



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E CIÊNCIAS ATUARIAS
GRUPO DE ESTATÍSTICA APLICADA

Nota técnica n^o 36 sobre COVID-19 no Brasil e no estado de Sergipe

Elaboração: Daniel Francisco Neyra Castañeda

Sumário

Introdução.....	2
Resultados Brasil.....	2
Modelagem para o Brasil	8
Letalidade.....	12
Incidência.....	13
Resultados Sergipe.....	14
Modelagem.....	15
Letalidade.....	18
Conclusões	19
Bibliografia	20
Anexos.....	20

Contato

E-mail: danielneyra@hotmail.com

São Cristóvão, 07 de janeiro de 2021

Introdução

Esta nota técnica é a sequência das notas publicadas nas semanas prévias. O trabalho segue os mesmos dados de estudo, e foi incluída a informação desta última semana. Também ressaltamos que esta, como outras publicadas na UFS são complementares. Cada uma apresenta um olhar particular, aqui se resalta a previsões futuras de casos e mortes confirmadas por COVID-19. O intuito é informar cientificamente os acontecimentos por esta pandemia.

As projeções realizadas neste trabalho não têm como objetivo acertar as estatísticas futuras e sim dar a direção deste fenômeno de pandemia. Modelos de regressão para ajustar a tendência foram aplicados aos casos acumulados e mortes acumuladas por COVID-19. Para os casos novos e mortes novas (dia a dia), os modelos de tendência, sazonalidade e ciclos foram abordados como Holt Winters e modelagem da família ARIMA (autorregressivos de médias moveis integrados), caso particular são os modelos SARIMA.

Na nota técnica anterior recriamos cenários de letalidades com 1%, 1.5%, 2% e a real, nesta nota técnica as atualizamos, pois entendemos que embora estas simulações não permitam alcançar os casos reais de contágio, os quais necessariamente são muito maiores, pelo menos tentamos dar uma ideia de quantos casos podem estar escondidos por causa da subnotificação. Também a taxa de prevalência em torno de 41.53, onde semana passada era de 29.81 por cada 100 000 habitantes. Os objetivos deste trabalho seguem as mesmas premissas do primeiro, que são descrever com Tabelas e Gráficos os casos e mortes confirmadas do COVID-19 no Brasil e no estado de Sergipe, além de usar modelos matemáticos para explicar e projetar os casos e mortes para os próximos dias.

Resultados Brasil

Para identificar o avanço da COVID-19 no Brasil e compara-lo no cenário mundial, elaboramos o Gráfico 01, onde ao longo do tempo, observa-se que o Brasil lentamente segue uma tendência de queda nas mortes e casos. Também o número de testes aplicados a sua população nesta semana é, em média, de 134 por cada 1000 habitantes, considerado baixo se comparado com os Estados Unidos com 793 testes por 1000 habitantes. Para avaliar em termos relativos o avanço desta pandemia, utilizamos os percentuais, relacionando o país com o Mundo, onde os percentuais são calculados usando a simples divisão de novos casos e mortes no Brasil com os novos casos e mortes no Mundo multiplicado por 100, como visualizado no Gráfico 02, aqui podemos observar que o Brasil ultrapassou em seis oportunidades 30% dos novos casos no Mundo, já para as mortes; em 13 oportunidades ultrapassou 30%; em duas ultrapassou 50% e em uma oportunidade atingiu 70% das mortes mundiais (1 039 mortes no Brasil e 1 485 no Mundo no dia 26 de maio), estes dois eventos colocam ao Brasil junto com a Índia e os Estados Unidos no topo do ranking mundial no momento, e atualmente o

Brasil inicia uma retomada de crescimento proporcional ao avanço global, e ganha novamente protagonismo mundial, aumentando na curva de crescimento e atualmente oscilando em torno de 10%, para os casos e mortes, porém nestas quatro semanas uma onda de crescimento de casos se instalou no Brasil, onde o mundo esta em aumento e o Brasil acompanhando estes aumentos o que poder observado nos gráficos 01 e 02.

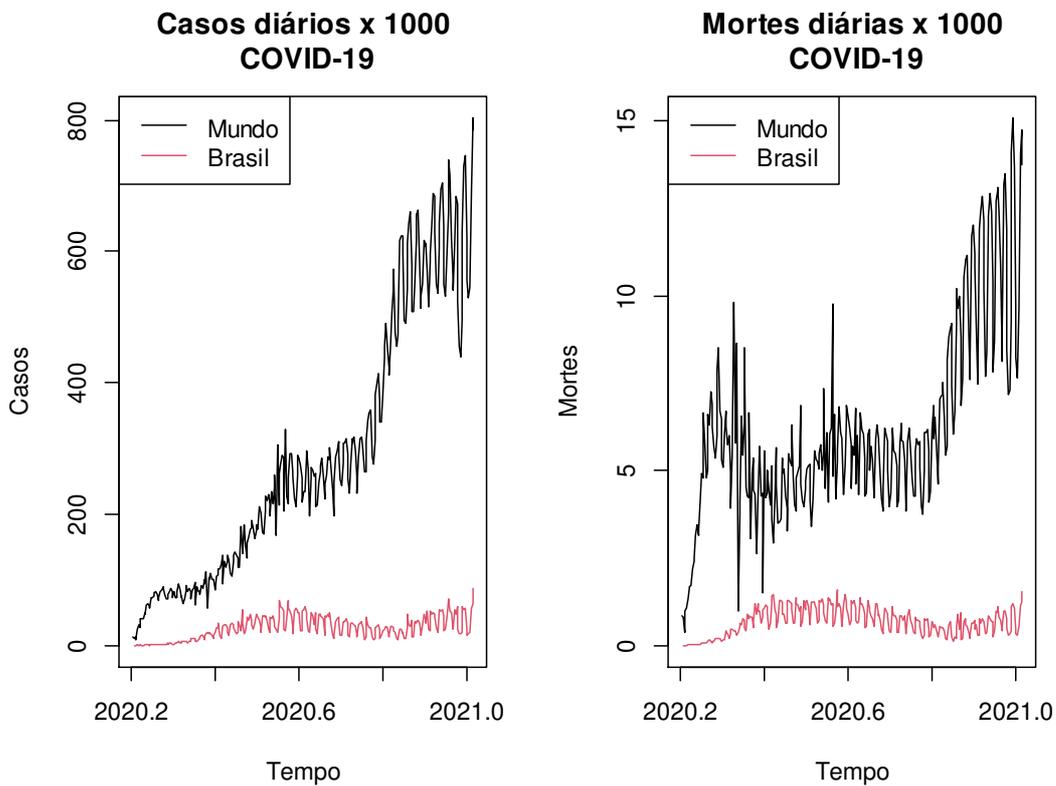


Gráfico 01. Avanço de casos e Mortes em Brasil comparado no cenário mundial.

