o que mostra que um dos fatores limitantes dos seres vivos, a temperatura, que pode variar de 3°C a 17°C aproximadamente para o SARS-CoV-2, não tem impedido a disseminação do vírus (Bukhari & Jameel, 2020).

Na medida em que a Covid 19 foi evoluindo, chegou nos países tropicais e subtropicais e o que mais chamou a atenção foi que isto ocorreu no hemisfério sul ainda no verão, em cidades com temperaturas ainda elevadas à época, como no caso de São Paulo, na região Sudeste, e em cidades tradicionalmente quentes, como Manaus e Belém, na região Norte do país. A disseminação ocorreu com temperaturas médias de 27,5°C e umidade relativa próximo a 80% (Prata, Rodrigues & Bermejo, 2020; Auler, Cássaro, Silva & Pires, 2020).

Nas regiões onde o clima sofre fortes influências das massas de ar frias, as alterações nas condições de tempo, antes, durante e após a passagem das frentes são características importantes para se estabelecer correções entre fenômenos climáticos e antrópicos. Antes da passagem de uma frente fria ocorre a pré-frontal, onde se formam principalmente nuvens do tipo *Cirrus*, dominam ventos do norte, a temperatura aumenta e a pressão diminui, quando o tempo fica abafado, porém com condições relativamente estáveis (Ynoue, Reboita, Ambrizzi & Da Silva, 2017). Durante o avanço da área de contato entre as massas de ar frias e quentes sobre a região, ocorre a frente fria, com chuvas frontais, ventos variados, a temperatura diminui, a pressão atmosférica se mantém, e a formação dominante de nuvens baixas leva à instabilidade do tempo (Fedorova, 2001). Depois que o sistema frontal passa por uma região, temos o pós-frontal, com domínio de céu limpo ou parcialmente nublado com *Cumulus* e *Stratus*, as temperaturas continuam caindo, a pressão aumenta e os ventos de sul prevalecem, porém com tempo estável (Ynoue et al., 2017).

No sul do Brasil, pelas suas características climáticas, havia uma expectativa de que a pandemia se disseminasse mais rápido, porém esta demorou mais tempo para atingir a região e se espalhar, em parte pelas medidas tomadas de isolamento e distanciamento social, assim como em função de um ano atípico no que diz respeito as condições climáticas nas quatro estações, visto que o verão apresentou chuvas abaixo e temperaturas acima da média histórica. O outono apresentou temperaturas abaixo da média, com o mês de maio

entre os mais frios da série histórica, com entradas de frentes frias. O inverno se apresentou com temperaturas e precipitações abaixo da média histórica.

No começo de 2020, quando começaram a aparecer os primeiros casos da Covid 19 no Brasil, a pesquisa desenvolvida sobre o Clima Urbano de Ponta Grossa passou a ser utilizada para ajudar a entender a ocorrência da doença na cidade, período esse que se estendeu, aproximadamente, do último terço do outono até a terceira semana da primavera, com o maior número de casos concentrados no inverno de 2020. O primeiro caso da Covid 19 foi registrado em Ponta Grossa em 21 de março de 2020, porém para esta pesquisa optou-se como recorte temporal a estação do ano mais importante para a disseminação dos vírus respiratórios, o inverno, e a data do primeiro caso de transmissão comunitária da Covid 19 (26 de maio de 2020).

Nas primeiras semanas a relação entre os novos casos diários da Covid 19 e as variáveis climáticas (temperaturas máxima, média e mínima, e radiação solar) ainda eram quase imperceptíveis. Porém, na medida em que o tempo foi passando, mais massas de ar frias foram chegando à região, a nebulosidade foi se intensificando, com quedas na temperatura, o que poderia evidenciar a relação entre o clima e a Covid 19. Somado a tudo isto ocorria nesse momento uma liberação parcial do comércio, o que diminuiu o distanciamento e isolamento social e aumentou o contato entre as pessoas.

Era então esperado que os estados do Sul do país poderiam vivenciar o crescimento da pandemia com a aproximação e chegada do inverno, fato que se confirmou. Apesar da pandemia ainda estar em pleno desenvolvimento em outras regiões do país, foi no Sul em que ela aconteceu de forma mais agressiva durante os três meses do inverno e nas primeiras semanas da primavera. Assim, o objetivo principal desta pesquisa foi analisar as relações entre os novos casos da Covid 19 e o clima em Ponta Grossa, levando em consideração o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar e da radiação solar.

