

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A APLICAÇÃO DA MÉDIA MÓVEL E CARTA DE CONTROLE DA MÉDIA MÓVEL EXPONENCIALMENTE PONDERADA PARA MONITORAMENTO DE PANDEMIAS

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE APPLICATION OF MOVING AVERAGE AND CONTROL CHART BY EXPONENTIALLY MOVING AVERAGE WEIGHTED FOR PANDEMIC MONITORING

Beatriz Bana de Camargo* E-mail: beatriz.banac@unifei.edu.br

Rangel Pereira da Silva* E-mail: rgelsp@unifei.edu.br

Emerson José de Paiva* E-mail: emersonpaiva@unifei.edu.br

Tarcísio Gonçalves de Brito* E-mail: tgbrito@unifei.edu.br

*Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG, Brasil.

Resumo: Com a Pandemia Mundial, decretada pela Organização Mundial da Saúde, em março de 2020, esforços econômicos e sanitários foram dispendidos para um eficiente controle da Covid-19. A partir do registro do primeiro caso, seu monitoramento passou a ser obrigação das Secretarias de Saúde. Não obstante, os veículos de comunicação, no intuito de prestar informações de qualidade acerca da situação sanitária, passou a divulgar dados a partir do cálculo da Média Móvel. Sabe-se que se trata de um índice estatístico eficiente, porém questionável quanto à sua aplicação nesse tipo de monitoramento. Assim, tentando identificar uma ferramenta que apresentasse um nível de acurácia superior, realizou-se um estudo comparativo entre a Média Móvel e a Carta de Controle da Média Móvel Exponencialmente Ponderada, ferramenta da qualidade capaz de detectar pequenos desvios da média ou da variância dos processos. Buscou-se fornecer subsídios às autoridades de saúde, aos meios de comunicação e à população, por meio de um retrato da eficiência científica dessas ferramentas, propiciando uma metodologia adequada aplicada a eventos de pandemia. Como resultado, percebeu-se a eficiência de ambas as ferramentas para o monitoramento epidemiológico. Além disso, a Carta MMEP se mostrou mais ágil tendo em vista sua robustez estatística.

Palavras-chave: Controle Estatístico do Processo. Média Móvel. Carta de Controle por Variáveis. Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP). Monitoramento de Pandemia.

Abstract: With the World Pandemic decreed by the World Health Organization in March 2020, economic and health efforts were expended for an efficient control of Covid-19. From the first notification, monitoring became an obligation of the Health Department. However, the media, in order to provide quality information about the health situation, started to publish data based on Moving Average. It's known that this is an efficient statistical tool, however questionable as to its application in this kind of monitoring. So, trying to identify a better tool, in this research was sought to carry out a comparative study between the Moving Average and the Control Chart by Exponentially Moving Average Weighted (EWMA), capable of detecting small deviations from the average or variance of the processes. We sought to provide an appropriate methodology applied to pandemic events to health authorities, media and population. As a result, the efficiency of both tools for epidemiological monitoring was perceived. Besides that, the EWMA Chart proved to be more agile.

Keywords: Statistical Process Control. Moving Average. Control Chart by Variables. Exponentially Weighted Moving Average (EWMA). Pandemic Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

A pandemia de Covid-19 é, atualmente, o maior desafio sanitário enfrentado pela sociedade global. Causada pelo Coronavírus SARS-CoV-2, a doença se destaca por sua transmissibilidade e potencial mortalidade. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021), a maioria dos infectados apresentam sintomas respiratórios leves ou moderados. No entanto, idosos e aqueles com patologias subjacentes, como doença cardiovascular ou respiratória, diabetes e câncer, são mais propensos a desenvolver um quadro clínico agravado.

Iniciada na cidade chinesa de Wuhan, no final de 2019, a enfermidade se espalhou rapidamente pelo mundo. Em 11 de março de 2020, a OMS decretou pandemia mundial e, desde então, a situação se agravou, levando o Brasil a ultrapassar a marca de quinhentos mil óbitos em julho de 2021, conforme boletim epidemiológico divulgado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Nesse cenário, uma série de operações foram iniciadas, a fim de prestar ágil assistência humanitária aos atingidos. No nível operacional, o principal desafio estava relacionado ao atendimento de pessoas com ou sem suspeita de contaminação pelo SARS-CoV-2 (SANTOS *et al.*, 2020). Além disso, o ineditismo da doença provocou dificuldades de se entender o comportamento do vírus: questões como diminuição do contágio, medicação, tratamento e prevenção eram, ainda, incógnitas sem resposta para os especialistas.

Paralelamente, ainda segundo Santos *et al.* (2020), no nível estratégico, o desafio concentrava-se no combate à transmissão generalizada, tornando a obtenção de dados confiáveis crucial à tomada de decisão. Casos confirmados, recuperados, óbitos, incidência, letalidade e mortalidade são alguns indicadores que demandariam tal fiabilidade. Por meio deles, as entidades governamentais de saúde estariam possibilitadas a planejar assertivamente ações de contenção, mitigação e prevenção, bem como averiguar o sucesso ou insucesso das medidas tomadas.

Não obstante, conforme a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2020), a pandemia de Covid-19 é notadamente influenciada por uma infodemia, entendida como a distribuição de informações referentes à saúde e à política pública de forma excessiva e pouco fidedigna. Tal problema se agravou à medida que informações foram veiculadas, principalmente, pela internet, por meio de canais de imprensa e mediante aplicativos de mensagens. Consequentemente, tanto

informação útil quanto tóxica, foi disseminada sem um filtro claro de confiabilidade (HARAKI, 2021).

Logo, ficou evidente que a mensuração de parâmetros por si só, sem a utilização de uma técnica adequada de análise, tornaria falha a percepção do comportamento epidemiológico. Desse modo, fez-se necessária a adoção de métodos estatísticos apropriados, a fim de assegurar confiabilidade nas inferências realizadas. Diante disso, consórcios de veículos de comunicação fizeram uso da Média Móvel Simples (MM) como principal ferramenta de acompanhamento.

A razão principal para adoção dessa técnica estatística é que ela permite estimar a média de uma série temporal, filtrando possíveis variações aleatórias (SILVA; PIRATELLI, 2019). No contexto pandêmico, essas oscilações ocorrem devido à periodicidade das notificações de casos e mortes, na medida em que há menor incidência de registros nos fins de semana em comparação aos inícios (RODRIGUES *et al.*, 2021). Assim, utilizam-se dados de períodos pré-definidos (LISBOA, 2020), a fim de se evitarem análises precipitadas quanto à tendência epidemiológica.

Ciente da frequência de uso da MM, indagou-se acerca da possibilidade, viabilidade e confiabilidade da utilização de outro método estatístico, a fim de se identificar previamente tendências de crescimento, estabilidade ou decréscimo da quantidade de óbitos causados pela Covid-19. Frente a esse questionamento, observa-se que o Controle Estatístico do Processo (CEP) fornece um arcabouço ferramental robusto, dentro do qual percebe-se as Cartas de Controle (ou Gráficos de Controle de Shewhart) como potencial resposta.

Desenvolvida por Shewhart (1931), a Carta de Controle tem o objetivo de permitir uma identificação visual da situação de um processo em relação à variabilidade e à capacidade de se manter dentro de limites estabelecidos. Além disso, é capaz de detectar rapidamente a ocorrência de mudanças no processo, de modo que alguma ação possa ser tomada (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Nessa perspectiva, é notável uma lacuna literária concernente à aplicação dos Gráficos de Shewhart no monitoramento de comportamentos pandêmicos. Estudos internacionais são raros. Esporádicos trabalhos como os de Mbaye, Sarr e Ngom (2021); Singh *et al.* (2020); Nnamdi, Odunayo e Agbedeyi (2020); Perla *et al.* (2020) e Mahmood *et al.* (2021) podem ser citados. Paralelamente, literaturas em língua portuguesa beiram à escassez, haja vista que nenhum artigo sobre tal temática foi encontrado em revistas nacionais.

Diante disso, este trabalho concentra-se no estudo comparativo entre a Média Móvel Simples e a Carta de Controle, aplicadas ao monitoramento da pandemia. Como resultado, apresenta-se à sociedade civil e às entidades governamentais uma ferramenta estatística capaz de identificar tendências em indicadores pandêmicos, colaborando com a obtenção e a disseminação de informações de qualidade e possibilitando a adoção de contramedidas com agilidade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

O contexto a que se aplica este estudo remete à aplicação de ferramentas estatísticas notadamente conhecidas no monitoramento de processos em geral. Compreender seu uso também no monitoramento de pandemias exige, por consequência, a compreensão de toda técnica de aplicação. Assim, nas seções a seguir, apresenta-se o embasamento teórico relacionado tanto à Média Móvel Simples, quanto ao Controle Estatístico de Processo, em especial, as Cartas de Controle da Média Móvel Exponencialmente Ponderada.

2.1.1 Média Móvel Simples

A Média Móvel Simples, ou apenas Média Móvel (MM), é um método comumente utilizado para realizar previsões de demanda em abordagens logísticas. De acordo com Corrêa e Corrêa (2013), o modelo de MM é inteligível e estima o futuro calculando-se a média aritmética dos n últimos períodos observados.

Para gerar previsão, a MM é composta por dados de um número predeterminado de períodos, normalmente os mais recentes. A cada novo período de previsão, substitui-se o dado mais antigo pelo mais recente. Vale ressaltar que a decisão de qual será o número de períodos utilizados no cálculo é arbitrária e experimental, no entanto, é fundamental haver uma adequada estimativa, a fim de assegurar confiabilidade à previsão (DIAS, 2010).

Corrêa e Corrêa (2013) destacam que, para um maior valor de n , maior a influência das demandas mais antigas sobre a previsão. Em outra perspectiva, Dias (2010) acorda que se n for muito grande, a reação da previsão diante dos valores atuais será lenta. Inversamente, se n for pequeno, a reação será mais rápida.

2.1.1.1 Média Móvel como Indicador de Pandemia

O monitoramento de uma pandemia deve fornecer dados precisos que auxiliem na tomada de decisões para endurecimento ou afrouxamento de medidas de controle, como isolamento social e funcionamento do comércio. No contexto da Covid-19, os dados diários de indicadores, como o número de casos, apresentam oscilações que dificultam a análise e a identificação de tendências de queda ou avanço.

Segundo Rodrigues *et al.* (2021), esta oscilação acontece devido à menor quantidade de registros pelas Secretarias de Saúde nos fins de semana e maior quantidade entre segunda-feira e quarta-feira. Assim, o método da MM constituiu uma alternativa utilizada para o acompanhamento da pandemia no Brasil, uma vez que elimina os casos de flutuação aleatória, suavizando os valores extremos informados no início da semana (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

Os indicadores mais utilizados são a MM de casos ativos de infecção e a MM de óbitos, que são levantados e divulgados pelo consórcio de veículos de imprensa (G1, O Globo, Extra, O Estado de São Paulo, Folha de São Paulo e UOL), a partir de dados das Secretarias Estaduais de Saúde.

Segundo o pesquisador Americo Cunha, em entrevista para Lisboa (2020), a MM não é tão eficaz para o monitoramento de casos confirmados, sendo mais apropriadamente empregada para acompanhamento de óbitos. Para o pesquisador, o número de mortes é mais confiável, tendo em vista que óbitos tendem a ser majoritariamente notificados, enquanto a contabilização de casos confirmados desconsidera indivíduos infectados que não foram submetidos a um diagnóstico.

Considerando que a MM é indicada para n períodos e que há oscilação dos registros de dados em fins de semana, para calcular a MM do número de óbitos convencionou-se utilizar $n = 7$ (LISBOA, 2020), de forma a atenuar as oscilações semanais e evitar conclusões precipitadas quanto à tendência epidemiológica. No cálculo da MM, a cada novo período, a observação mais antiga é substituída pela mais recente, obtendo-se, assim, uma nova média (MORETTIN; TOLOI, 1981), conforme Eq. (1):

$$MM_j = \frac{\sum_{i=j-6}^j O_i}{n} \quad (1)$$

Em que:

MM_j : MM para o período j ;

O_i : número de óbitos ocorrido no período anterior i ;

n : número total de períodos utilizados para apurar a média móvel, neste caso, $n = 7$;

j : período mais recente;

i : número de ordem de cada período.

Um valor de MM calculado, sem uma comparação de dados anteriores, não propicia, de imediato, inferência pelos seus observadores. Assim, tal indicador é comumente apresentado na forma de gráficos, pois proporciona uma impressão mais rápida e fácil do fenômeno em estudo (CRESPO, 2002).

Os dados provenientes da pandemia da Covid-19 são usualmente exibidos em gráficos de linhas. Segundo Rumsey e Batista (2019), o gráfico de linhas (ou gráfico do tempo) apresenta uma representação temporal do fenômeno, onde é possível observar dados passados, comparando-os, a fim de se identificar tendências de acréscimo, decréscimo ou estabilidade.

2.1.2 Controle Estatístico de Processo

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma técnica que visa reduzir sistematicamente a variabilidade em uma característica de qualidade. É operacionalizado ao longo de um processo, na intenção de verificar sinais de estabilidade ou instabilidade (RIBEIRO; CARTEN, 2012). Seu objetivo é inferir sobre a performance do processo, a fim de garantir menor variação, por meio da identificação de causas raiz e resolução de problemas associados.

Montgomery (2017) afirma que em qualquer processo, independentemente de quão bem planejado e mantido ele seja, há a influência de causas aleatórias. Essas causas, também denominadas comuns, são aquelas cuja ocorrência culmina em uma variação natural e inerente ao processo. No entanto, quando um processo apresenta variabilidade destoante do padrão de causas aleatórias, diz-se que se encontra sob o efeito de causas especiais, ou atribuíveis.

Considera-se que um processo se encontra sob controle estatístico quando sobre ele atuam apenas causas aleatórias. Entretanto, quando há presença de causas especiais, diz-se que o processo está fora de controle. O conceito que envolve o CEP está relacionado à agilidade e facilidade de detecção da ocorrência de causas especiais, de modo que a investigação e ações corretivas possam ser realizadas com antecedência (MONTGOMERY, 2017).