Percentuais do Brasil no Mundo por COVID-19

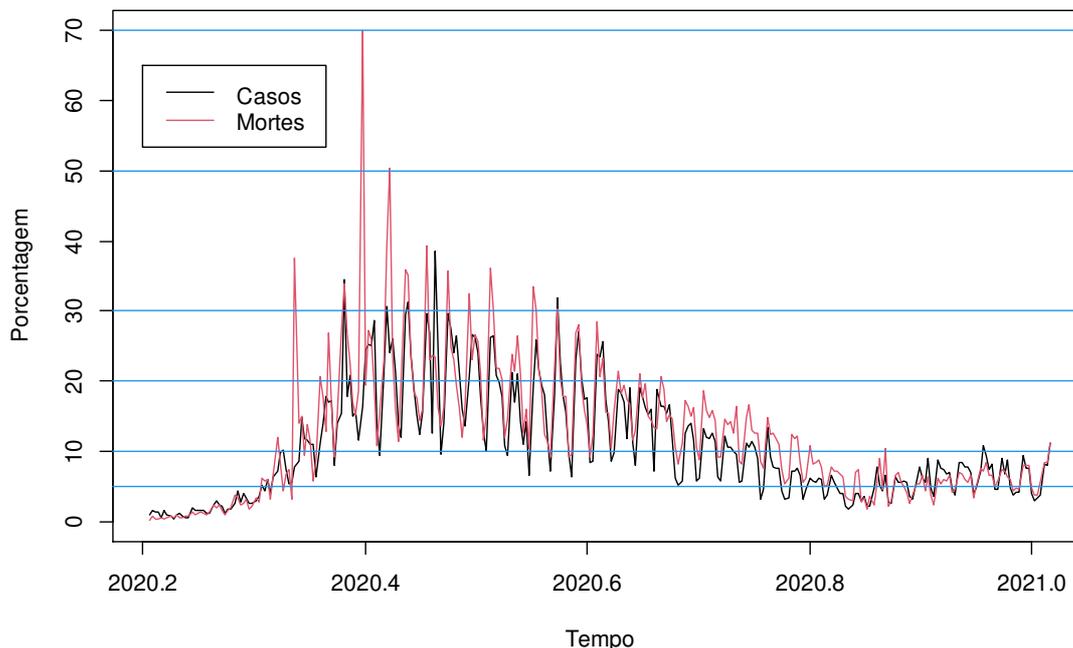


Gráfico 02. Avanço percentual do país por COVID-19 no Mundo.

Na Tabela 1, apresenta-se o número de casos confirmados e mortes por COVID-19 no Brasil, na última semana. Pode-se observar que, independente das subnotificações, (seja por ausência de realização do teste, por falta de teste ou pela demora no resultado no teste) há um aumento aritmético de casos e mortes, cuja duplicação em dias está na relação 2,2,3,3,4,5,10,8,11,14,23,44,139; para as mortes. Já para os casos a relação de duplicação é: 3,3,5,5,6,8,9,12,11,13,19,27,45,124. Este fato indica que o alongamento na duplicação nestas últimas semanas fez a Índia ultrapassar ao Brasil, tirando o protagonismo do país no âmbito internacional. Em números absolutos acumulados o país é terceiro em número de casos e mortes atrás da Índia e dos Estados Unidos. Ontem 06 de janeiro o Brasil teve 63 430 casos e 1 242 óbitos de um total de 803 385 casos e 14 760 mortes no mundo, representando 7.9% dos casos e 8.4% das mortes, se comparados com a quarta passada estes percentuais tiveram aumento de 14% nos casos e aumento de 4% nas mortes. Uma visualização de casos e mortes acumuladas como mostra o Gráfico 03 aponta um crescimento potencial para ambos, contudo há presença de desaceleração nestas últimas semanas, e que até a data do dia 07 de janeiro foram de 7 961 673 casos confirmados e 200 498 mortes, aumentando em uma semana mais de 285 700 casos e mais de 5 549 mortes, comparando o saldo entre semanas há um aumento de 32 872 casos e 885 mortes, que em termos percentuais representa um aumento de 13% nos casos e 19% nas mortes.

Tabela 1: Casos e mortes acumuladas por COVID-19 nesta semana.

Data	Casos	Mortes	Recuperados	Acompanhados
01/01/2021	7700578	195411	6756284	748883
02/01/2021	7716405	195725	6769420	751260
03/01/2021	7733746	196018	6813008	724720
04/01/2021	7753752	196561	6875230	681961
05/01/2021	7810400	197732	6963407	649261
06/01/2021	7873830	198974	7036530	638326
07/01/2021	7961673	200498	7096931	664244

Fonte: Ministério da saúde do Brasil

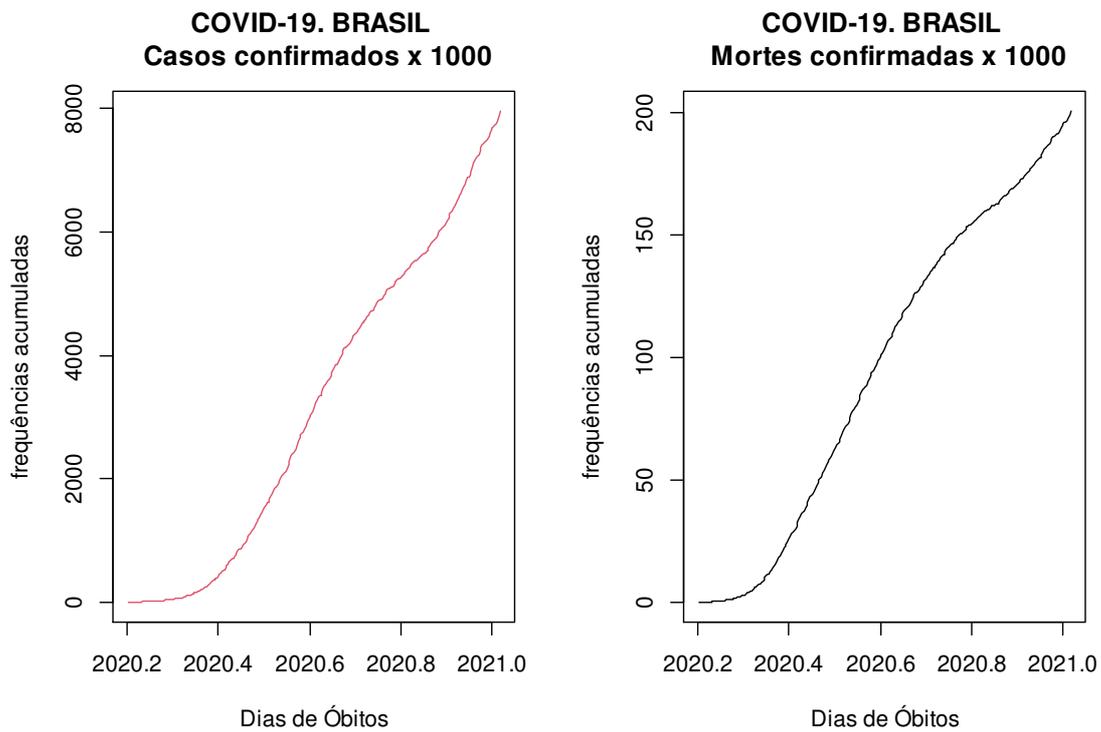


Gráfico 03 (a): Evolução dos casos e mortes no Brasil.

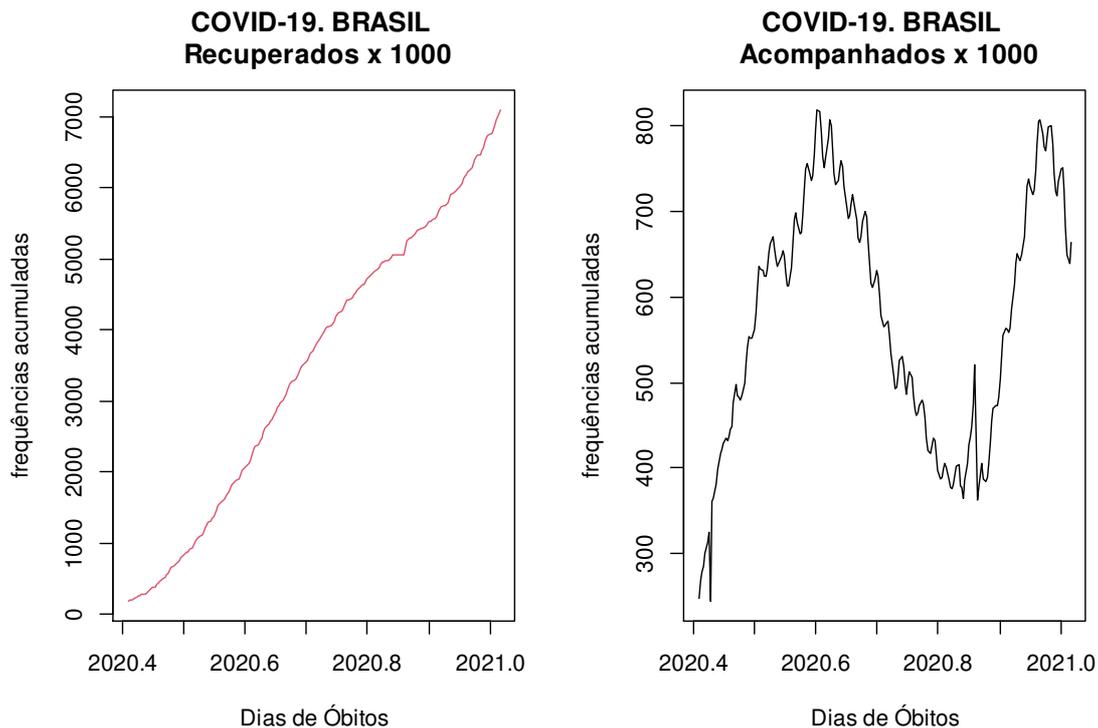


Gráfico 03 (b): Evolução dos recuperados e acompanhados no Brasil.