MATERIAL E MÉTODO

Para a realização desta pesquisa foram utilizados dados secundários da Covid 19 disponibilizados na internet pela Secretaria de Saúde do Município de Ponta Grossa (Painel Saúde, 2020), e dados climáticos ou meteorológicos gerados pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Sistema de Monitoramento Agrometeorológico da Fundação ABC (2020) - temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) e radiação (MJ/m²/dia).

O levantamento de dados meteorológicos foi feito a partir do dia 13 de maio, 14 dias antes da data da primeira transmissão local, sendo que o período entre 21/05 e 10/11/2020, foi o que se mostrou o mais adequado. O recorte temporal utilizado levou em consideração a data da primeira transmissão comunitária, a divisão da série em períodos menores de 14 dias, de acordo com o tempo máximo de incubação definido pela Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*, 2020) e ratificada no Brasil como tempo de duração da quarentena pelo Ministério da Saúde (Portaria n. 356, 2020) - neste trabalho denominado de período pandemiológico.

Foram determinados o Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Regressão Linear Múltipla e o seu Coeficiente de Determinação (R^2) para o mesmo recorte temporal, de aproximadamente cinco meses.

O Coeficiente de Correlação de Pearson (r) é expresso por:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Por se tratar de um coeficiente que varia de -1 a +1, os valores negativos indicam que se os valores de uma variável aumentam enquanto os da outra diminuem; quando os valores são positivos, significa que ambos os valores das variáveis aumentam. Quanto mais próximo do -1 ou do +1, mais perfeita é a correlação (Wilks, 2006).

Para o tratamento estatístico e análise dos dados por meio da Regressão Linear Múltipla (Alcoforado & Andrade, 2006; Storch & Zwiers, 2003; Wilks, 2006) empregou-se a seguinte equação:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2)$$

Este Coeficiente varia entre 0 e 1, podendo ser expresso em termos percentuais. Trata-se de um coeficiente que permite avaliar qual percentual de variação de y é explicada pela variação de x (Storch & Zwiers, 2003).

ÁREA DE ESTUDO

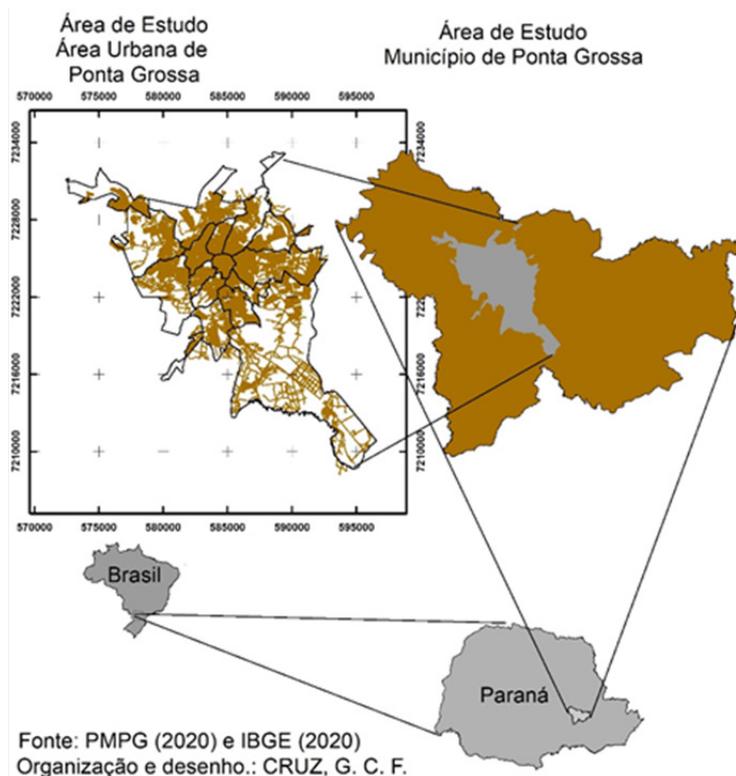
Esta pesquisa foi realizada na área urbana do município de Ponta Grossa, uma cidade média do estado do Paraná, Brasil (Fig. 1).