Dentre as ferramentas que compõem o CEP, a Carta de Controle, desenvolvida por Shewhart (1931), é aquela responsável pelo monitoramento das causas especiais. Considerada por Montgomery (2017) a mais sofisticada ferramenta do CEP, a CC permite a distinção entre as causas comuns e especiais de variação, ou seja, ela avalia a estabilidade de um processo, apontando se este está ou não sob controle (WERKEMA, 2014). Além disso, Burlikowska (2005) destaca a CC pela simplicidade e eficácia no auxílio à tomada de decisão e análise de pontos críticos de processos.

De modo geral, a CC é construída por meio da plotagem de pontos sobre três linhas paralelas. Os pontos representam a característica medida ou calculada do processo, ao passo que as linhas dizem respeito ao valor médio da variável, ao limite superior de controle (LSC) e ao limite inferior de controle (LIC). Esses limites são escolhidos de modo que, se o processo está sob controle, praticamente todos os pontos estarão entre eles (MONTGOMERY, 2017).

Como evidenciado anteriormente, quando nenhum ponto é plotado para além dos limites de controle, o processo pode ser considerado estável. Isso significa que é possível explicar o processo por uma média (μ) e um desvio-padrão (σ), ou seja, ao longo do tempo, μ e σ tendem a continuar sendo a média e o desvio-padrão do processo. Entretanto, quando o processo é atingido por causas especiais, passa a ficar fora de controle, de modo a ser explicado por novos valores para μ e σ .

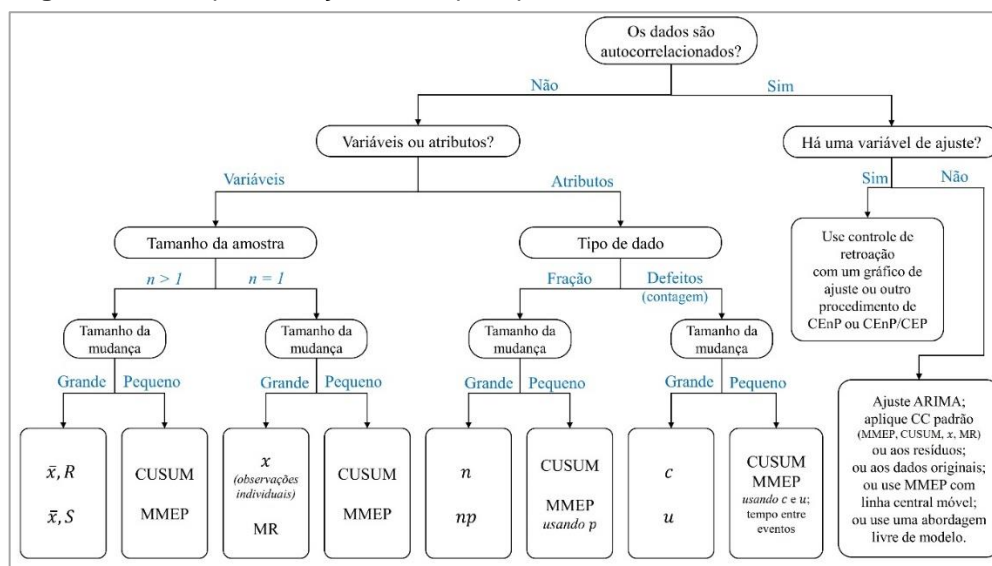
A partir do modelo padrão de CC de Shewhart, inúmeros outros modelos de CC foram desenvolvidos para diversas aplicações. Desse modo, a escolha adequada do modelo a ser usada em uma análise é de suma importância, haja vista que cada uma delas foram desenvolvidas para um tipo de dado específico e para propósitos investigativos distintos. Montgomery (2017), esquematizou um guia para a correta seleção do tipo de CC para um processo univariado (aquele em que se monitora uma única variável), conforme Figura 1.

Pode ser observado, pela Figura 1, que as Cartas de Controle da MMEP são recorrentes para suas diversas variações. Isso deve ser explicado pela grande sensibilidade dessa ferramenta, frente a pequenos desvios de média e variância em relação aos valores tidos como referências para o controle do processo.

Tratando-se do monitoramento de evolução pandêmica, essa sensibilidade característica da MMEP é bastante adequada, pois pode propiciar tomadas de decisões mais ágeis e assertivas. Por esse fato, acredita-se que a aplicação de Cartas

de Controle da MMEP possa representar avanços no controle e nas ações necessárias à mitigação dos efeitos nocivos das pandemias na sociedade.

Figura 1 – Guia para seleção de CC para processo univariado



Fonte: Adaptado de Montgomery, 2017.

2.1.3 Carta de Controle da MMEP

O Gráfico de Controle da Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) foi proposto por Roberts (1959) e é indicado para detectar pequenas variações no comportamento de uma variável (FRIGO *et al.*, 2016). Além disso, Pyzdek e Keller (2011) destacam a capacidade dessa ferramenta de fornecer uma previsão da localização da próxima medida do processo, permitindo, assim, a adoção de um controle por antecipação.

Também conhecida como Média Móvel Geométrica, a MMEP atribui maior peso às observações mais recentes, ao passo que os pesos distribuídos às observações anteriores diminuem em uma progressão geométrica à medida que se distanciam da observação atual (ROBERTS, 1959). Consonantemente, Montgomery (2017) acrescenta que a MMEP pode ser entendida como uma média ponderada de todos os dados passados e correntes, o que a torna, segundo o autor, insensível à hipótese de normalidade. Além disso, Borrór, Montgomery e Runger (1999), em um estudo comparativo, concluíram que o gráfico da MMEP apresenta menor ocorrência de alarmes falsos em relação ao gráfico Shewhart para dados não normais.

$$z_0 = \mu_0$$

$$z_i = (1 - \lambda)z_{i-1} + \lambda x_i \quad (2)$$

Em que:

μ_0 : valor alvo da média.

λ : constante de ponderação que varia entre $0 < \lambda \leq 1$;

x : observação;

i : número da amostra (ou tempo) $i > 0$.

Além disso, se as observações x_i são variáveis aleatórias independentes, com variância σ^2 , então a variância de z_i será dada, segundo Montgomery (2017), conforme Eq. (3).

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad (3)$$

Portanto, pode-se calcular LC, LSC e LIC para o gráfico da MMEP, segundo Montgomery (2017), conforme Eq. (4).

$$\begin{aligned} LSC &= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \\ LC &= \mu_0 \\ LIC &= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \end{aligned} \quad (4)$$

Em que:

σ : desvio-padrão;

L : largura dos limites de controle.

Um passo importante no planejamento do gráfico da MMEP é a escolha dos parâmetros L e λ . Para Montgomery (2017), $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$ e $L = 3$ são escolhas populares que funcionam bem na prática.

Outro ponto importante é a análise da aplicação do gráfico da MMEP à pandemia da Covid-19 em trabalhos precedentes a este. Como já mencionado, nenhum artigo em língua portuguesa foi encontrado, entretanto, alguns em língua inglesa já haviam sido publicados em periódicos e revistas internacionais, como os de Mahmood *et al.* (2021); Nnamdi, Odunayo e Agbedeyi (2020) e Singh *et al.* (2020).

Mahmood *et al.* (2021) realizaram um estudo para monitorar os óbitos por Covid-19 no Paquistão. Para tanto, os autores utilizaram o gráfico de controle da MMEP para acompanhar a fase de crescimento da quantidade de mortes relatadas por dia naquele país. Os resultados foram satisfatórios, permitindo aos pesquisadores vislumbrarem a mudança de fase do número de óbitos, da fase de crescimento para

a fase de pós-crescimento, quando o gráfico passou a sinalizar alguns pontos abaixo do LIC.

Nnamdi, Odunayo e Agbedeyi (2020), com intuito de analisar a propagação da pandemia na Nigéria, usaram modelos de regressão para prever a prevalência da epidemia e, também, Cartas de Controle, entre elas a da MMEP, para monitorar as variações no número médio de novos casos. Por meio dessas técnicas, concluíram que, apesar de os esforços para conter a disseminação estivessem produzindo alguns resultados positivos, a disseminação diária do vírus na Nigéria ainda estava fora de controle.

Singh *et al.* (2020) investigaram se o índice de crescimento no número de casos confirmados estava sob controle ou não em vários estados da Índia. Esse índice foi definido pela razão entre a observação do período atual e a observação do período imediatamente anterior. Utilizaram-se das CC de Shewhart, bem como do gráfico da MMEP, e, com o auxílio de regras sensibilizantes, detectaram instabilidade nesse indicador na maioria dos estados indianos analisados.

2.1.3.1 Distribuição Normal

Uma distribuição estatística é uma função que define uma curva, cuja área subjacente determina a probabilidade de ocorrer um evento por ela correlacionado. A Distribuição Normal, segundo Montgomery (2017), é amplamente utilizada na estatística, sendo representada pela notação $x \sim N(\mu, \sigma)$ para indicar que a variável x é normalmente distribuída com média μ e desvio padrão σ . Uma distribuição normal é configurada por uma curva simétrica, unimodal, em formato de sino.

Uma das formas de averiguar se os dados amostrais se ajustam à uma distribuição normal é por meio da construção do Gráfico de Probabilidade Normal, no qual as observações ordenadas de modo crescente são marcadas contra sua frequência acumulada observada no papel de probabilidade apropriado. Assim, se a distribuição hipotética descreve adequadamente os dados, os pontos marcados se localizarão, aproximadamente, ao longo de uma reta. Por outro lado, se o modelo hipotético não for apropriado, os pontos marcados se desviarão significante de uma reta (MONTGOMERY, 2017).

Outra forma é testar a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal, comparando-se o valor-p com o nível de significância α . Segundo Montgomery e Runger (2009), um nível de significância de 0,05 funciona bem para a maioria dos

casos. Assim, se valor- $p \leq \alpha$, os dados não seguem uma distribuição normal, isto é, rejeita-se a hipótese nula. Já se valor- $p \geq \alpha$, não há evidências suficientes para concluir que os dados não seguem uma distribuição normal.

2.1.3.2 Autocorrelação

O termo autocorrelação refere-se a uma relação de dependência entre duas variáveis. Diversos autores, incluindo Montgomery e Mastrangelo (1991) e Maragah e Woodall (1992), enfatizam que a suposição de independência das observações é a mais importante para a construção de gráficos de controle. Isso porque se os dados apresentarem níveis de correlação, mesmo que baixos, há maior probabilidade de se obter resultados enganosos sob a forma de falsos alarmes.

É possível estimar analiticamente o nível de autocorrelação (ρ_k) pela Função de Autocorrelação Amostral (FAC), conforme Montgomery (2017) conforme Eq. (5):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}, k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

Em que:

t : instante no tempo;

k : defasagem entre as observações (espaçamento de tempo ou lag).

n : quantidade de observações.

x_t : valor observado no instante t .

\bar{x} : média dos valores observados.

r_k : nível de autocorrelação com defasagem (lag) k .

Usualmente, esse cálculo é feito com o auxílio de programas computacionais para análises estatísticas, sendo comum calcular r_k para alguns valores de k , $k \leq n/4$. Esses programas também geram um gráfico da função de autocorrelação, no qual linhas marcam os limites de dois desvios-padrão para o parâmetro de autocorrelação ρ_k de defasagem (lag) k . Assim, por meio de uma análise visual, se a autocorrelação da amostra excede seu limite de dois desvios-padrão, o parâmetro de autocorrelação correspondente, ρ_k , é, provavelmente, diferente de zero (MONTGOMERY, 2017).

Costa, Epprecht e Carpinetti (2012) sugerem que se calcule a FAC das observações (r_2, r_3, \dots) para diversos espaçamentos de tempo e que se verifique o menor valor de k a partir do qual $r_k < 2/\sqrt{n}$, a fim de interromper a autocorrelação dos

dados do processo. No entanto, é necessário atentar-se caso muita informação seja desprezada e a análise do processo se torne pouco eficiente (MONTGOMERY, 2017).

2.2 Metodologia

Este trabalho tem por objetivo avaliar a aplicação da MM como ferramenta de apoio e monitoramento à evolução de sistemas pandêmicos, comumente utilizada pelos veículos de comunicação, além de estudar a viabilidade de se utilizar as Cartas MMEP como alternativa mais ágil e eficiente.

Quanto aos propósitos da investigação, se caracteriza como uma pesquisa preditiva, visto que, por meio da utilização de ferramentas estatísticas, estabeleceram-se relações entre a evolução dos dados para obter previsões futuras de comportamento do fenômeno pandêmico (GANGA, 2012).

Quanto à natureza dos resultados, é de caráter aplicado, dirigido à solução de um problema específico. Já a abordagem adotada é estritamente quantitativa, uma vez que lida com a identificação das variáveis relevantes à situação estudada, avaliando-se seus resultados sob a ótica de diferentes técnicas estatísticas (GANGA, 2012).

O primeiro passo para o estudo foi a obtenção dos dados necessários à avaliação, coletados do Painel Coronavírus Brasil, disponível no website covid.saude.gov.br. O painel é utilizado pelo Ministério da Saúde, por meio da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS), como veículo oficial de comunicação sobre a situação epidemiológica da Covid-19 no Brasil. Além disso, o mesmo site disponibiliza um arquivo em formato CSV para download, contendo toda a base de dados utilizada para a construção dos dashboards do portal.

A base de dados disponibilizada continha dados da pandemia de todo o país desde o dia 25 de janeiro de 2020, dia a dia, estratificada por estados e municípios. Número de novos casos, casos acumulados, novos óbitos, óbitos acumulados, novos recuperados e novos casos em acompanhamento eram as informações contidas na base de dados. Tendo em vista a maior confiabilidade da notificação de mortes (LISBOA, 2020), a informação de novos óbitos foi selecionada para as análises.