No gráfico 03(b), podemos observar o crescimento potencial dos recuperados e também um aumento significativo dos acompanhados, que já se encontra novamente no pico da pandemia e indicando que há uma movimentação maior e sufocando os centros de controle de saúde para esta pandemia.

No Brasil os protagonistas de crescimento da COVID-19 na ordem são os estados de São Paulo com 1 501 085 casos e 47 511 mortes, e os seguem os estados de Minas Gerais, Bahia, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Paraná, como se mostra na Tabela 02 a seguir:

Tabela 02: Casos confirmados e mortes por COVID-19 nos primeiros sete estados do Brasil nesta quinta feira

	Casos	Mortes
Estado	Acumulados	Acumulados
SP	1501085	47511
MG	566207	12211
SC	506897	5482
BA	502938	9304
RS	465337	9226
RJ	448089	26068
PR	430873	8233

A evolução de números de casos confirmados ao longo do tempo até 07 janeiro de 2021, iniciando desde o primeiro dia alcançou 1 524 óbitos e 87 843 casos neste dia, sendo o maior número de casos num único dia no país, e o segundo maior número de mortes. Mostrando que uma nova onda de crescimentos tanto para casos e mortes se instalou no Brasil, como mostrado no Gráfico 04 e 05.

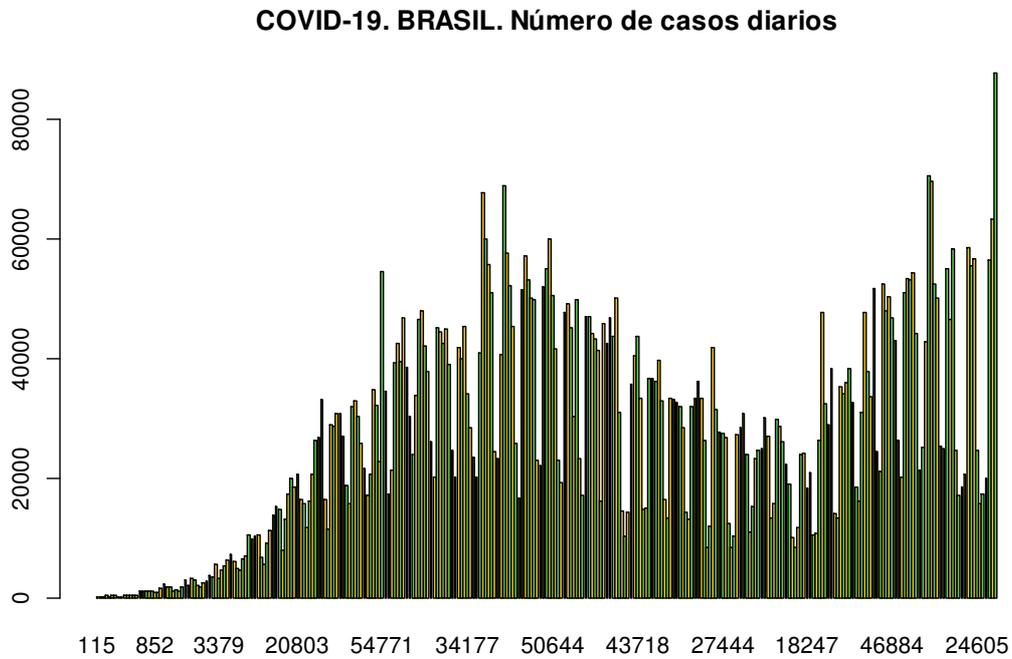


Gráfico 04: Evolução de novos casos diários de COVID-19 a partir do primeiro óbito.

COVID-19. BRASIL. Número de mortes diárias

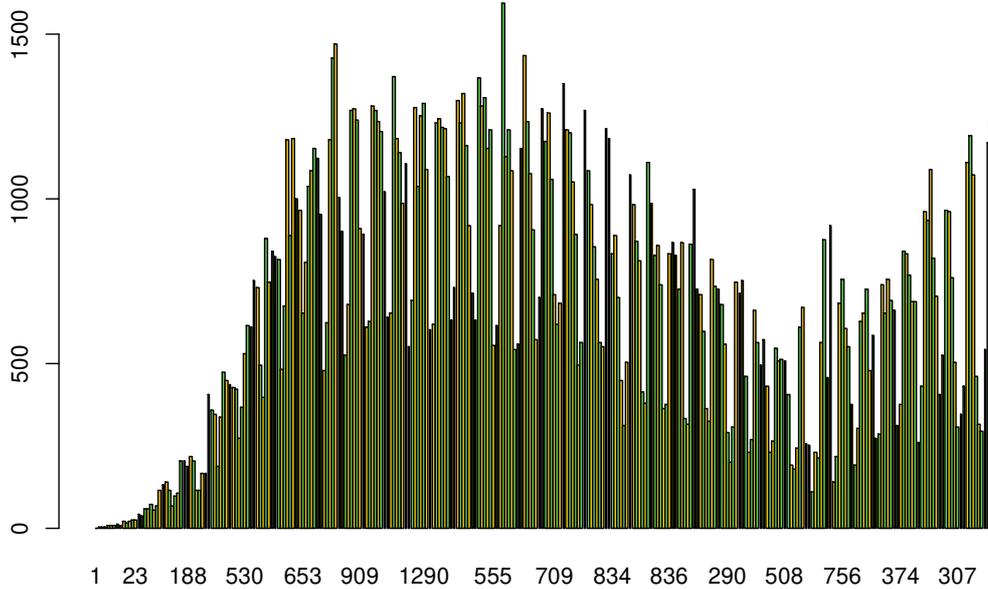


Gráfico 05: Evolução de novas mortes diárias de COVID-19 a partir do primeiro óbito.

Modelagem para o Brasil

Foram usados modelos de regressão para ajustar a série de casos e mortes acumuladas de COVID-19 no Brasil, estas séries têm apenas o componente de tendência e modelos de potência, exponencial e modelos não lineares foram abordados, porém escolheu-se o modelo com menor erro de ajuste (a curva mais próxima dos dados). Ao longo dos dias, os ajustes foram avaliados e modelos de regressão cúbica têm tido os menores erros de ajuste, todos abaixo de 1%, e para a modelagem ter melhor performance de estimação, foram usados apenas os 20 últimos casos. No ajuste dos casos, foi usado o modelo quadrático por apresentar erro de ajuste de 0.24%, ou seja, as estimativas do modelo se afastam em média 0.2% dos casos reais. Para as mortes, o modelo cúbico teve o menor erro de ajuste, sendo este de 0.15%. As projeções de casos e mortes para dois dias à frente pode ser visualizado na Tabela 03. Uma saída é mostrada no Gráfico 06.

Tabela 03: Projeção para os próximos 2 dias.