A cidade conta com aproximadamente 355.336 hab., segundo estimativa do IBGE para o ano de 2020. Considerando que em 2010 97,79% da população era urbana, isto corresponde a uma estimativa para 2020 de 347.483 hab. urbanos e 7.852,9 hab. na área rural, respectivamente. A densidade demográfica do município, ainda com base na estimativa 2020, é de 169,93 hab./Km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2020).

Segundo Cruz (2009), o clima predominante na região é do tipo Cfb, considerando a classificação climática de Koppen/Geiger, e Subtropical no caso da classificação de Strahler. Trata-se de uma zona temperada sempre úmida, com mais de cinco geadas anuais e temperatura média anual entre 16°C e 25°C.

No que diz respeito à radiação, segundo Nitsche, Caramori, Ricce e Pinto (2019), os índices na região variam de 9,1 MJ/m²/dia a 17,5 MJ/m²/dia, sendo que os meses com menores médias são junho e julho, e o mês com maior índice é novembro.

Figura 1: Localização da área de estudo.



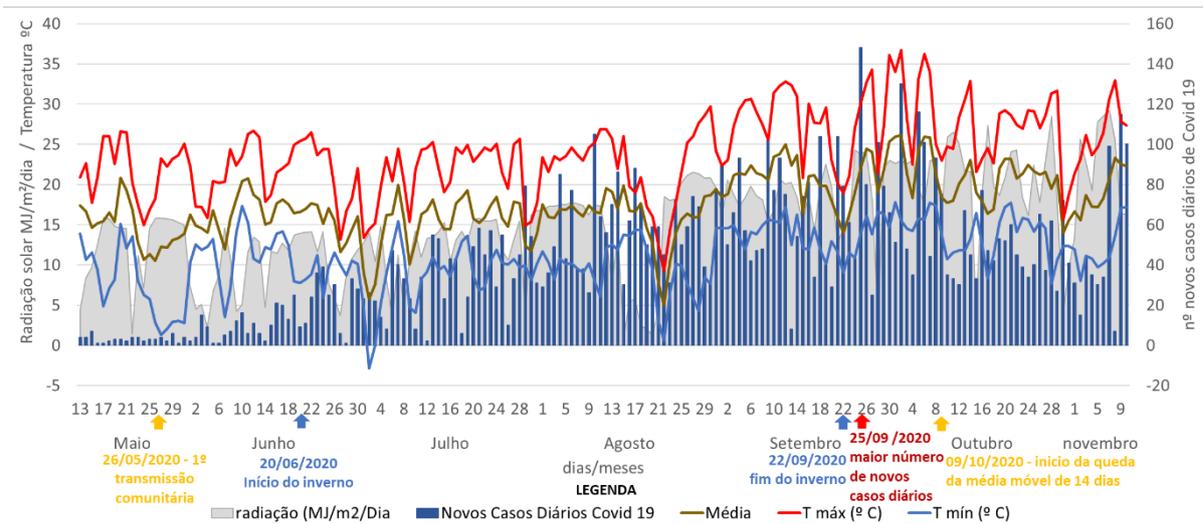
Em função da proximidade com a Escarpa Devoniana, as entradas de massas de ar frias, com a formação de faixas de instabilidade e aumento da nebulosidade, caracterizam para a região um aumento da condição de céu encoberto, em especial nos dias que antecedem a chegada da massa de ar fria e durante o predomínio das frentes frias. A influência de sistemas de alta pressão que se formam sobre o oceano, enviando umidade para o continente, que muitas vezes no inverno chegam até a região, também contribuem para aumento de nebulosidade, explicando a redução nos índices de radiação solar. Para o período entre 2005 e 2009, Cruz (2009) identificou três importantes variáveis que determinam o Clima Urbano de Ponta Grossa, a orientação de vertentes, a composição da vegetação estimada por *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) e a altitude.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O recorte temporal para o tratamento dos dados, preparação da representação gráfica e análise dos resultados foi ligeiramente diferente do que será visto na sequência do artigo, isto porque neste primeiro momento o objetivo era analisar e confrontar com dados de imagens de satélite, cartas sinóticas, imagens de radar e decretos estaduais e municipais relacionados com a pandemia, para identificar todo o cenário que envolveu o período de registro da série de dados, foco da pesquisa. A divisão em períodos para a construção dos

gráficos foi aleatória, porém sempre se orientando pela variável temperatura mínima e os novos casos diários da Covid 19 (Fig. 2).

Figura 2: Representação gráfica da série de dados entre 13/05 e 10/11/2020.