Optou-se por estudar o indicador segmentado pelos estados da região Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), a fim de se obter um panorama geral da região e comparar os estados entre si. Esse recorte geográfico se justificou pelo interesse particular dos autores de analisar e diagnosticar a evolução

pandêmica das localidades nas quais residem (MG e SP) e compará-las com os outros estados que também integram o Sudeste.

O período definido para a análise foi de 181 dias. Escolheu-se o primeiro semestre de 2021 (01 de janeiro de 2021 a 30 de junho de 2021), baseando-se em dois aspectos principais: primeiro, julgou-se que nesse período os dados divulgados pelo Ministério da Saúde estariam melhor consolidados, visto a experiência desenvolvida durante o ano 2020; e segundo: nesse período foram registrados os maiores picos de óbitos por dia, caracterizando-se como um dos períodos mais críticos da pandemia no país (até a data de coleta dos dados).

Após coleta, extração e tratamento dos dados, aplicou-se os dois métodos deste estudo, Média Móvel e Carta de Controle, cujos procedimentos de execução estão descritos nos subtópicos a seguir.

2.2.1 Aplicação da Média Móvel

Os dados dos 181 dias foram plotados em uma planilha eletrônica do Microsoft Excel, na qual calculou-se a Média Móvel Simples da quantidade de óbitos. O número de períodos utilizado para apurar a MM foi de 7 dias, seguindo o parâmetro comumente utilizado pelos veículos de comunicação. Seguidamente, as MMs calculadas foram plotadas no Minitab e, então, gerados os gráficos da MM para cada um dos estados.

2.2.2 Aplicação da Carta de Controle

De posse dos dados tratados, verificaram-se as hipóteses de normalidade e independência das observações de novos óbitos, a fim de se determinar qual modelo de Carta de Controle melhor se adequaria ao estudo.

Para averiguação da normalidade, fizeram-se uso do Gráfico de Probabilidade Normal e do teste de hipótese, por meio dos quais se testou, a um nível de significância $\alpha = 0,05$, a hipótese nula de normalidade dos dados.

Verificou-se, também, a independência dos dados, estimando-se analiticamente o nível de autocorrelação, por meio da Função de Autocorrelação Amostral (FAC), conforme Eq. (5). Calculou-se r_1 para cada estado com o objetivo de se encontrar o nível de autocorrelação entre as observações dos instantes t e $t - 1$, ou seja, o quanto a observação do dia anterior se relaciona com a observação do dia atual.

Tendo em vista que a execução de gráficos de controle com conjuntos de dados autocorrelacionados está sujeita a frequentes alarmes falsos e análises equívocas, calculou-se a FAC para diversas defasagens (k) até que se encontrasse um nível de autocorrelação em que $r_k < 2/\sqrt{n}$, a fim de se interromper a autocorrelação encontrada nos dados.

Quando encontrado $r_k < 2/\sqrt{n}$, os conjuntos de 181 dias foram filtrados de modo a se ter, agora, dados de k em k dias. Assim, o conjunto de dados de cada região passou a ter $n' = n/k$ observações (arredondando para cima). Com a filtragem, pôde-se interromper a autocorrelação dos dados.

Novamente, após esse procedimento, testou-se a normalidade dos dados. Para a maioria dos estados, o valor-p continuou menor que α , atestando a não normalidade. Assim, pautando-se na ideia de robustez do gráfico de controle da MMEP à violação da hipótese de normalidade apresentada por Montgomery (2017), optou-se por esse modelo de Carta de Controle.

Construíram-se, então, as Cartas de Controle com os dados filtrados para cada um dos estados, seguindo a regra empírica geral de escolha de $\lambda = 0,2$ e $L = 3$, conforme sugerido por Montgomery (2017).

2.2.3 Análise e comparação da MM e Carta MMEP

Após a aplicação das técnicas e ferramentas propostas sobre a quantidade de óbitos pela Covid-19 nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, avaliaram-se os resultados quanto ao monitoramento pandêmico do período escolhido e obtiveram-se conclusões sobre a eficácia de cada uma das técnicas utilizadas.

Realizou-se, também, uma simulação do monitoramento on-line a partir do dia 01/01/2021. O objetivo era se parametrizar um dia e analisar o comportamento de ambas as ferramentas nesse dia em questão, conforme passo a passo:

- simulou-se o monitoramento on-line do número de óbitos, dia a dia, até que a Carta MMEP apontasse o primeiro ponto fora dos limites;
- construiu-se o gráfico da MM entre o dia 01/01/2021 e a data cujo ponto ultrapassou os limites na Carta MMEP;
- plotaram-se o gráfico da MM e a Carta MMEP lado a lado;

- compararam-se graficamente as informações que cada ferramenta possibilitou inferir.

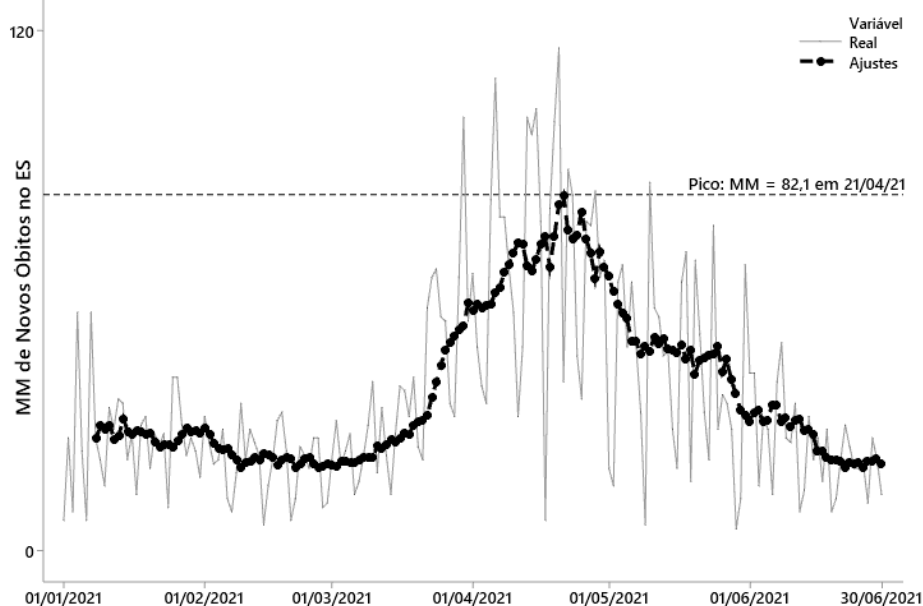
2.3 Resultados e Discussões

A apresentação dos resultados foi dividida em três partes. A princípio, apresentam-se os gráficos da Média Móvel Simples. Em seguida, as Cartas MMEP são expostas. Posteriormente, relata-se acerca da comparação das duas ferramentas na simulação de um monitoramento on-line e discorre-se, por fim, sobre os pontos positivos e negativos apresentados por cada uma das técnicas.

2.3.1 Gráficos da Média Móvel

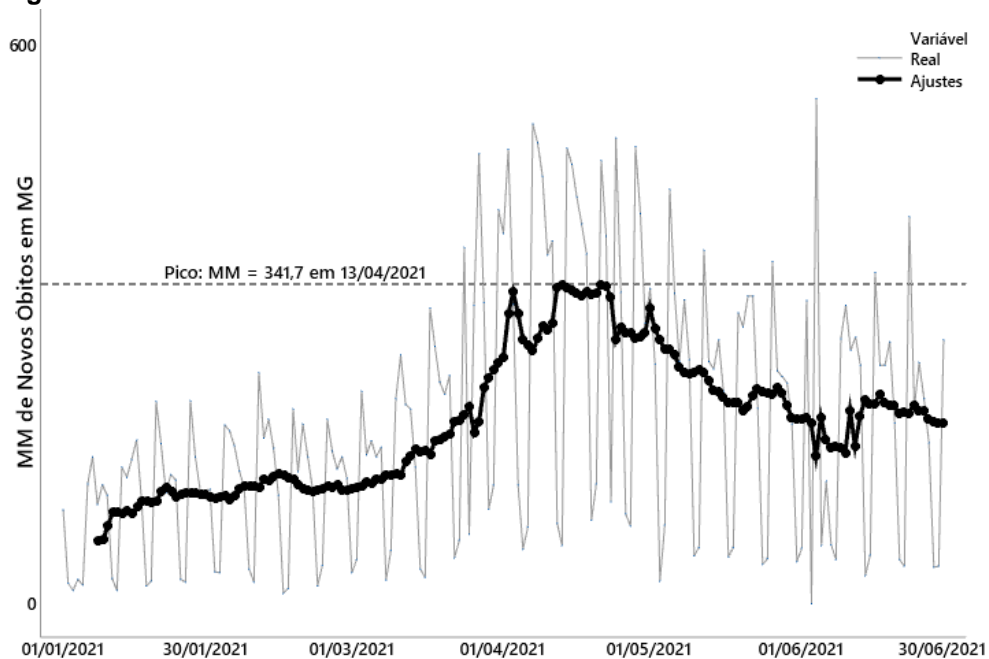
Após estratificação e consolidação dos dados referentes aos 181 dias (01/01/2021 a 30/06/2021), construíram-se os gráficos da Média Móvel Simples de novos óbitos para o Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, conforme Figuras 2 a 5, respectivamente. Em cada gráfico, é possível visualizar a linha de ajuste da MM, bem como a linha que representa os dados reais em cada um dos dias. Também, vê-se em destaque uma linha pontilhada que aponta o dia em que cada estado obteve o maior pico de MM do período.

Figura 2 – Gráfico MM de Novos Óbito no Espírito Santo



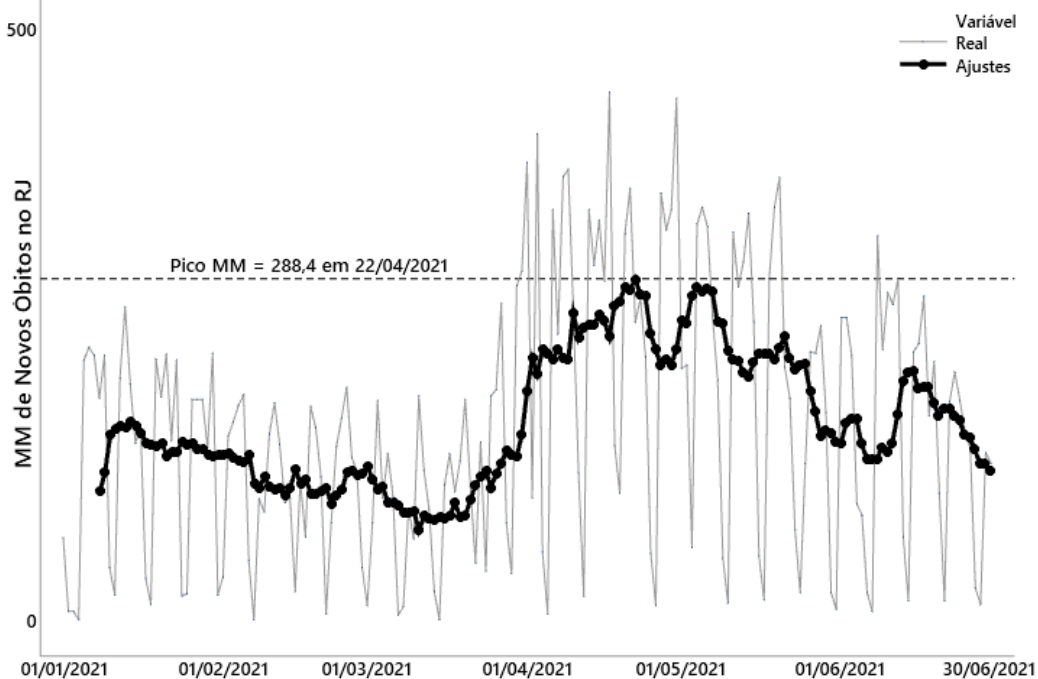
Fonte: Os autores.

Figura 3 – Gráfico MM de Novos Óbito em Minas Gerais



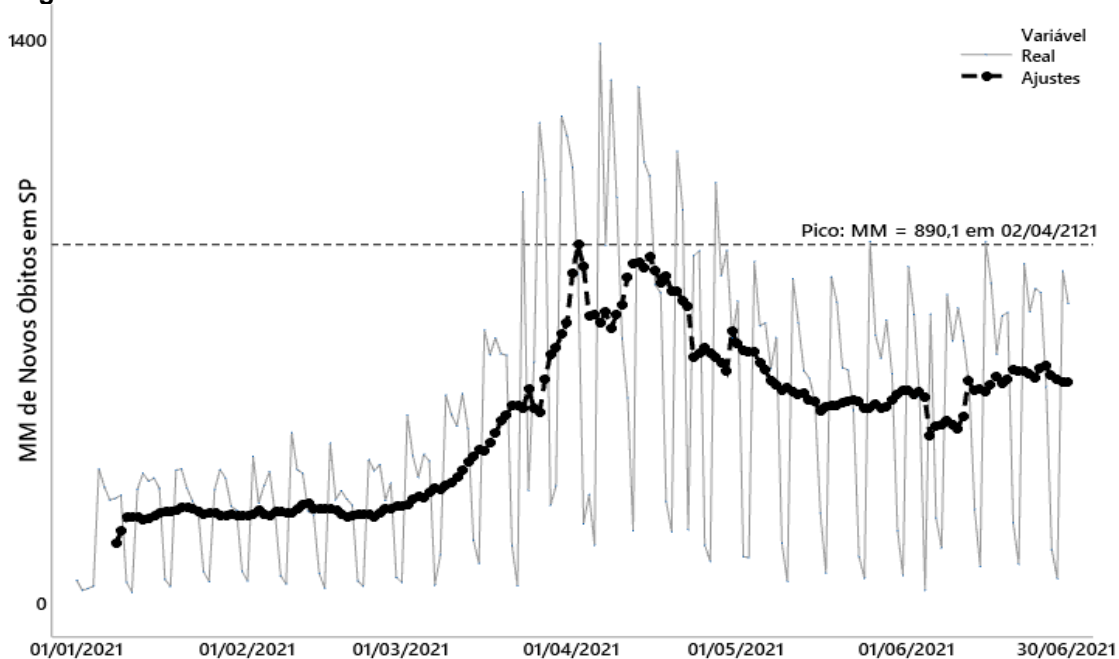
Fonte: Os autores.