Data projetada	Casos	Mortes	Intervalo de Confiança Casos	Intervalo de Confiança mortes
08/01/2021	8024296	201097	7950838 - 8097754	200100.1 - 202094.5
09/01/2021	8119945	202248	7994395 - 8245495	200837.8 - 203658.5

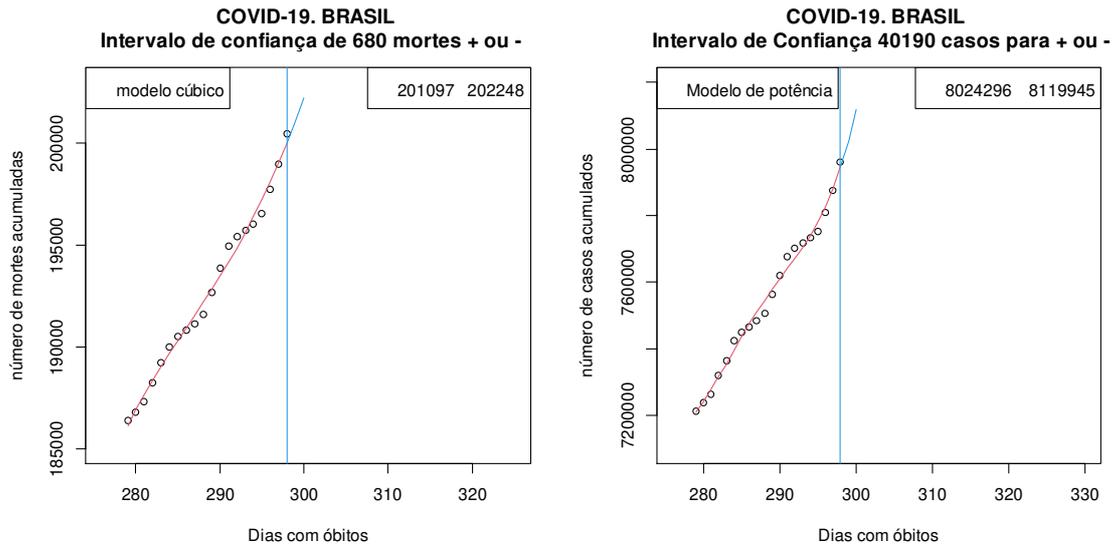


Gráfico 06: Casos e Mortes por COVID-19 e suas projeções para os próximos dois dias.

Tanto casos e mortes confirmadas por COVID-19 apresentam quedas reais nos finais de semana entre sábado e segunda-feira, estas subnotificações sobrecarregam o trabalho logístico para os próximos dias. O efeito sazonal semanal presente nas séries sugere apresentar um gráfico de caixas ou de “boxplot” por semana após o primeiro óbito. Observando o Gráfico 07 podemos afirmar que tanto casos e mortes apresentam maiores médias que a semana passada. Usando um teste de comparações múltiplas de médias (Teste de Tukey), indica que a última semana 43, a média de casos e mortes é estatisticamente igual à da semana 19 a qual foi o pico da pandemia ($p > 0,05$). Isto indica um aumento significativo se comparado com semanas prévias, ou seja, o país teve um aumento expressivo e estatisticamente maior para ambas as características.

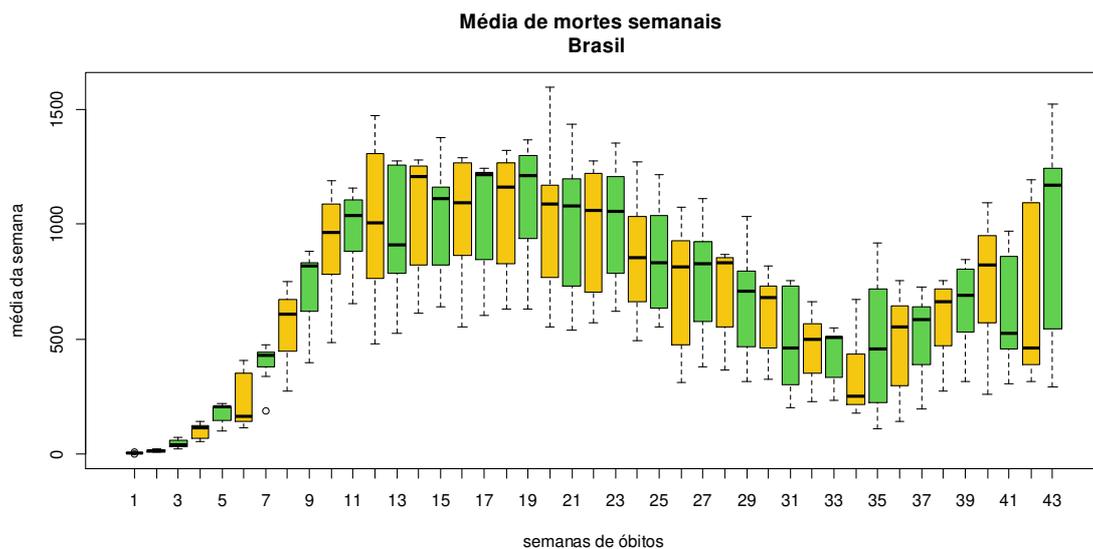


Gráfico 07(a). Médias semanais de mortes confirmadas por COVID-19

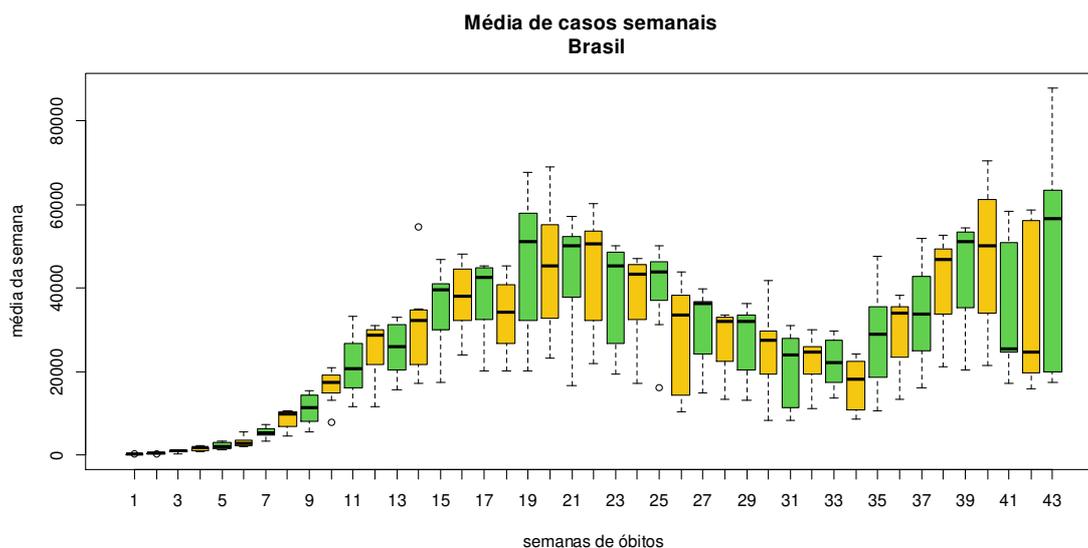


Gráfico 07(b). Médias semanais de casos confirmados por COVID-19

Ainda este efeito sazonal, e a tendência permitem abordar técnicas de séries temporais para realizar previsões futuras para novos casos e novas mortes. Foram usados modelos avançados de séries temporais, como Holt-Winters e Sarima para ajustar a séries de novos casos e novas mortes, por apresentar três componentes temporais como: tendência, sazonalidade e ciclos, a bondade de ajuste desta modelagem permite realizar previsões, e neste caso em particular realizamos projeção para os próximos sete dias. Para esta semana em média serão em torno de 50 141 casos por dia com intervalo de confiança em torno de 7 100 casos para mais e para menos e 918 mortes diárias com intervalo de confiança em torno de 139 mortes para mais ou para menos. No total esta semana que vem podemos atingir aproximadamente 350 988 casos e 6 431 mortes. Semana passada se projetou 300 694 casos e o valor real foi 285 700, para as mortes projetou-se 5 624 e o valor real foi 5 549. As projeções desta semana terão aumento significativo po ter informação em processamento não publicada por serem datas de final e início de 2021, onde a contagem é adiada. Também podemos observar que estes modelos conseguem extrair o efeito sazonal diário, ver Tabela 04 e Gráficos 8(a) e 8(b).