O primeiro recorte temporal compreende o período entre 21/05 e 27/06/2020 (Fig. 3), a partir da qual já foi possível tecer algumas considerações sobre as correlações entre as variáveis temperatura e radiação solar com os novos casos diários da Covid 19, nas primeiras semanas do período e nas 3 semanas seguintes.

Da análise gráfica destacam-se os primeiros e os últimos meses da série de dados, nas condições climáticas das últimas duas semanas de maio e a primeira semana de junho, com o desenvolvimento da Covid 19 na segunda, terceira e quarta semanas de junho. Entre os dias 22 e 26/05/2020, houve predomínio de nebulosidade, com a chegada de uma massa de ar fria e a formação da frente fria e diminuição nos níveis de radiação. Nos dias que se seguiram, do dia 27 ao dia 31/05/2020, as temperaturas mínimas estiveram muito baixas, variando entre 1,33°C e 3,03°C, o que derrubou as médias apesar de as máximas terem ficado mais altas na pós-frontal, oscilando entre 22,23°C e 25,04°C.

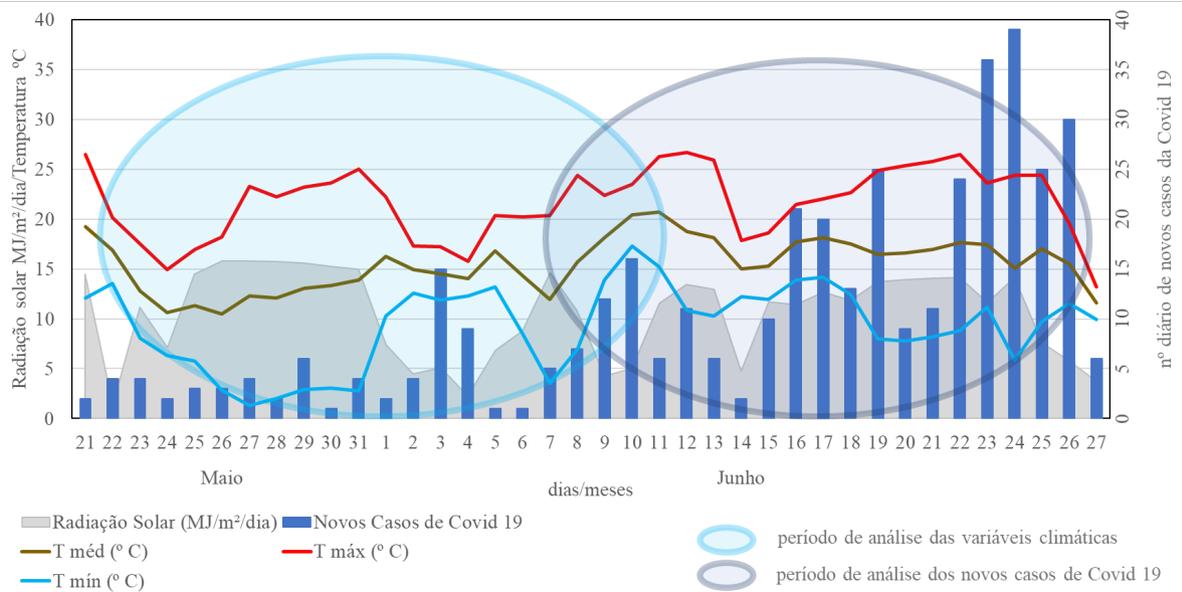
A partir do dia 01 até o dia 06/06/2020, foi verificado outro período de redução da radiação solar e nova queda de temperatura entre os dias 06 e 08/06/2020. Estas variações climáticas, associadas as condições de tempo que envolveu a pré-frontal, frente fria e pós-frontal, resultaram em condições mais favoráveis para o Coronavírus.

O comportamento da população com relação a circulação, a aglomeração, a permanência em lugares com janelas e portas fechadas, com baixa circulação de ar também colaborou com o resultado observado 14 dias depois, de cada dia desde o dia de início da série ou período analisado com o aumento no número de novos casos diários da Covid 19, que se observa destacado pela 2ª elipse e que perdurou pelo menos por três semanas.