Figura 4 – Gráfico MM de Novos Óbito no Rio de Janeiro



Fonte: Os autores.

Figura 5 – Gráfico MM de Novos Óbito em São Paulo

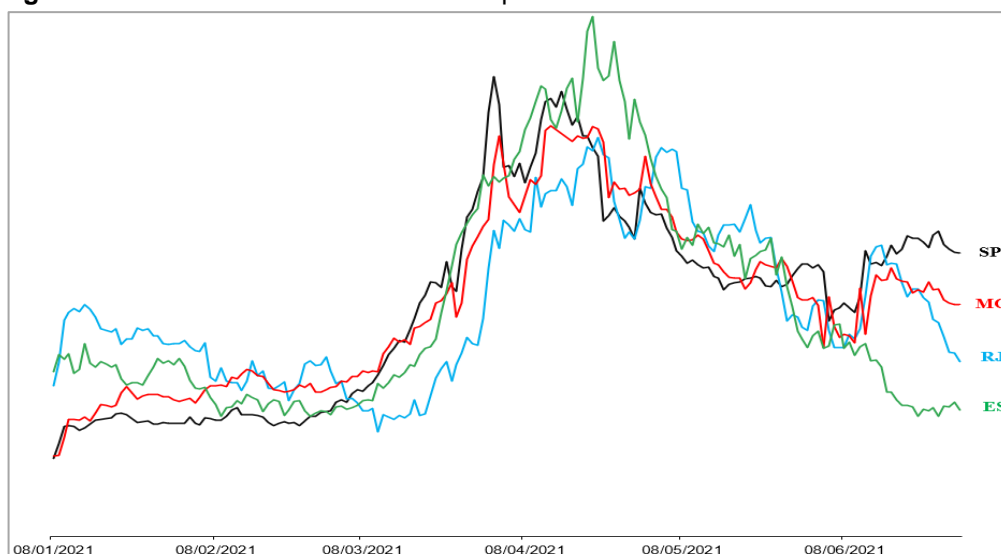


Fonte: Os autores.

Pelos gráficos da MM, é possível perceber, pelos vales da linha da variável real, as oscilações no indicador de óbitos nos fins de semana, como já apontava Rodrigues *et al.* (2021). Com a aplicação da ferramenta, conseguiu-se eliminar as flutuações aleatórias, confirmando a capacidade do método de suavizar tais variações, como dito por Silva e Piratelli (2019).

A fim de se obter um panorama da situação epidemiológica da região Sudeste no período em estudo, os gráficos da MM foram sobrepostos (ignorando-se a escala do eixo vertical), conforme Figura 6. Com isso, pode ser observado que os quatro estados da região seguiram uma tendência similar de crescimento ou diminuição do número de óbitos. Além disso, destaca-se um aumento exponencial do indicador em meados de março de 2021 e uma tendência de queda a partir de maio de 2021.

Figura 6 – Gráficos da Média Móvel sobrepostos



Fonte: Os autores.

2.3.2 Cartas de Controle da MMEP

Tendo em vista a premissa de normalidade e independência dos dados para uso dos gráficos de controle, realizou-se testes nas 181 observações originais de cada estado. Na averiguação da normalidade, rejeitou-se, a um nível de significância $\alpha = 0,05$, a hipótese nula de normalidade dos dados, haja vista que o valor-p encontrado foi menor que α para os quatro estados. Os gráficos de probabilidade são apresentados no Apêndice A.

Na verificação da independência, por meio do cálculo de r_1 , constatou-se relativa autocorrelação nos dados (Tabela 1), ou seja, os dados não são independentes. Aliado a isso, percebeu-se que para o lag $k = 1$, em todos os estados, a autocorrelação ultrapassou o limite de significância de 5%, como exposto no Apêndice B.

Tabela 1 – Autocorrelação dos dados

Estado	r_1	Resultado
Espírito Santo	0,556	Dados Não Independentes
Minas Gerais	0,375	Dados Não Independentes
Rio de Janeiro	0,526	Dados Não Independentes
São Paulo	0,437	Dados Não Independentes

Fonte: Os autores.

Na busca por um espaçamento (lag) entre os dados que interrompesse a autocorrelação, por meio do cálculo da FAC para diversas defasagens (k) até que $r_k < 2/\sqrt{n}$, chegou-se aos resultados da Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo da Análise de Autocorrelação

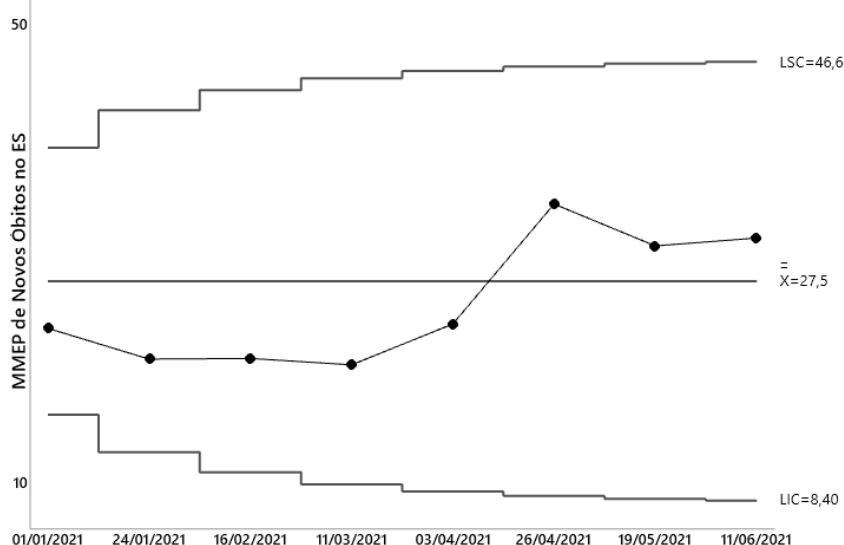
Estado	n	k em que $r_k < 2/\sqrt{n}$	r_k	n'	f
Espírito Santo	181	23	$r_{23} = 0,112$	8	23 em 23 dias
Minas Gerais	181	2	$r_2 = 0,056$	91	2 em 2 dias
Rio de Janeiro	181	2	$r_2 = 0,093$	91	2 em 2 dias
São Paulo	181	2	$r_2 = 0,115$	91	2 em 2 dias

Fonte: Os autores.

Para MG, RJ e SP conseguiu-se interromper a autocorrelação no segundo lag, assim, os dados originais foram filtrados a uma frequência (f) de 2 em 2 dias, reduzindo o conjunto de dados de $n = 181$ para $n' = 91$. Para o ES, ocorreu algo diferente, o k cujo $r_k < 2/\sqrt{n}$ encontrado foi de 23, assim, os dados foram filtrados a uma frequência de 23 em 23 dias, ocasionando em $n' = 8$.

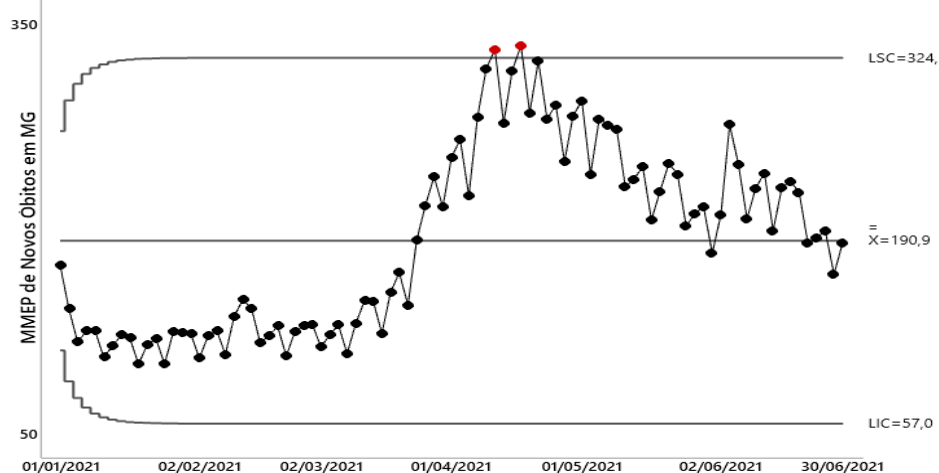
Após a filtragem e interrupção da autocorrelação, testou-se novamente a normalidade dos dados filtrados. Nos novos testes, apenas os dados do ES apresentaram-se normais, e para os estados de MG, SP e RJ os dados continuaram não normais (Apêndice C). Em seguida, prosseguiu-se para a construção das Cartas de Controle da MMEP, as quais seguem nas Figuras 7 a 10.

Figura 7 – Carta de Controle MMEP de Novos Óbito no Espírito Santo



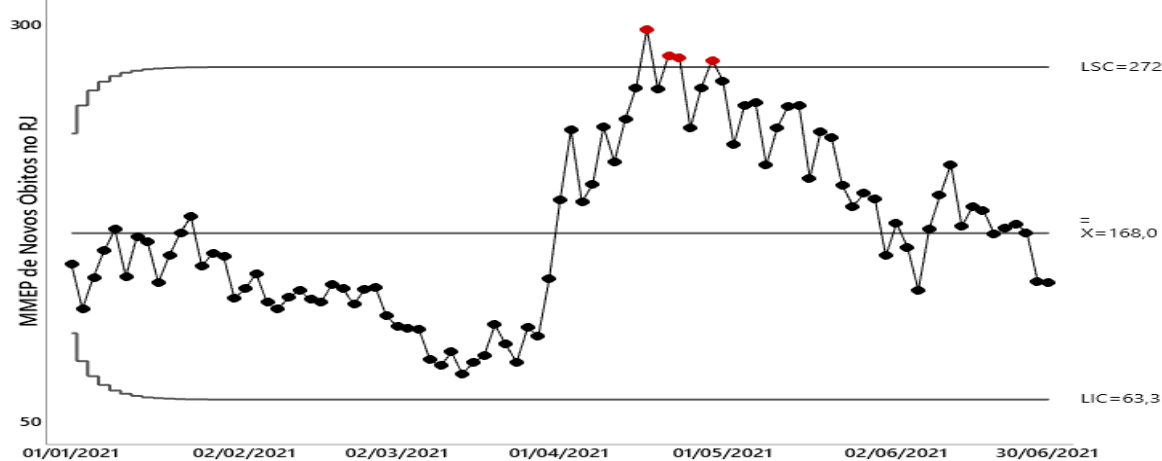
Fonte: Os autores.

Figura 8 – Carta de Controle MMEP de Novos Óbito em Minas Gerais



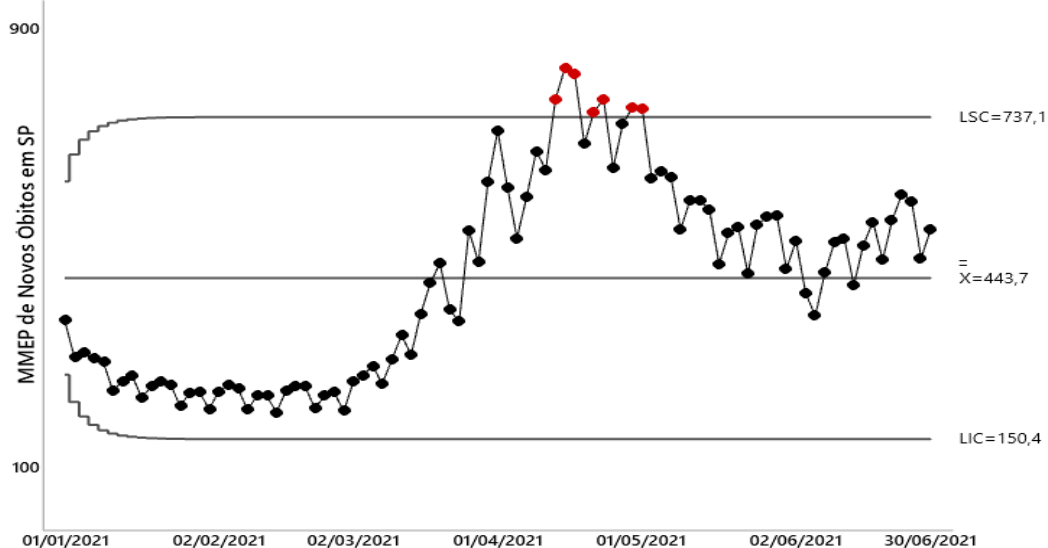
Fonte: Os autores.

Figura 9 – Carta de Controle MMEP de Novos Óbito no Rio de Janeiro



Fonte: Os autores.

Figura 10 – Carta de Controle MMEP de Novos Óbito em São Paulo



Fonte: Os autores.

Analisando as Cartas de Controle da MMEP, é possível inferir que os óbitos em MG, RJ e SP estiveram fora de controle durante o primeiro semestre de 2021, uma vez que alguns pontos ultrapassaram o LSC. Percebe-se, também, que as datas cujos pontos saíram dos limites se assemelham às datas em que os gráficos da MM apresentaram pico de mortes.

Por outro lado, a Carta de Controle do Espírito Santo sugere que o quadro de mortes no estado estaria sob controle. Entretanto, desconfia-se desse resultado tendo em vista a diminuição drástica dos dados ocasionada pela filtragem. Além disso, percebeu-se um comportamento destoante do apresentado pelo gráfico da MM. Assim, devido a esses fatores, julga-se inconclusiva a situação epidemiológica apresentada pela Carta MMEP do ES.

2.3.3 Monitoramento on-line simulado

Com o objetivo de comparar as ferramentas, simulou-se o monitoramento on-line do número de óbitos, dia a dia, até que a Carta MMEP apontasse o primeiro ponto fora dos limites, indicando que o processo deixava de estar sob controle. Na simulação, foram utilizados os dados filtrados (sem efeito de autocorrelação), por isso apenas as cartas de MG, RJ e SP foram simuladas. Para os três estados, então, definiu-se o dia no qual seria possível afirmar, com confiança estatística, que o indicador de quantidade de mortes estaria fora de controle, deslocando-se para cima. As datas encontradas seguem no Quadro 1.