Tabela 04. Modelagem e previsões futuras para o Brasil.

Data	Sarima		Holt Winters	
	Casos	Mortes	Casos	Mortes
08/01/2021	44972	784	40592	709
09/01/2021	32254	591	37291	620
10/01/2021	24378	475	32118	537
11/01/2021	25182	637	33300	701
12/01/2021	57837	1218	65135	1266
13/01/2021	61354	1265	66813	1281
14/01/2021	72596	1340	75739	1317

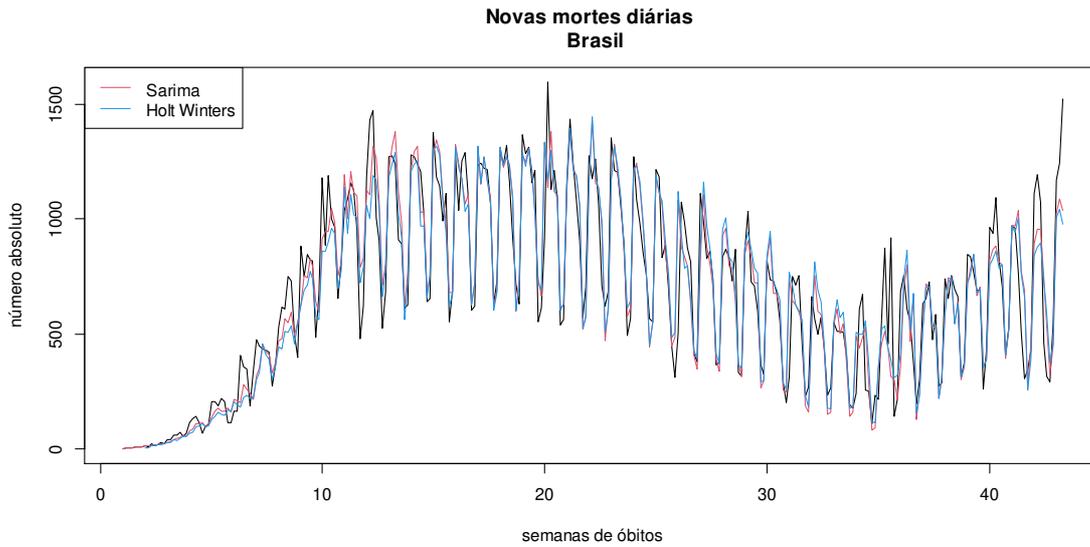


Gráfico 08 (a). Modelagem Holt Winters e Sarima para novas mortes.

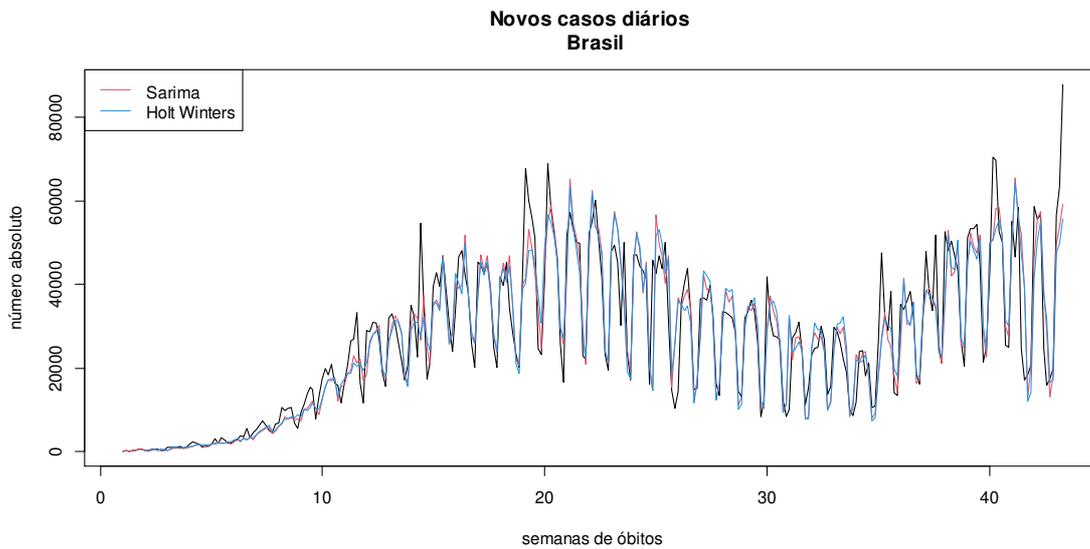


Gráfico 08 (b). Modelagem Holt Winters e Sarima para novos casos.

Para acompanhar quando os casos e mortes dobram no tempo, realizou-se o Gráfico 09, no qual se visualiza os dias em relação aos *log* de casos e mortes, cada linha separa quando os casos e as mortes dobram e elas têm que se alinhar numa reta. Atualmente, dobram-se os casos a cada 125 dias, e para as mortes, a cada 139 dias.

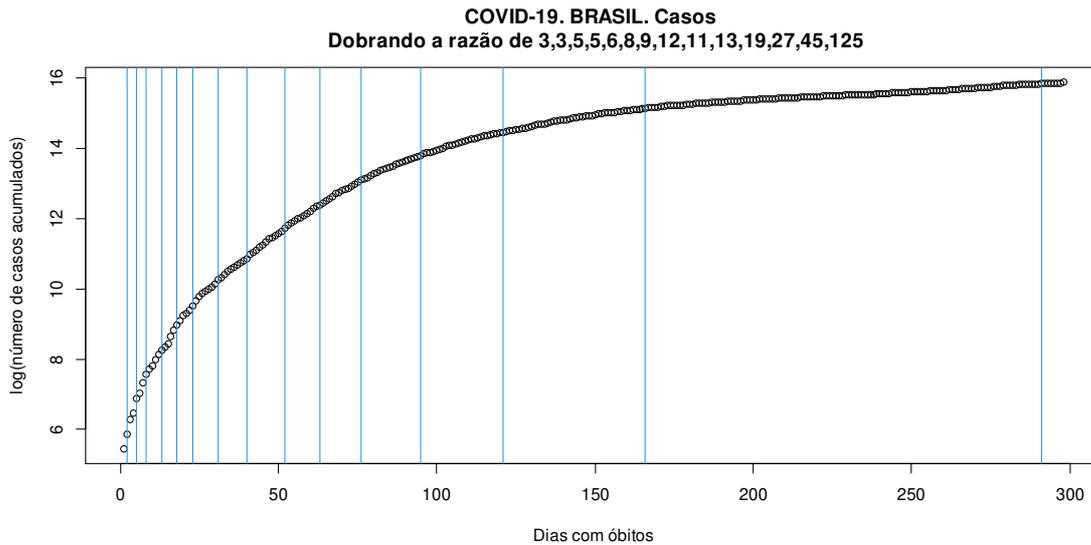


Gráfico 09 (a). Espaçamento entre os dobramentos de casos no Brasil.