Nos dias que se sucederam ao dia 08/06/2020 as temperaturas mínimas se mantiveram em uma média de 13,3°C, porém a radiação solar apresentou dois picos de mínima nos dias 09 e 14/06/2020, resultante de dias com intensa nebulosidade na região, sendo

que no dia 14 estava associado a um sistema frontal que deixava o Paraná, sentido São Paulo, fatores estes que podem ajudar a explicar a evolução da Covid 19 na última semana do período analisado, de 22 a 26/06/2020.

Figura 3: Primeiro período da análise gráfica da série de dados climáticos e da Covid 19, de 21/05 a 27/06/2020.



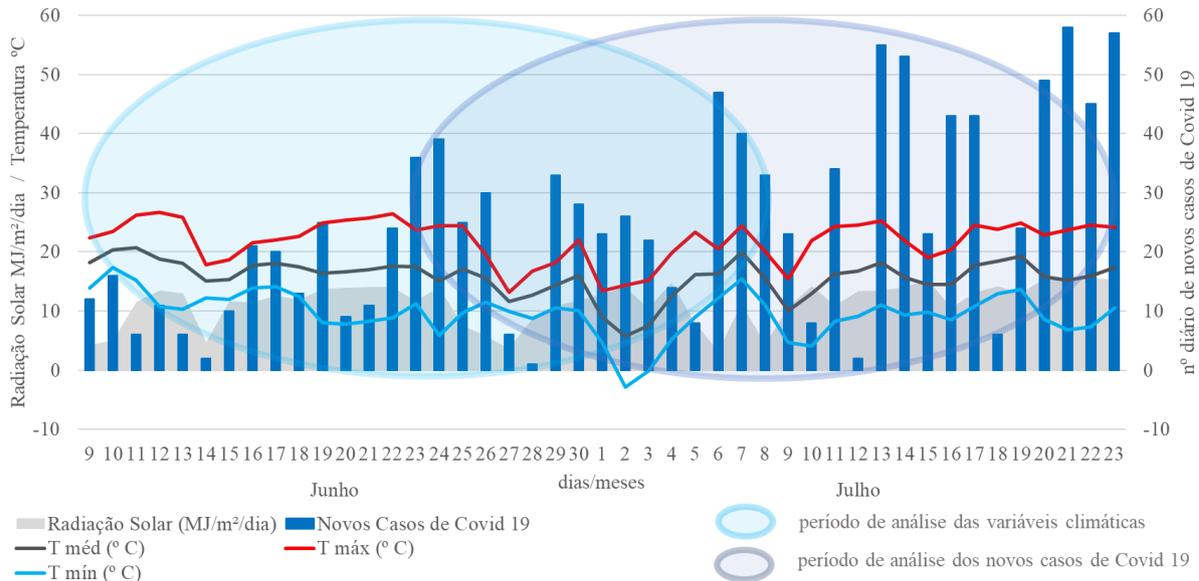
Na sequência observa-se um período de aproximadamente duas semanas, de 09/06 a 23/07/2020, de condições mais estáveis e de temperatura mínimas mais elevadas, com médias de 10,3°C e 11,9 MJ/m²/dia de radiação solar, pouca nebulosidade, em uma condição de pós frontal (Fig. 4). Este período refletiu na semana de oscilações no número de novos casos diários da Covid 19 a partir do dia 29/06/2020, situação que se prolongou por duas semanas.

Do dia 25 ao dia 28/06/2020, Ponta Grossa esteve sob domínio de um sistema frontal, que provocou muita nebulosidade e que resultou na queda da incidência da radiação solar sobre a superfície, culminando com a mínima de 3,68 MJ/m²/dia, em 27/06/2020, mas temperaturas mínimas na média dos 10°C, muito influenciadas pela nebulosidade da madrugada, que impediu a queda normal da temperatura mínima do dia 26/06/2020. Estes dados ajudaram a explicar o início de um novo período de crescimento de novos casos diários da Covid 19 em Ponta Grossa, com início em 11/07, e que se estendeu pelas semanas seguintes.

Após os dias de domínio da frente fria, o sistema meteorológico que se instala na região é de alta pressão, relacionado à massa de ar Polar que anteriormente tinha provocado a formação da frente fria. Sob o novo sistema atmosférico ocorre uma diminuição da nebulosidade, aumento e manutenção dos índices de radiação e queda da temperatura, sendo que no dia 02/07/2020 esta atinge -2°C, a mínima do ano para Ponta Grossa. As condições se mantêm até o dia 04/07/2020, quando as temperaturas começam a se elevar e a partir do dia 05/07/2020, um domingo, em uma condição de pré-frontal que

se estende pelos dias seguintes, já sob o domínio da baixa pressão associada a frente fria que se deslocava sobre o oceano. Com a intensa nebulosidade se observa uma queda da radiação solar, com duas mínimas muito representativas, nos dias 06/07, com 3,24 MJ/m²/dia e no dia 09/07 com 4.4 MJ/m²/dia.