Quadro 1 – Primeiro ponto fora de controle no monitoramento on-line simulado

Estado	Primeiro ponto fora dos limites	Data
Minas Gerais	44 ^o	28/03/2021
Rio de Janeiro	47 ^o	03/04/2021
São Paulo	39 ^o	18/03/2021

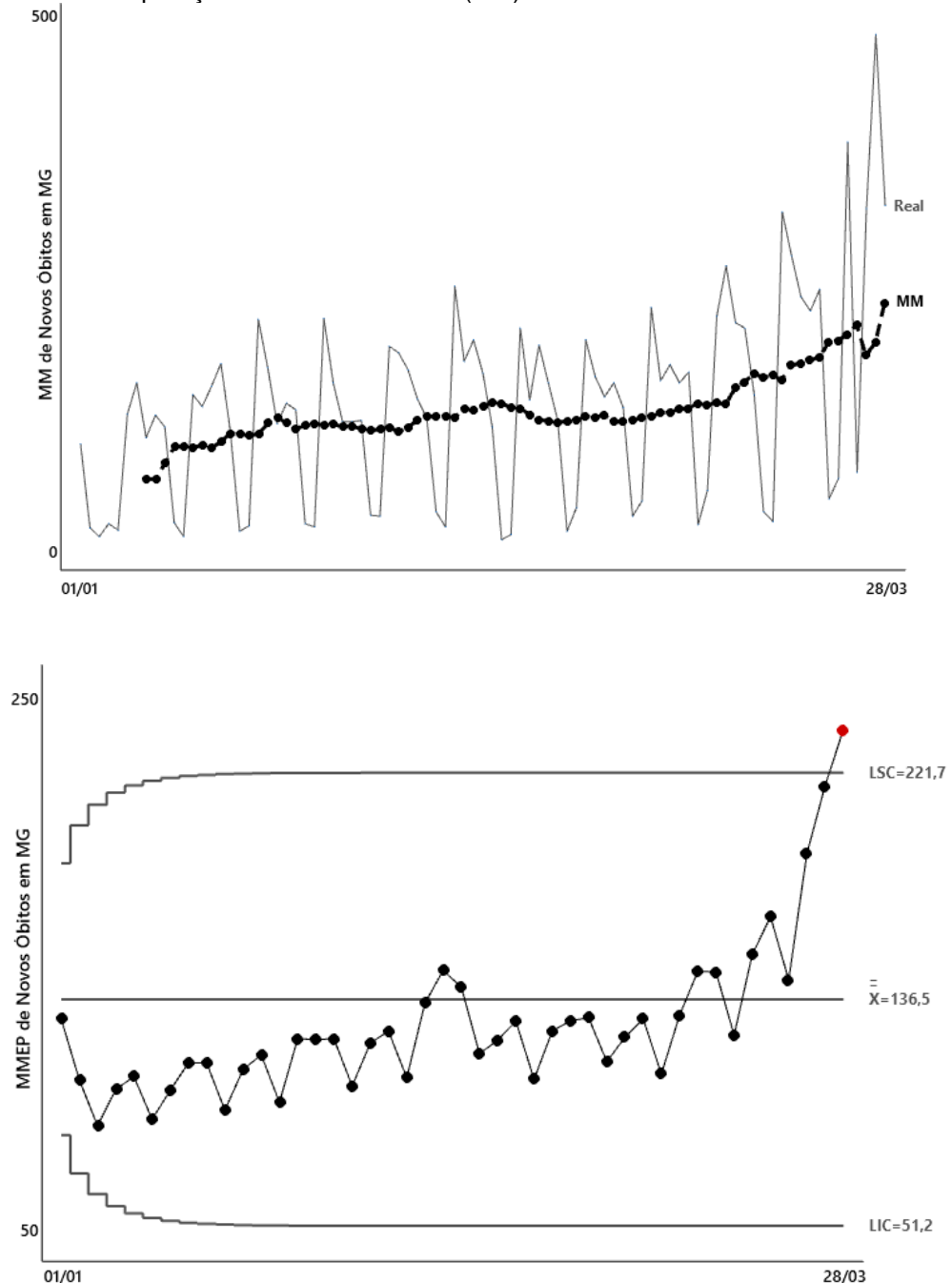
Fonte: Os autores.

Depois disso, construíram-se os gráficos da MM dos três estados, do dia 01/01/2021 até a respectiva data do Quadro 1 (usando-se os dados originais). Foram anexados junto às Cartas MMEP, a fim de se poder compará-los graficamente conforme Figuras 13 a 15.

Pela Figura 11, nota-se, graficamente, que a MM demonstra uma tendência de crescimento, porém lenta, não sendo possível aferir por meio dela, em 28/03/2021, que a quantidade de óbitos em Minas Gerias estaria em descontrole. Por outro lado,

a Carta MMEP, acusa, já em 28/03/2021, descontrol no indicador de mortes. Isso significa que, naquela data, o processo passava a ser descrito por uma nova média significativamente maior que média global ($\bar{x} = 136,5$).

Figura 11 – Comparação MM e Carta MMEP (MG)

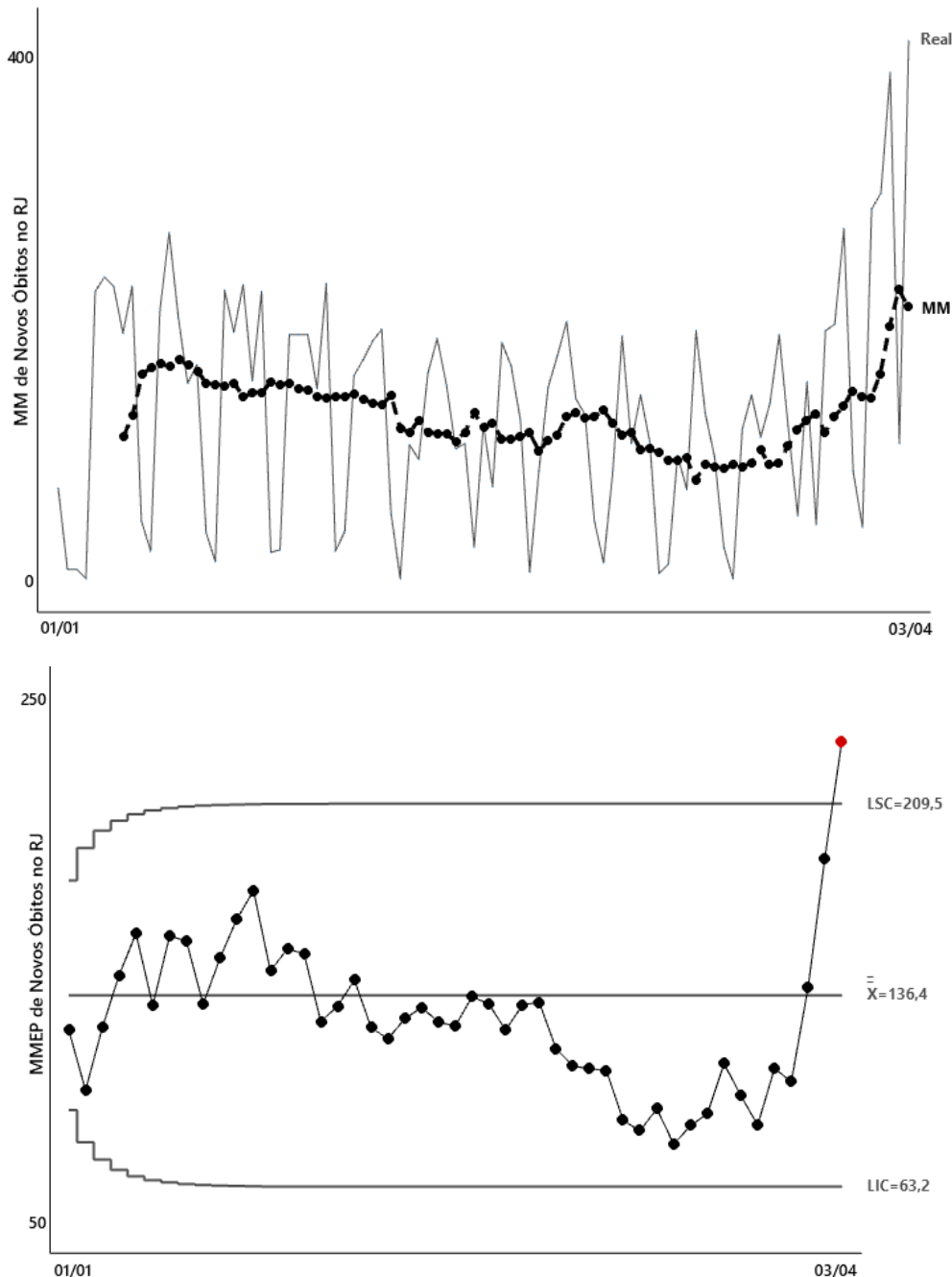


Fonte: Os autores.

Conforme a Figura 12, diz-se que as inferências sobre a MM do RJ se assemelham às da MM de MG. Percebe-se um crescimento nos últimos dias, porém, inconclusivo sobre o controle das mortes. É difícil concluir por meio da MM que houve ou não deslocamento da média global do processo. Já observando a Carta MMEP,

nota-se, indiscutivelmente, que a média global do sistema se deslocou para cima, haja vista o ponto acima do LSC, bem como o crescimento rápido e repentino dos últimos quatro pontos da carta.

Figura 12 – Comparação MM e Carta MMEP (RJ)

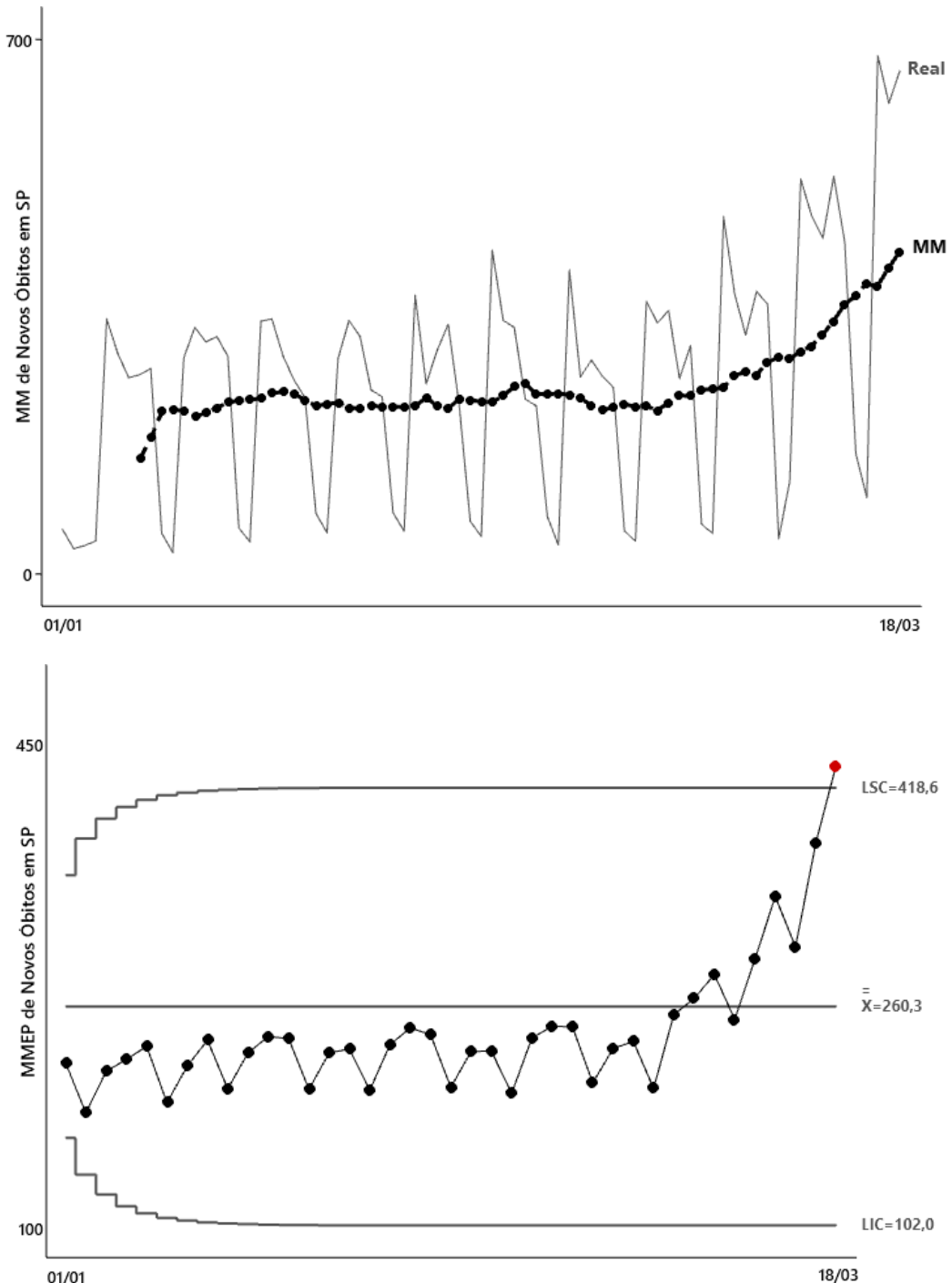


Fonte: Os autores.

Pela Figura 13, percebe-se um crescimento mais acentuado da MM em SP. Por meio da MM é possível especular que a quantidade de óbitos no estado estaria alcançando patamares consideravelmente maiores, sinalizando para um possível

descontrole do número de óbitos. A Carta MMEP, complementarmente, confirma tal especulação ao passo que a observação do dia 18/03 ultrapassa o LSC.