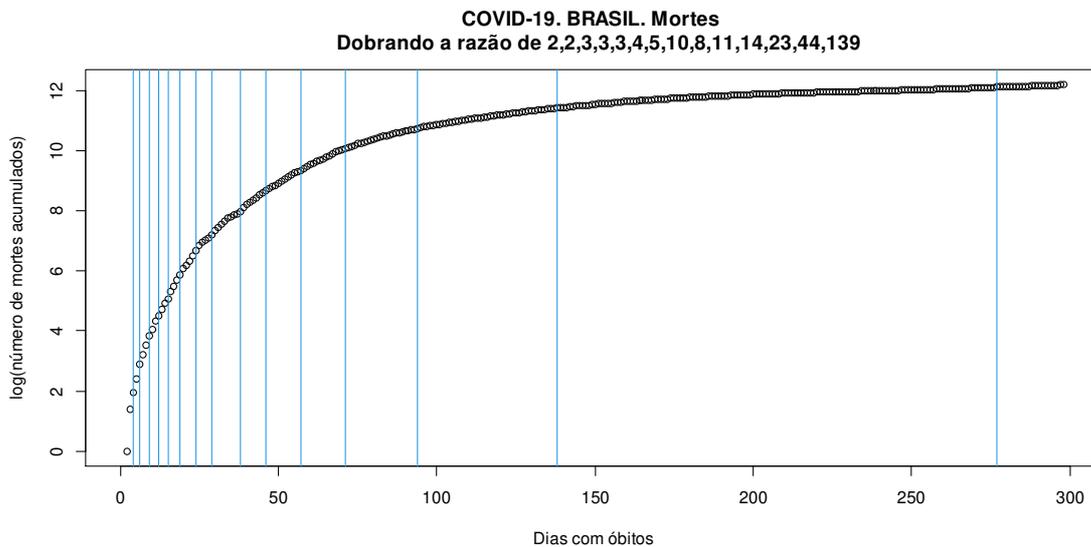


Gráfico 09 (b). Espaçamento entre os dobramentos de mortes no Brasil.

Letalidade

Assumindo que as mortes confirmadas podem propor uma possibilidade mais realista das consequências de esta pandemia e que os dados oficiais podem apresentar sub-notificação. A justificativa são os poucos testes realizados no Brasil, que até o dia 31 de dezembro por cada 1 000 habitantes foram 134 testes, este poder de testes é abaixo da média mundial, mantendo-se na posição 100 da semana passada. As letalidades propostas são: 1%, 1.5%, 2% e a real, fornecendo o número de casos que podem ter sido escondidos por causa da subnotificação. Considerando uma letalidade de 1%, e a partir das mortes confirmadas, podemos afirmar que o Brasil atingiria hoje 20 049 800 casos, como se mostra no Gráfico a seguir.

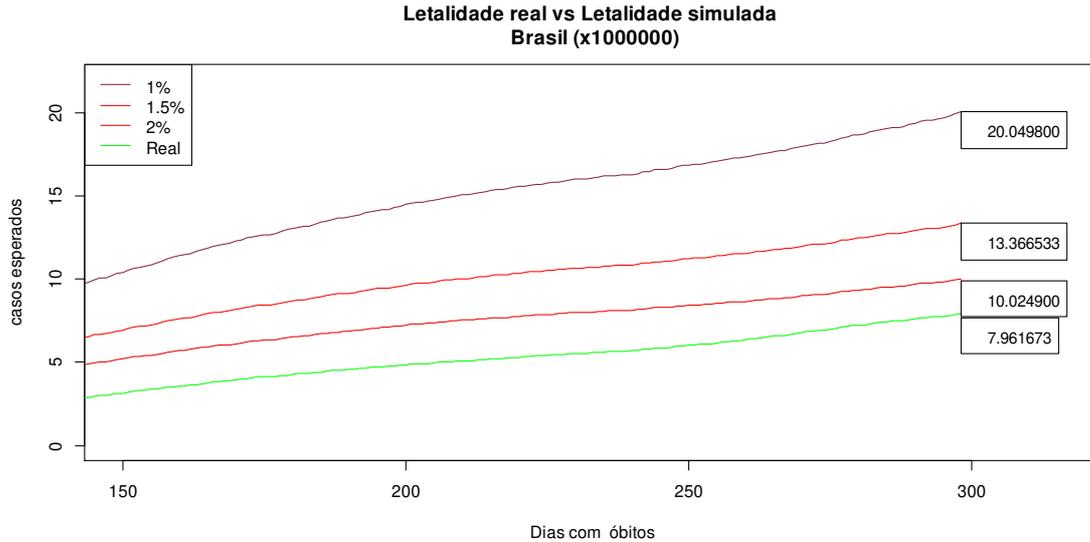


Grafico 10. Cenários prováveis de casos no Brasil a partir de percentuais de letalidade.

Incidência

Este indicador mede a proporção da população que já tem a doença. A taxa de incidência é o número de novos casos de uma doença, dividido pelo número de pessoas em risco, considerando toda a população brasileira em risco, e que sua população estimada é de 211 489 034 habitantes, a conta é dada por $I = \left(\frac{\text{casos}}{211489034} \right) * 100\ 000$. Mostra-se a partir do Gráfico 12, que a incidência é também crescente, saindo de 29.81 da semana passada para 41.53 nesta semana apresentando aumento na aceleração do contágio. No acumulado a incidência atingiu 3764 casos por cada 100 000 habitantes.

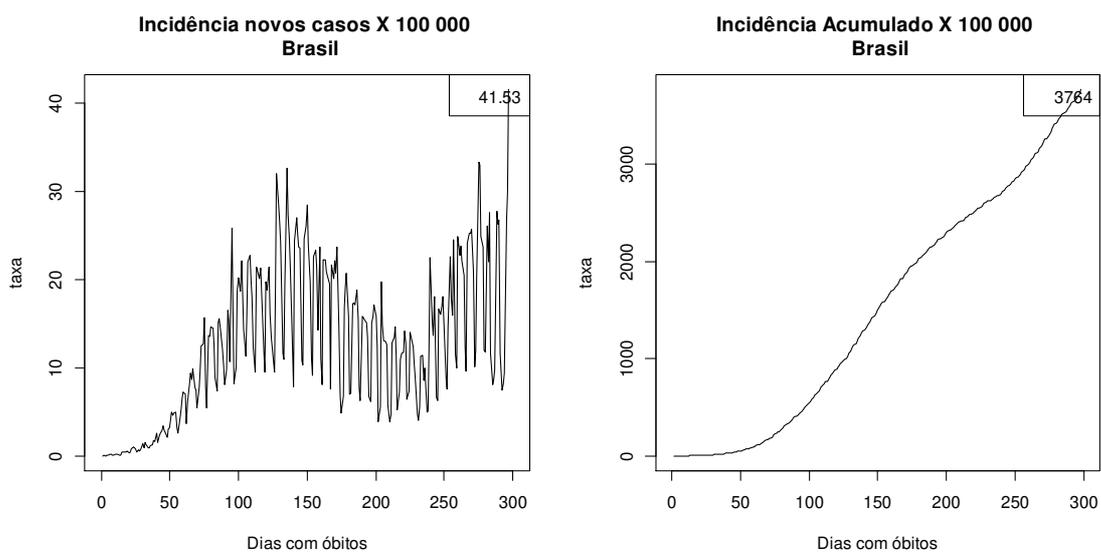


Gráfico 11. Incidência x 100 000 habitantes, a partir de novos casos e casos acumulados.

Resultados Sergipe

Nosso estado de Sergipe apresentou nesta semana até o dia 07 de janeiro, 119045 112 505 casos confirmados e 2 544 mortos, indicando que em uma semana houve um aumento de 6 651 casos e 60 mortes. Comparando as duas últimas semanas houve 575 casos a mais e 11 mortes a mais, que representam 9.4% de casos a mais e 22.4% de mortes a mais, como mostra a Tabela 05. No Gráfico 12 podemos visualizar a evolução de casos, mortes e curados.

Tabela 05. Casos e Mortes no estado de Sergipe

Estado	Data	Casos		Mortes	
		Novos	Acumulados	Novos	Acumulados
SE	01/01/2021	1039	113544	8	2492
SE	02/01/2021	372	113916	8	2500
SE	03/01/2021	769	114685	8	2508
SE	04/01/2021	951	115636	8	2516
SE	05/01/2021	1143	116779	8	2524
SE	06/01/2021	1039	117818	8	2532
SE	07/01/2021	1227	119045	12	2544

* Os casos e mortes no estado para o dia 24/12 são a projeção da semana passada.