Figura 4: Segundo período da análise gráfica da série de dados climáticos e da Covid 19, de 09/06 a 23/07/2020.



No último período da série, começando pelos primeiros 10 dias entre 17/09 e 26/09/2020 foram registrados queda da mínima que, posteriormente, se elevou, para cair novamente no final do período analisado (Fig. 5). O período de queda da mínima e dos níveis de radiação solar foi importante porque antecedeu em 23 dias o dia 09/10/2020, quando a curva da média móvel de 14 dias começou a cair, o que ajuda a entender os dias que antecederam a data, num momento em que ainda se registravam dias intercalados de números crescentes e decrescentes de novos casos diários da Covid 19.

A partir de 09/10/2020 a curva da pandemia em Ponta Grossa começa a cair, dentro da própria lógica de uma pandemia e também devido ao fim do inverno. A partir da elevação das temperaturas as pessoas passam a utilizar espaços mais abertos, o que contribui com diminuição de novos casos diários da Covid 19.

Foi observada correlação negativa entre a temperatura máxima e radiação solar e os novos casos diários da Covid 19 (Tab. 1), mais significativa no caso da radiação (-0.60). Enquanto temperatura máxima e, principalmente, radiação solar aumentavam, os novos casos diários da Covid 19 tendiam a diminuir. Já a correlação entre a temperatura mínima e temperatura média e a Covid 19 foi positiva, com Tmin r 0,68 e Tmed r 0,72, o que indica que quando as temperaturas eram mais baixas aumentava os números de novos casos (Sagripanti & Lytle, 2020, Sajadi et al., 2020). Assim, os resultados confirmam dados de literatura (Wang et al., 2020), de que de fato o aumento de temperatura e radiação solar podem levar a diminuição dos novos casos diários da Covid 19. Houve correlação para todas as variáveis analisadas para o período da série em questão, no entanto temperaturas média e mínima e radiação foram as mais significativas.

Tabela 1: Coeficiente de Correlação de Pearson - r , para o período da série de dados, entre 27/05 e 23/06/2020.

	Variáveis	r
1	NCovid19 x Tmax	-0,206637555
2	NCovid19 x Tmin	0,676362454
3	NCovid19 x Tmed	0,718670686
4	NCovid19 x Rad	-0,597100329

Em um momento da aceleração inicial da pandemia na cidade, os resultados apontam para uma condição intermediária, onde temperaturas mínimas um pouco mais elevadas e máximas mais baixas, somados com diminuição da radiação solar, podem ter criado uma condição ambiental mais favorável para a proliferação do SARS-CoV-2.

Os resultados dos cálculos do Coeficiente de Correlação para o período compreendido entre 16/09 e 13/10/2020 indicaram relações diversas ao que foi observado para a o período inicial da pandemia (Tab. 2). Temperaturas média e máxima do ar e a radiação solar não apresentaram correlação significativa com a aproximação do verão (< 0.50), o que indica que quedas de temperatura, mesmo que pequenas, podem contribuir para o aumento dos casos da Covid 19.

No caso do segundo período analisado a cidade vivia um outro momento do ano, tanto em relação as condições climáticas, quanto em relação aos cuidados com a prevenção da Covid 19. O relaxamento de algumas medidas sanitárias pelo poder público, combinado com maior circulação da população, diminuição dos cuidados com isolamento e distanciamento social e aumento nas aglomerações, também podem ter contribuído para o comportamento da pandemia no período.

Tabela 2: Coeficiente de Correlação de Pearson - r, para o período da série de dados, entre 16/09 a 13/10/2020.