Figura 13 – Comparação MM e Carta MMEP (SP)



Fonte: Os autores.

2.3.4 Análise e comparação entre as ferramentas

De forma geral, tanto a MM, quanto as Cartas MMEP se mostraram capazes de identificar tendência de crescimento dos óbitos decorrentes da Covid-19. Foi possível inferir que ambas as ferramentas possuem pontos positivos e negativos quanto ao propósito de monitoramento, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparação da MM e da Carta MMEP no monitoramento on-line

	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Média Móvel Simples	<ul style="list-style-type: none">• Fácil construção;• Fácil entendimento;• Insensibilidade à normalidade e independência dos dados.	<ul style="list-style-type: none">• Falta de parâmetros para identificação de mudanças estatisticamente significativas;• Interpretação pouco objetiva.
Carta de Controle MMEP	<ul style="list-style-type: none">• Robustez na detecção de mudança;• Interpretação muito objetiva.	<ul style="list-style-type: none">• Construção trabalhosa;• Sensibilidade à autocorrelação dos dados.

Fonte: Os autores.

Uma vez que a MM utiliza conceitos matemáticos simples, como a média aritmética, recomenda-se seu uso em contextos que demandam agilidade e razoável rigor de robustez estatística. Além disso, o fato de ser representada por meio de um gráfico sequencial em linha, facilita a compreensão e visualização das tendências.

Quando se desejou ter respaldo estatístico para afirmar que houve mudança significativa no quadro de óbitos, a MM não se mostrou adequada, uma vez que a interpretação ficou diretamente relacionada à subjetividade de análise dos autores, tornando a interpretação da MM pouco objetiva. Na Carta MMEP, por sua vez, aplicando-se uma regra gráfica/matemática clara e objetiva, bruscas mudanças nos cenários de mortes puderam ser identificadas quando algum ponto ultrapassou o LSC.

Por outro lado, a fim de interromper a autocorrelação dos dados, testes e processos tiveram de ser executados testes e processos, o que tornou a construção das cartas mais trabalhosa. Além disso, entendeu-se que o fato da Carta MMEP utilizar conceitos estatísticos mais avançados distancia a ferramenta do público em geral, tornando-a mais adequada para instituições de monitoramento.

Outro ponto a se salientar diz respeito à Carta de Controle para o Espírito Santo. A exclusão das observações tornou a frequência de monitoramento lenta, inviabilizando a identificação prévia e ágil de tendências demandada pelo contexto pandêmico. Isso sem dúvidas, ressaltou a sujeição da Carta de Controle à hipótese

de independência dos dados, na medida em que foi possível interromper a autocorrelação em um lag muito alto, o que inviabilizou seu uso.

3 CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a aplicação de duas ferramentas estatísticas, a Média Móvel Simples e a Carta MMEP, como técnicas de apoio ao monitoramento da evolução da pandemia da Covid-19 no Sudeste.

Constatou-se a decisão assertiva dos veículos de comunicação em utilizar a MM como principal ferramenta de divulgação de indicadores pandêmicos, tendo em vista sua fácil construção, interpretação e relativa eficiência em demonstrar tendências evolutivas. Acredita-se, assim, que essa seja uma ferramenta capaz de se comunicar com a população.

Concatenado a isso, inferiu-se a viabilidade, confiabilidade e possibilidade de uso das Cartas de Controle para o mesmo monitoramento. Elas se mostraram eficientemente robustas para tal objetivo, apesar da complexidade de construção torná-las mais indicadas a entidades de vigilância que contam com profissionais familiarizados com conceitos estatísticos avançados.

No monitoramento on-line, a Carta MMEP, quando garantida a independência dos dados, se mostrou cientificamente mais objetiva em comparação com a MM, ao passo que bruscas mudanças nos cenários de mortes puderam ser identificadas mais rapidamente quando as observações ultrapassaram os limites de controle. Em contrapartida, a interpretação da MM ficou sujeita a subjetividade do avaliador.

Diante disso tudo, entendeu-se que a utilização conjunta da MM e da Carta MMEP pode ser uma alternativa que potencialize a correta inferência do comportamento pandêmico, haja vista que os pontos positivos de uma suprem os pontos negativos da outra. Enquanto a MM se comunicaria com a massa popular, a Carta MMEP respaldaria as autoridades governamentais na adoção e constatação de sucesso de contramedidas.

Portanto, ficou clara a importância do uso de ferramentas adequadas para monitoramento dos indicadores pandêmicos e sua correta aplicação a contextos específicos, bem como a observância e atendimento às premissas inerentes aos métodos estatísticos que se aplicam.

REFERÊNCIAS

- BORROR, C. M.; MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Robustness of the EWMA Control Chart to Nonnormality. **Journal of Quality Technology**, v. 31, n. 3, p. 309–316, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.1999.11979929>
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Painel Coronavírus**. 2.0. [S. l.], 27 jun. 2021. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>. Acesso em: 27 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.7476/9788575416068.0002>
- BURLIKOWSKA, M. D. Quality estimation of process with usage control charts type X-R and quality capability of process Cp, Cpk. **Journal of Materials Processing Technology**, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.210>
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e de Operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- CRESPO, A. A. **Estatística Fácil**. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.
- DIAS, M. A. P. **Administração de Materiais: uma abordagem logística**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- FRIGO, J. P. *et al.* **Comparação entre gráficos de controle de Shewhart, CUSUM e MMEP no processo de irrigação por aspersão convencional**. IRRIGA, Botucatu, p. 56-70, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p56-70>
- G1. **Mortes e casos de coronavírus nos estados**. Bem Estar: Coronavírus, 2021. Disponível em: <https://especiais.g1.globo.com/bemestar/coronavirus/estados-brasil-mortes-casos-media-movel/>. Acesso em: 5 jul. 2021.
- GANGA, G. M. D. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.5311912042>
- HARAKI, C. A. C. Estratégias Adotadas na América do Sul para a Gestão da Infodemia da COVID-19. **Revista Panam Salud Publica**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26633/rpsp.2021.43>
- HUNTER, J. S. The Exponentially Weighted Moving Average. **Journal of Quality Technology: A Quarterly Journal of Methods, Applications and Related Topics**, v. 18, n. 4, p. 203-210, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.1986.11979014>
- KRAJEWSKI, L.; MALHOTRA, M.; RITZMAN, L. **Administração de Produção e Operações**. [trad.] Mirian Santos Ribeiro de Oliveira. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LAZARETI, C. **PCP – Métodos de Previsão**. São Caetano do Sul, SP: Instituto Mauá de Tecnologia. 2021. DOI: <https://doi.org/10.18067/jbfs.v7i2.278>

LISBOA, V. **Agência Brasil explica**: como é feita média móvel de casos de covid-19. Rio de Janeiro: Agência Brasil, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2020-08/agencia-brasil-explica-media-movel-de-casos-de-covid-19>. Acesso em: 27 jun. 2021.

MAHMOOD, Y. *et al.* Monitoring of three-phase variations in the mortality of COVID-19 pandemic using control charts: where does Pakistan stand?. **International Journal for Quality in Health Care**, v. 33, p. 1–8, 5 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzab062>

MARAGAH, H. D.; WOODALL, W. H. **The Effect of Autocorrelation on the Retrospective** -Chart. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, v. 40, n. 1, pp. 29–42, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1080/00949659208811363>

MASTRANGELO, C. M.; MONTGOMERY, D. C. Some Statistical Process Control Methods for Aurocorrelated Data. **Journal of Quality Technology**, v. 23, n. 3, pp. 179–204, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.1991.11979321>

MBAYE, M. F.; SARR, N.; NGOM, B. Construction of Control Charts for Monitoring Various Parameters Related to the Management of the COVID-19 Pandemic. **Journal of Biosciences and Medicines**, v. 9, n. 3, p. 9-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4236/jbm.2021.93002>

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Modelos para previsão de séries temporais**. Poços de Caldas, MG: Instituto de matemática pura e aplicada, Colóquio Brasileiro de Matemática, v. 1, jun. 1981. DOI: <https://doi.org/10.17771/pucrio.acad.54566>

NNAMDI, E.; ODUNAYO, B. J.; AGBEDEYI, O. D. A retrospective analysis and monitoring of the spread of Covid-19 in Nigeria. **Global Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 26, n. 2, p. 157-163, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4314/gjpas.v26i2.7>

OMS. **Coronavírus**: Visão Geral. Brasil: OMS, 2021. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1. Acesso em: 27 jun. 2021.

OPAS. **Entenda a Infodemia e a Desinformação na Luta contra a Covid-19**. Nº 5. Departamento de Evidência e Inteligência para Ação em Saúde, 2020.

PERLA, R. J. *et al.* Understanding variation in reported covid-19 deaths with a novel Shewhart chart application. **International Journal for Quality in Health Care**, v. 33, n. 1, p. 1–8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzaa069>

PYZDEK, T.; KELLER, P. **Seis Sigma**. Guia do Profissional: Um Guia Completo para Green Belts, Black Belts e Gerentes em Todos os Níveis. 3. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011. DOI: <https://doi.org/10.17771/pucrio.acad.7752>

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. **Controle Estatístico do Processo**: Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição. Série monográfica Qualidade: Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS, Porto Alegre, 2012. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.8.2006.tde-18072007-125450>

ROBERTS, S. W. Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages. **Technometrics**, v. 1, n. 3, p. 239-250, 1959. DOI: <https://doi.org/10.1080/00401706.1959.10489860>

RODRIGUES, C. K. *et al.* Educação estatística: o conceito de média móvel no ensino fundamental na pandemia da Covid-19 no Brasil. **Educação Matemática em Pesquisa: Perspectivas e Tendências**, Guarajá, v. 3, p. 185-204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37885/210504510>

RUMSEY, D. J.; BATISTA, S. **Estatística para leigos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Alta books, 2019.

SANTOS, L. O. *et al.* **Análise de repositórios utilizados pela comunidade maker mundial para auxílio no combate à COVID-19**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XL., Foz do Iguaçu, Paraná, 2020. DOI: https://doi.org/10.14488/enegep2020_tn_sto_346_1779_40865

SHEWHART, W.A. **Economic Control of Quality of Manufactured Product**. Toronto, Canadá: D. Van Nostrand, 1931.

SILVA, G. J.; PIRATELLI, C. L. **Previsão de Vendas por Séries Temporais em uma Empresa de Nutrição para Animais Domésticos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXIX., Santos, São Paulo, 2019. DOI: https://doi.org/10.14488/enegep2019_tn_stp_292_1653_37167

SINGH, B. P. *et al.* **Evaluation of EWMA Control Charts for Monitoring Spread of Transformed Observations of COVID-19 in India**. Asian Journal of Research in Infectious Diseases, [s. l.], ano 2, v. 5, p. 25-36, 8 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajrid/2020/v5i230165>

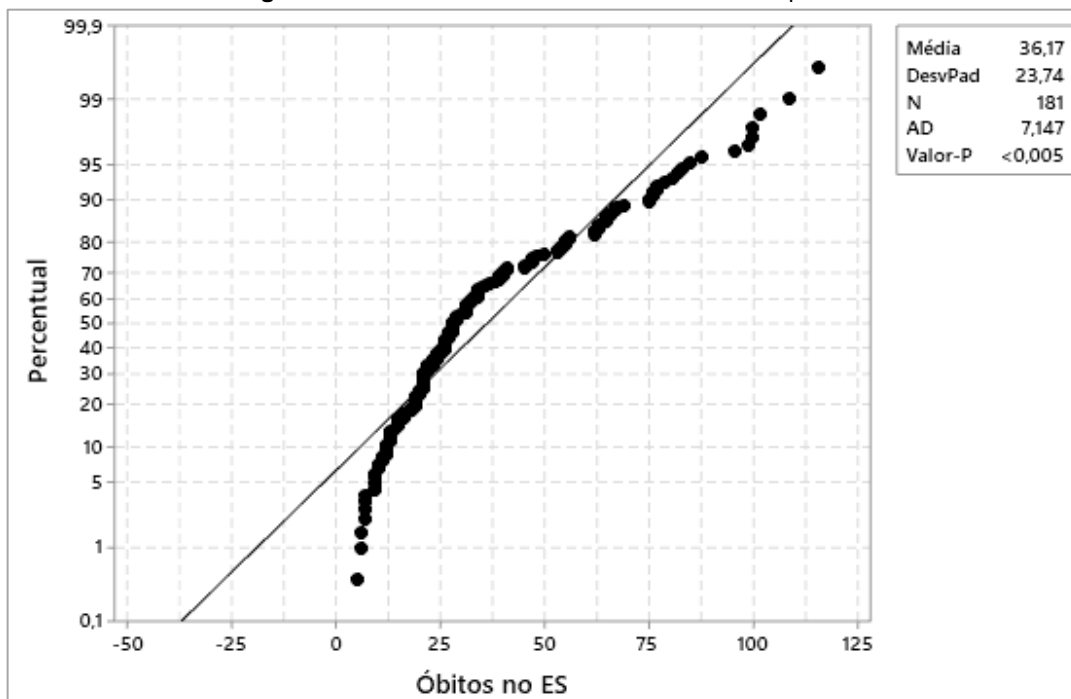
WERKEMA, C. **Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas ao PDCA e DMAIC**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.