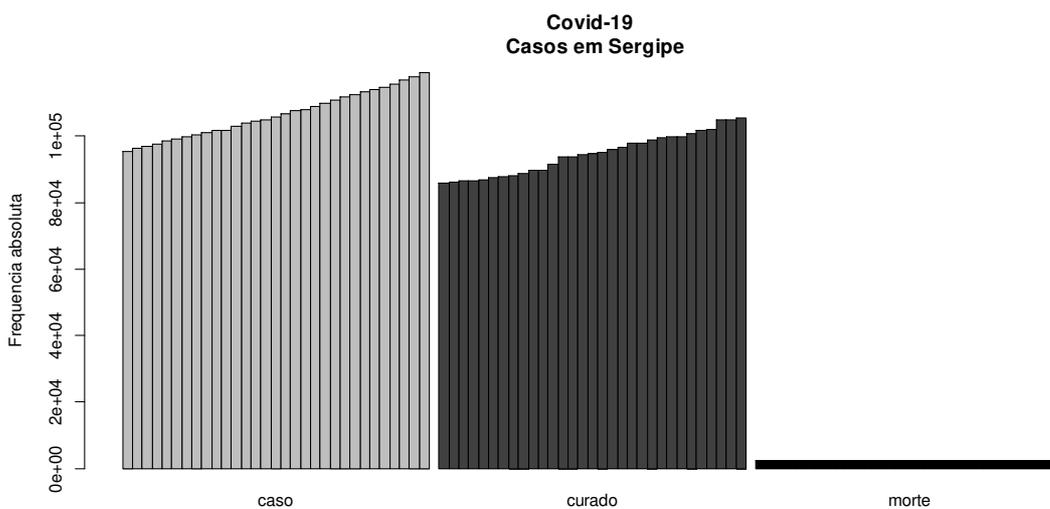


Gráfico 12. Casos, curados e mortes por Covid-19 em Sergipe no último mês.

Para acompanhar os novos casos e as novas mortes no estado, podemos visualizar os Gráficos 13 e 14.

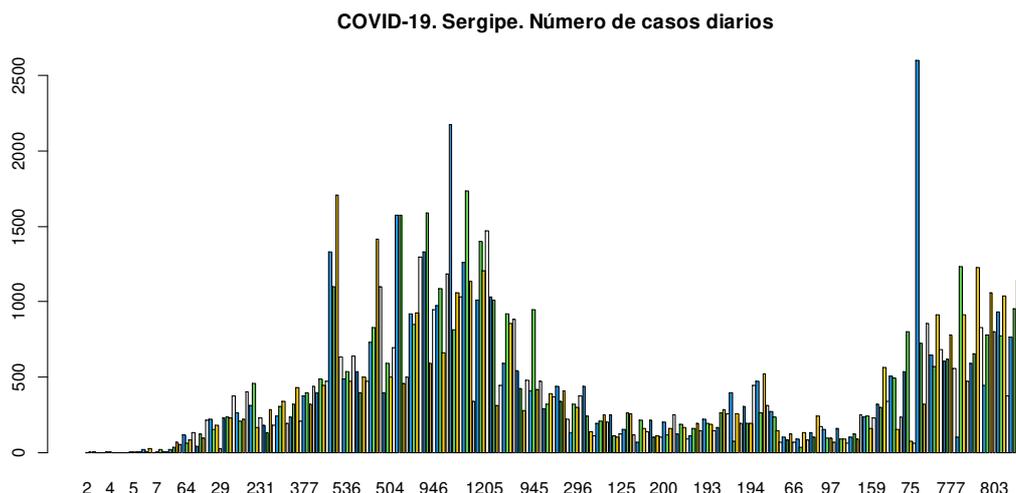


Gráfico 14. Casos diários testados no estado de Sergipe.

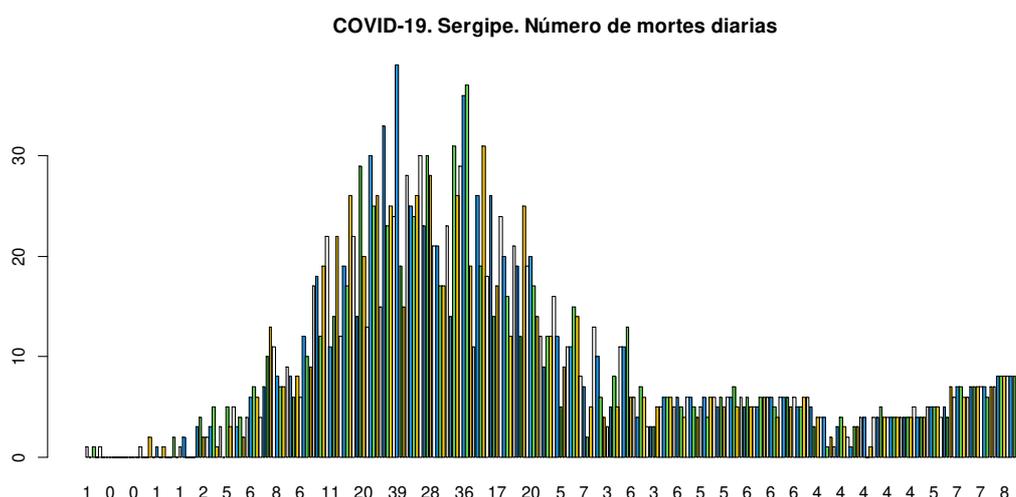


Gráfico 15. Mortes diárias no estado de Sergipe.

Modelagem

Usam-se modelos de regressão para ajustar a série de casos e mortes acumuladas de COVID-19 no estado de Sergipe, então escolheu-se o modelo que tem menor erro de ajuste (a curva mais próxima dos dados). Ao longo dos dias, os ajustes foram avaliados e modelos de regressão cúbica têm tido os menores erros de ajuste; para os casos atingiu 0.27 % e as mortes com 0.04 %, foram usados apenas os 30 últimos casos. As projeções de casos e mortes acumuladas para os próximos dois dias são apresentadas na Tabela 06. Uma saída é mostrada no Gráfico 15.

Tabela 06: Projeção a partir de casos e mortes acumuladas para os próximos dias.

Data projetada	Casos	Intervalo de Confiança Casos	Mortes	Intervalo de Confiança mortes
01/01/2021	119809	119450.7 - 120167.9	2552	2550.430 - 2554.259
02/01/2021	120835	120383.4 - 121287.1	2562	2559.630 - 2565.135

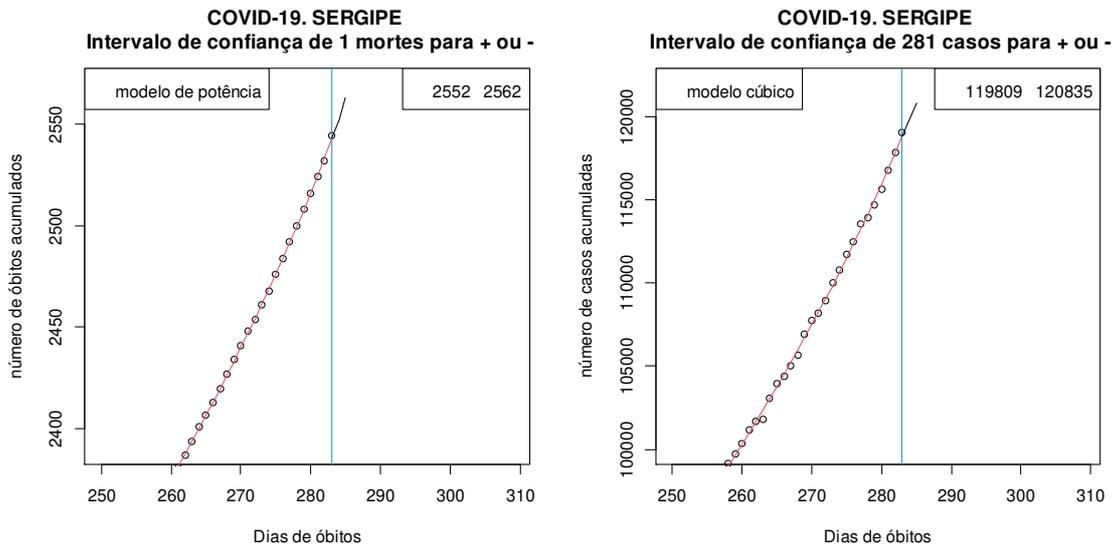


Gráfico 15: Projeção de casos e mortes para os próximos dois dias.