	Variáveis	r
1	NCovid19 x Tmax.	-0,27883
2	NCovid19 x Tmin.	-0,50714
3	NCovid19 x Tmed.	-0,42392
4	NCovid19 x Rad.	0,11735

Durante os registros da série de dados referentes ao período compreendido entre 16/09 e 13/10/2020, que corresponde ao 11º e 12º período epidemiológico, as condições eram de final de inverno, com entrada de uma massa de ar fria sobre o oceano que provocou a formação de uma frente fria, que resultou em quedas de temperatura e nos índices de radiação, devido ao aumento da nebulosidade. No entanto, nos dias que se seguiram as mínimas e máximas começaram a se elevar até o final do período. Com relação a Covid 19, o pico de novos casos foi registrado em 25/09/2020, porém a curva da média móvel só começou a cair em 09/10/2020. Nos primeiros 14 dias do período a média de novos casos era de 72,07 por dia e nos 14 dias seguintes caiu para 66,36.

Regressão linear múltipla

A regressão linear múltipla utilizou os dados de novos casos diários da Covid 19, temperatura mínima e radiação solar de toda a série, de 13/05 a 10/11/2020. As duas variáveis climáticas utilizadas foram aquelas que melhor se ajustaram ao modelo para determinar o coeficiente de determinação:

$$\hat{y} = -10,29911212 + 2,923199537 \cdot x_1 + 1,32448225 \cdot x_2 \quad (3)$$

Considerando-se o modelo de regressão linear múltipla para os novos casos diários da Covid 19, observa-se que o coeficiente de determinação R^2 referente a temperatura mínima do ar e a radiação solar foi capaz de explicar aproximadamente 22% dos novos casos diários da Covid 19, isto porque 78% da explicação provavelmente se situa em outros fatores como os relacionados com tamanho e densidade da população, comportamento da sociedade quanto ao isolamento e distanciamento social, adoção de hábitos de higiene como lavar as mãos e uso de álcool gel, além do uso de máscara, com a sazonalidade do clima e outras variáveis climáticas.

Tabela 3: Coeficientes da regressão linear múltipla para a série de dados 13/05 a 10/11/2020, para novos casos diários da Covid 19, temperatura mínima do ar e radiação solar.

R ²	Variável		Coefficiente
0,222473	NCovid 19	Interseção	-10,25911212
	T _{mín.}	X1	2,923299537
	Rad.	X2	1,32448225

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa permitiu elucidar melhor como a doença está evoluindo na cidade diante das variáveis climáticas e estabelecer relações que muitas vezes não estão muito claras.

A identificação dos sistemas atmosféricos atuantes na região, durante o recorte temporal analisado, com base na análise de imagens de satélite e de cartas sinóticas, foi determinante para compreender as quedas de temperatura e de radiação solar, nos períodos epidemiológicos analisados. Deste os sistemas meteorológicos podemos destacar a chegada de massas de ar frias, com a formação das frentes frias, que provocavam quedas de temperatura e aumento de nebulosidade, a qual bloqueiam a radiação solar, diminuindo seus índices, criando condições mais adequadas para a disseminação da Covid 19, de forma direta ou indireta.

Os três procedimentos metodológicos ou as técnicas de tratamento dos dados permitiram, no seu conjunto, demonstrar que o comportamento de determinadas variáveis climáticas, como a temperatura mínima do ar e radiação solar, influencia na ocorrência de novos casos diários da Covid 19. O comportamento destas variáveis, de forma especial entre o início e fim do inverno, principal estação do ano para o avanço da pandemia à época, foi fundamental para compreender em parte a disseminação da pandemia. As medidas de isolamento e distanciamento social foram relevantes para conter o avanço da pandemia na cidade, em especial nos primeiros meses, mas a medida em que foi se aproximando o inverno com quedas de temperatura e aumento de nebulosidade em maio, mês atípico ainda no outono, o maior número de dias com baixas temperaturas somado ao aumento de nebulosidade, criaram as condições adequadas para aumento da pandemia, somado à reabertura do comércio no final de maio e começo de junho.

Ao final do inverno e início da primavera as temperaturas se elevaram e persistiram por um período mais prolongado, contribuindo para o início da queda da curva da média móvel de 14 dias a partir de 09/10/2020, porém voltando a subir um mês depois, fato ainda a ser estudado.

A influência do clima na evolução da pandemia da Covid 19 ocorre de duas formas. Uma ao influenciar o comportamento da sociedade, que tende a passar mais tempo em lugares fechados e se aglomerar, em especial no transporte público; outra ao criar condições

mais ou menos favoráveis para a permanência SARS-CoV-2 no ambiente, alterando o tempo de atividade e podendo levar ao aumento da capacidade de disseminação da Covid 19.