Artigo recebido em: 16/02/2022 e aceito para publicação em: 30/12/2022
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i3.4577>

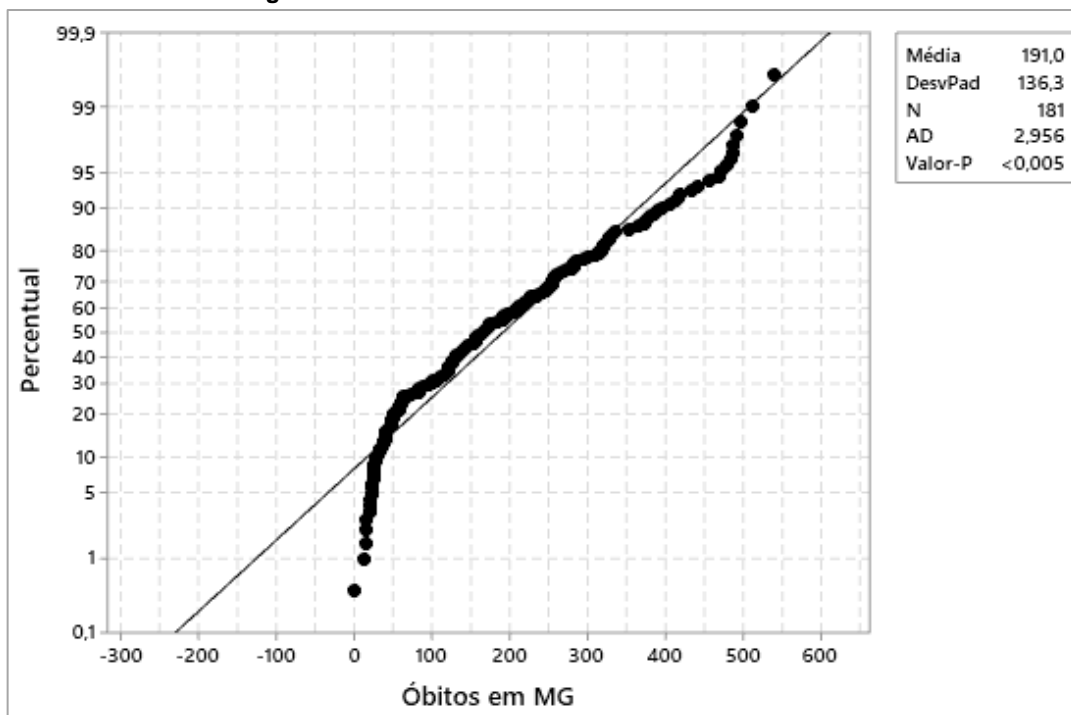
APÊNDICE A – Gráficos de Probabilidade Normal para cada estado

Figura 14 – Gráfico de Probabilidade Normal do Espírito Santo



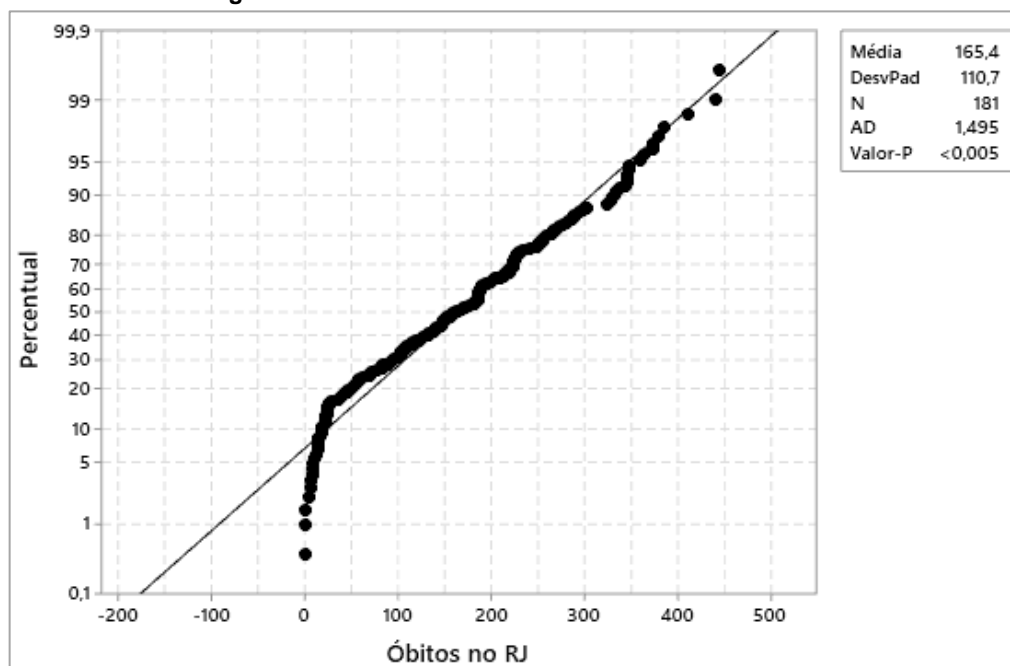
Fonte: Os autores.

Figura 15 – Gráfico de Probabilidade Normal de Minas Gerais



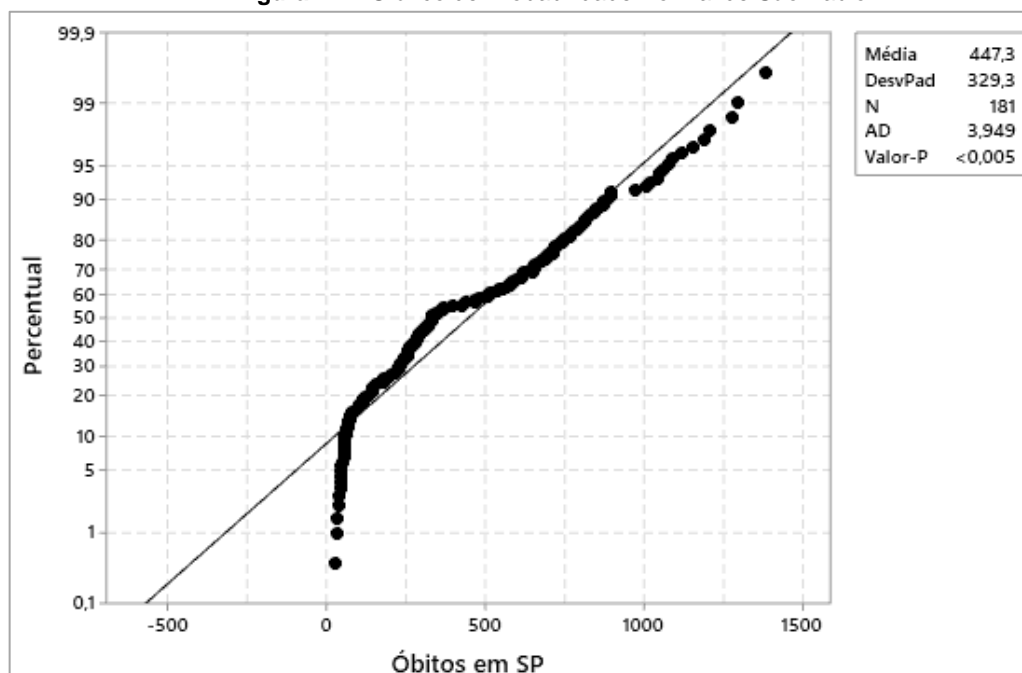
Fonte: Os autores.

Figura 16 – Gráfico de Probabilidade Normal do Rio de Janeiro



Fonte: Os autores.

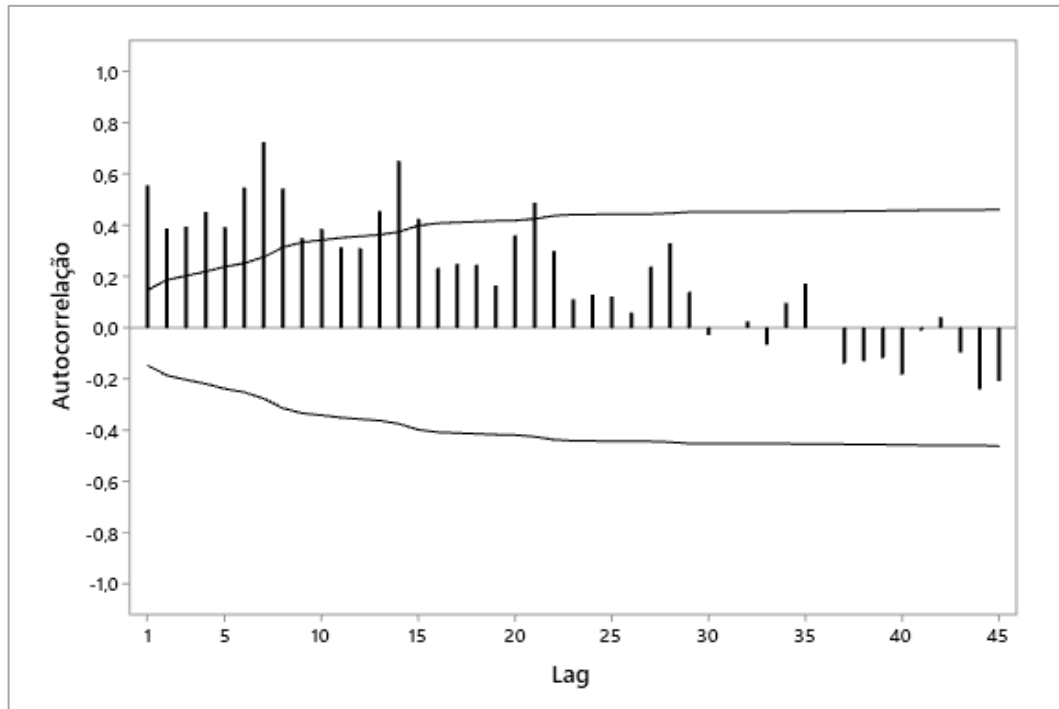
Figura 17 – Gráfico de Probabilidade Normal de São Paulo



Fonte: Os autores.

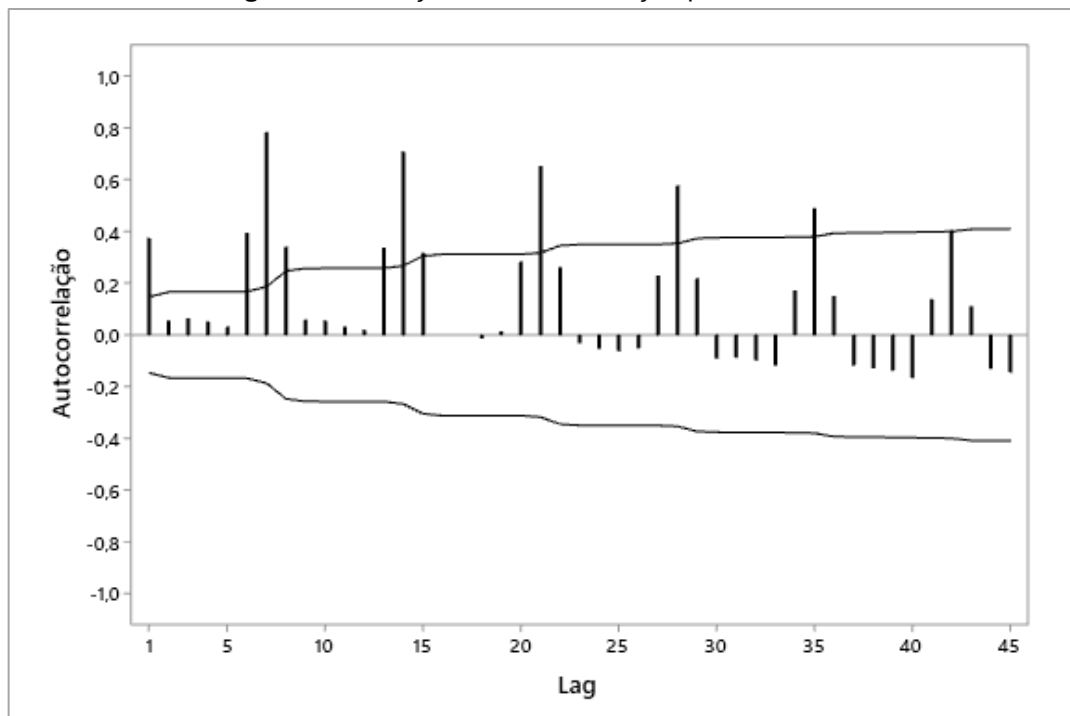
APÊNDICE B – Gráficos da Função de Autocorrelação para cada estado

Figura 18 – Função de Autocorrelação para o Espírito Santo



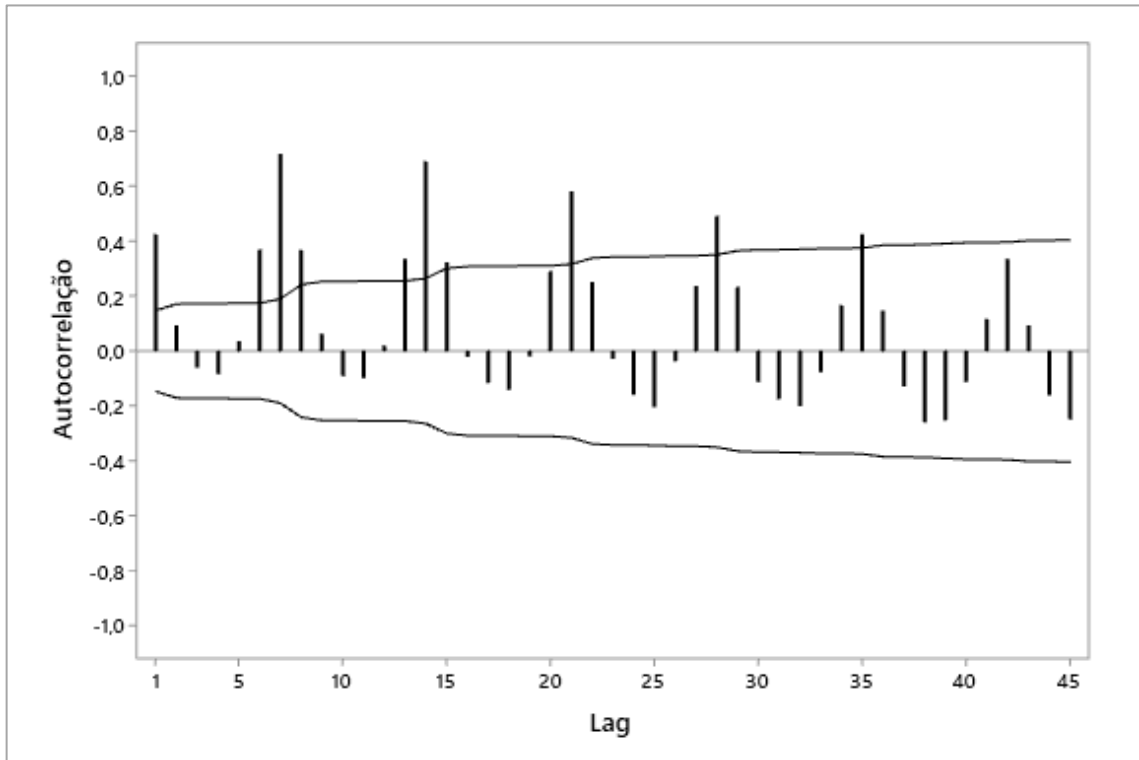
Fonte: Os autores.

Figura 19 – Função de Autocorrelação para Minas Gerais



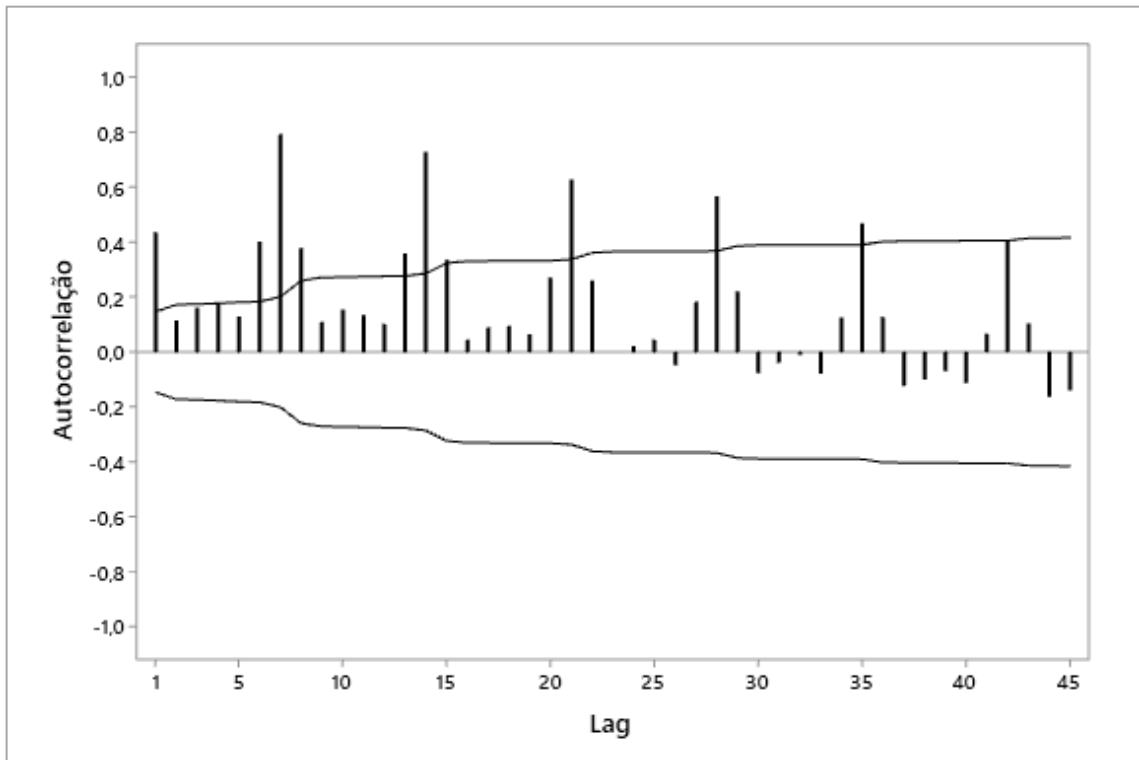
Fonte: Os autores.

Figura 20 – Função de Autocorrelação para o Rio de Janeiro



Fonte: Os autores.

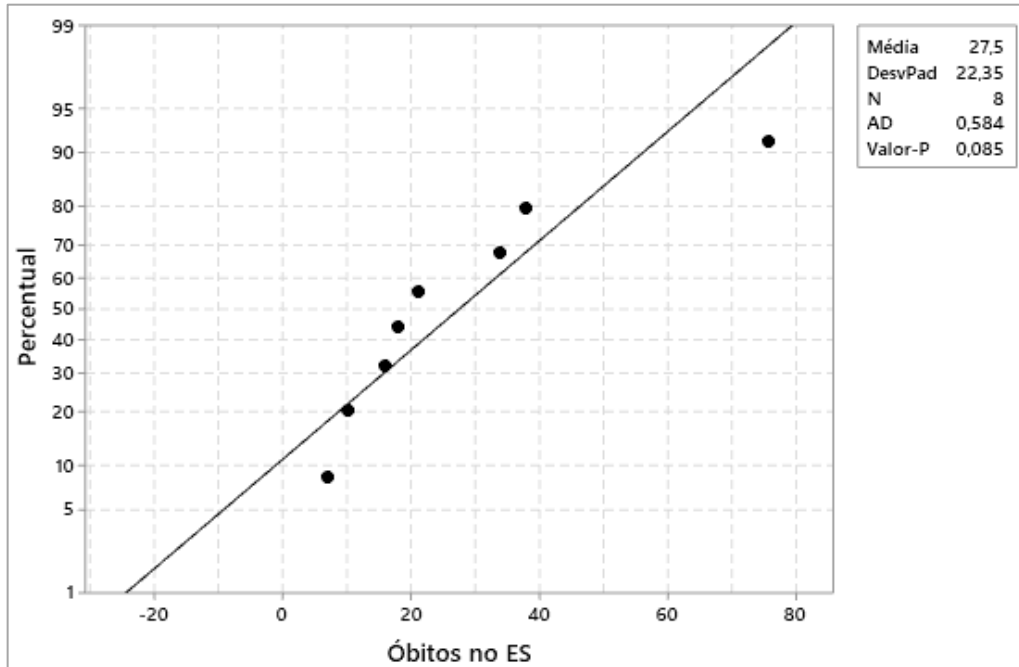
Figura 21 – Função de Autocorrelação para São Paulo



Fonte: Os autores.

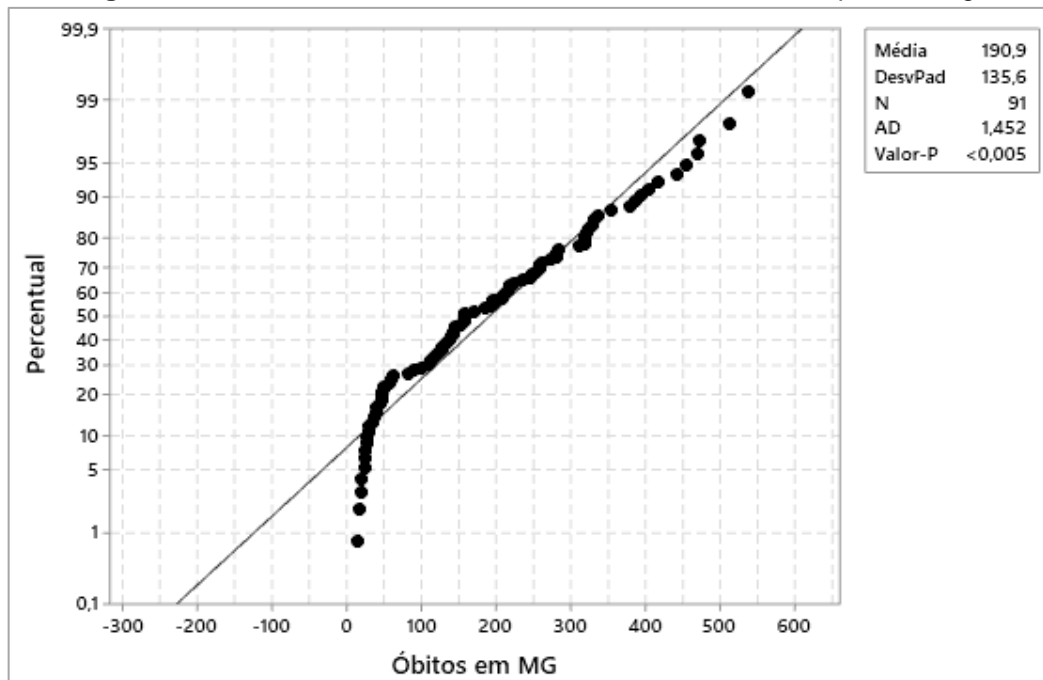
APÊNDICE C – Gráficos de Probabilidade Normal para cada estado após a filtragem

Figura 22 – Gráfico de Probabilidade Normal do Espírito Santo após a filtragem



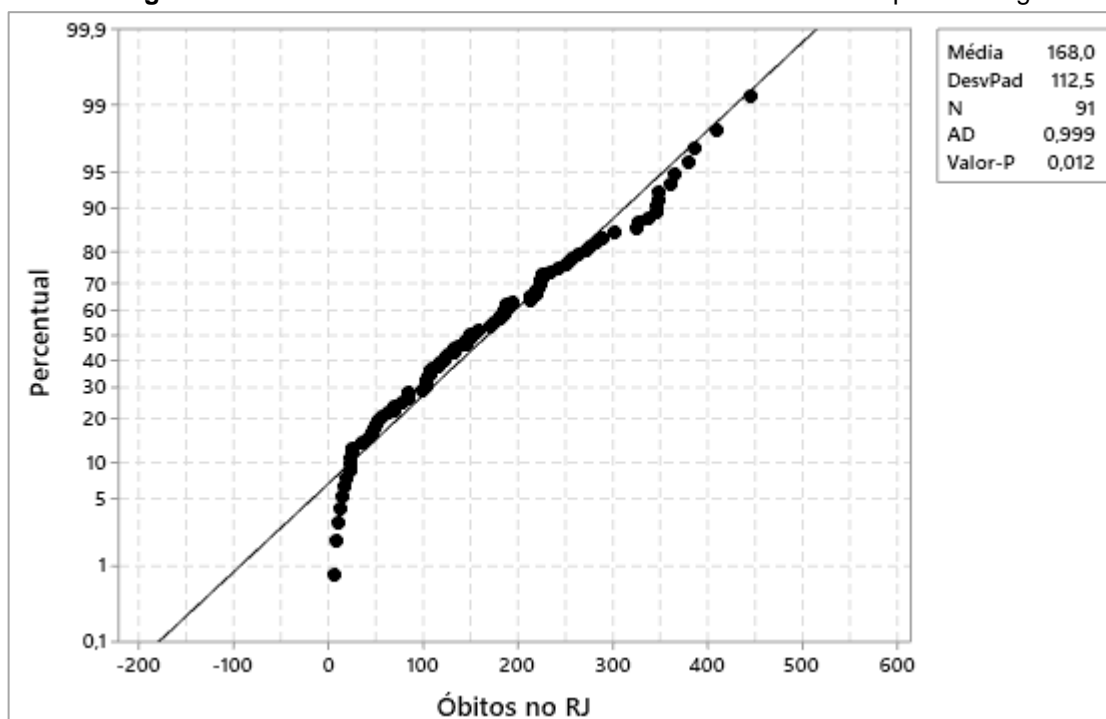
Fonte: Os autores.

Figura 23 – Gráfico de Probabilidade Normal de Minas Gerais após a filtragem



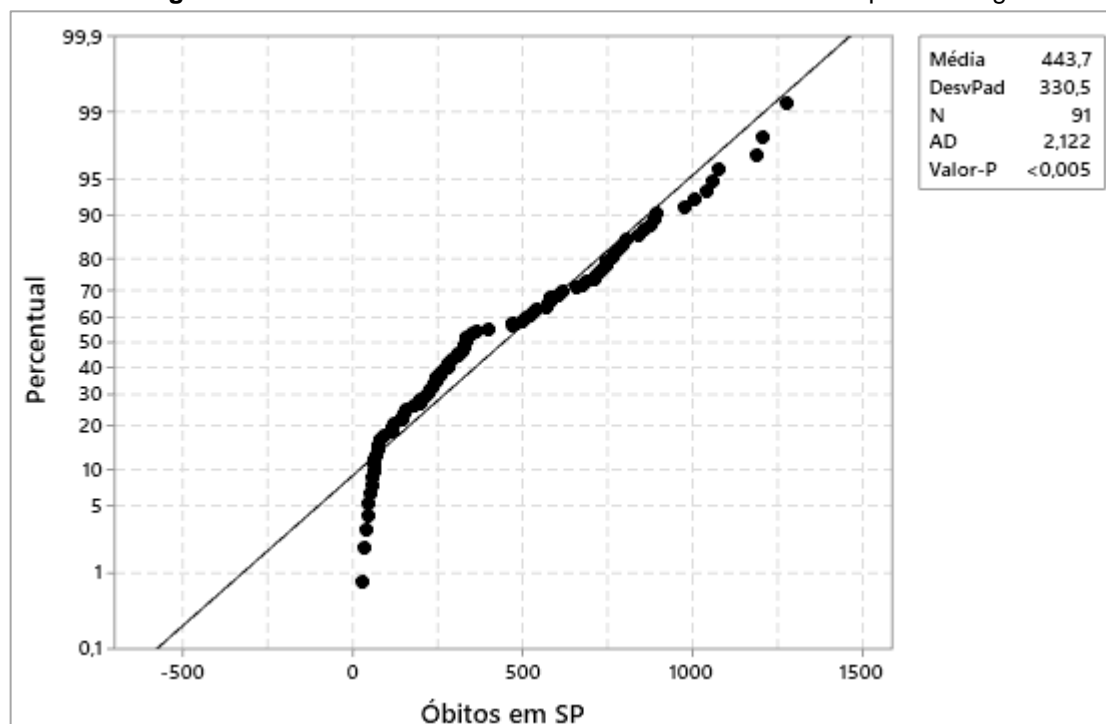
Fonte: Os autores.

Figura 24 – Gráfico de Probabilidade Normal do Rio de Janeiro após a filtragem



Fonte: Os autores.

Figura 25 – Gráfico de Probabilidade Normal de São Paulo após a filtragem



Fonte: Os autores.