Estes dados podem ser utilizados pelos tomadores de decisão para traçar políticas públicas expressas pela relação entre clima e saúde, que possam minimizar os impactos do clima na disseminação da Covid 19, tendo como base as relações entre a temperatura mínima do ar e diminuição da radiação solar.

REFERÊNCIAS

- Alcoforado, M.J., & Andrade, H. (2006) Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modeling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3), 151-159.
- Auler, A.C., Cássaro, F.A.M., Silva V.O., & Pires, L.F. (2020). Evidence that high temperatures and intermediate relative humidity might favor the spread of COVID-19 in tropical climate: A case study for the most affected Brazilian cities *Science of the Total Environment*, 729, 139090. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720326073?dgcid=coauthor#bb0035>
- Bukhari, Q., & Jameel, Y. (2020). Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer? *SSRN*, id3556998. Recuperado de https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3556998
- Calbó J., Pagès, D., & González, J.A.. (2005). Empirical studies of cloud effects on UV radiation: A review. *Reviews of Geophysics*, 43(2), 1-28. Recuperado de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2004RG000155>
- Cohen, J. (2020). A WHO-led mission may investigate the pandemic's origin. Here are the key questions to ask. *Science*. Recuperado de <https://www.sciencemag.org/news/2020/07/who-led-mission-may-investigate-pandemic-s-origin-here-are-key-questions-ask>
- Cruz, G.C.F. (2009). *Clima Urbano de Ponta Grossa-PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil.
- Fedorova, N. (2001). *Meteorologia Sinótica*. Pelotas: Ed. UFPel.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). *Cidades*. Rio de Janeiro. Recuperado de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/ponta-grossa/panorama>
- Lipsitch, M. (2020). *Seasonality of SARS-CoV-2: Will COVID-19 go away on its own in warmer weather?* Center for Communicable Disease Dynamics. Harvard Chan School of Public Health. Recuperado de <https://ccdd.hsph.harvard.edu/will-covid-19-go-away-on-its-own-in-warmer-weather/>
- Nitsche, P.R., Caramori, P.H., Ricce, W.S., & Pinto, L.F.D. (2019). *Atlas Climático do Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR.
- Organização das Nações Unidas. (2020). *Organização Mundial da Saúde declara novo coronavírus uma pandemia*. ONU News. Recuperado de <https://news.un.org/pt/story/2020/03/1706881>
- Painel Saúde. (2020). *Covid 19*. Recuperado de <http://pg-covid.vgeo.com.br/covid-19>
- Portaria n. 356, de 11 de março de 2020. Dispõe sobre a regulamentação e operacionalização do disposto na Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020, que estabelece as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus (COVID-19). Recuperado de <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-356-de-11-de-marco-de-2020-247538346>
- Prata, D.N., Rodrigues, W., Bermejo, P.H. (2020). Temperature significantly changes COVID-19 transmission in (sub)tropical cities of Brazil. *Science of the Total Environment*, 729, 138862.
- Sagripani, J.L., & Lytle, C.D. (2020). Estimated inactivation of coronaviruses by solar radiation with special reference to COVID-19. *Photochemistry and Photobiology*, 96(4),731-737. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/php.13293>.

Sajadi, M.M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles-Wilhelm, F., & Amoroso, A. (2020). Temperature, Humidity, and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19. SSRN, id3550308. Recuperado de https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3550308

Fundação ABC (2020). Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. *Monitoramento. Estações Meteorológicas. Diário*. Recuperado de <https://sma.fundacaoabc.org/monitoramento/grafico/diario>

Storch H.V., & Zwiers, F.W. (2003). *Statistical Analysis in Climate Research*. New York: Cambridge University Press.

Ynoue, R.Y., Reboita, M.S., Ambrizzi, T., & Da Silva G.A.M. (2017). *Meteorologia: noções básicas*. São Paulo: Oficina de Textos.

Wang, M., Jiang, A., Gong, L., Luo, L., Guo, W., Li, C., ... & Li, H. (2020). Temperature Significantly Change COVID-19 Transmission in 429 cities. Recuperado de <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.22.20025791v1>

Wilks, V.D. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. San Francisco: Academic Press.

World Health Organization. (2020). *Coronavirus disease (COVID-19) pandemic*. Recuperado de <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/>

Recebido em 09/fev./2021

Aceito em 29/set./2021

Publicado online em 15/fev./2022