Para visualizar as médias de casos e mortes por semana, indicando um aumento absoluto de casos e uma estabilização de mortes, um teste de comparações múltiplas (Tukey) entre médias semanais permite afirmar que estatisticamente há igualdade para as mortes nos últimos quatro meses ($p > 0.05$) e para os casos esta semana 41 já se compara com a semana 18, o pico da pandemia. Uma visualização é dado no Gráfico a seguir:

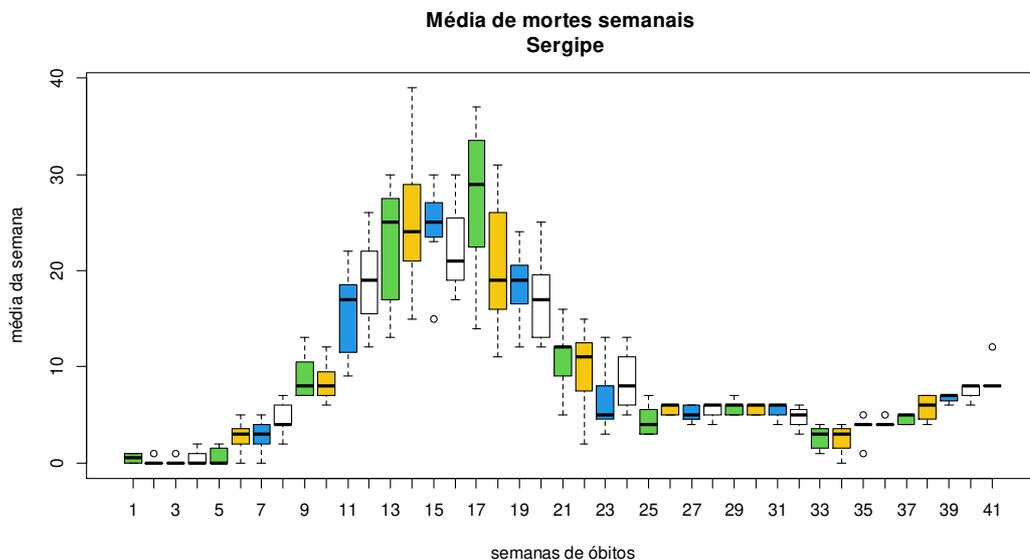


Gráfico 16 (a). Box Plot, para mortes semanais em Sergipe.

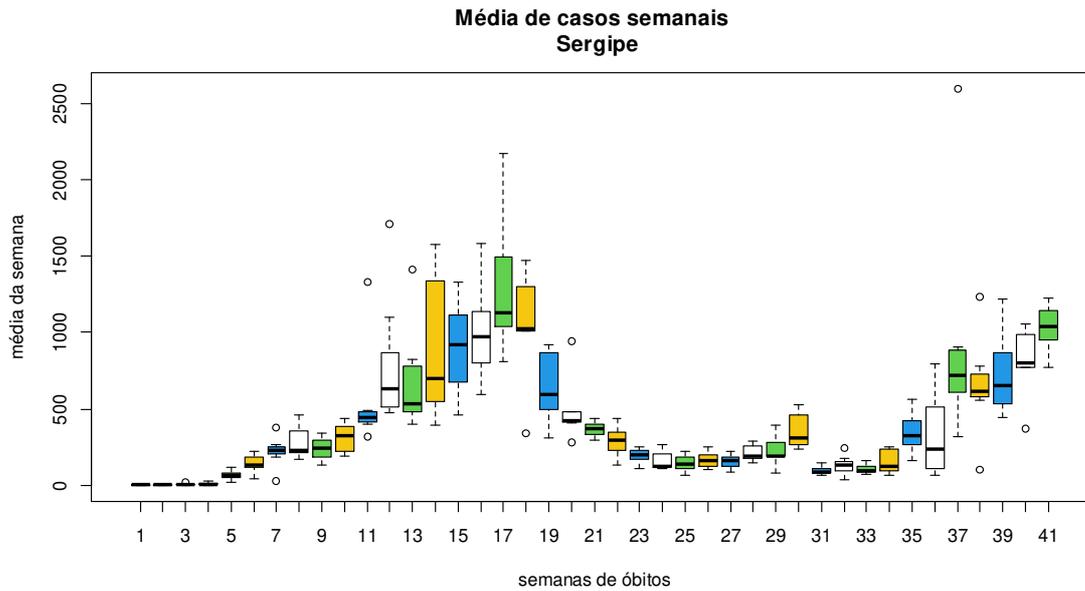


Gráfico 16 (b). Box Plot, para casos semanais em Sergipe.

Foram usados modelos avançados de séries temporais, como Holtwinters e Sarima para ajustar a séries apenas para novos casos, por apresentar três componentes temporais como: tendência, sazonalidade e ciclos. A bondade de ajuste desta modelagem permite realizar previsões futuras, e neste caso em particular realizamos projeção para os próximos sete dias, em média serão 1050 casos e 10 mortes por dia, considerando a soma total para esta semana serão 7 405 casos e 68 mortes. Semana passada projetamos 6 109 casos e 54 mortes, sendo os valores reais de 6 540 casos e 60 mortes. As projeções por dia para esta semana estão na Tabela 07 e uma saída é visualizada no Gráfico 17.

Tabela 07. Modelagem e previsões futuras para Sergipe.

Data	Sarima		Holt Winters	
	Casos	Mortes	Casos	Mortes
08/01/2021	1022	10	951	10
09/01/2021	866	11	1001	9
10/01/2021	969	9	1161	9
11/01/2021	985	10	1003	9
12/01/2021	1010	9	1014	10
13/01/2021	997	11	1100	10
14/01/2021	1021	10	1175	11

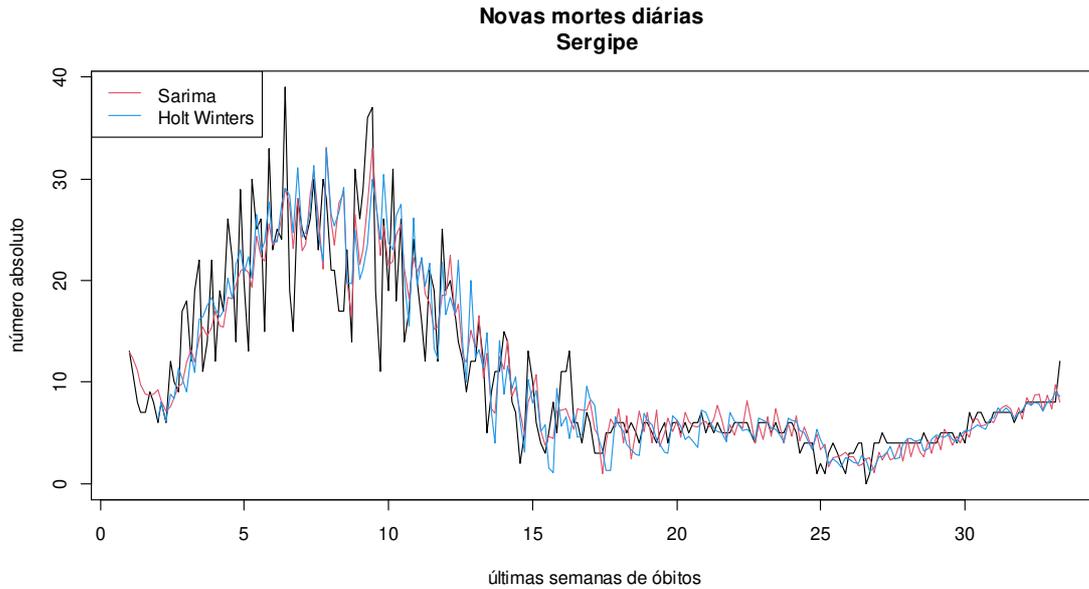


Gráfico 17 (a). Modelos Sarima e Holt Winters para mortes em Sergipe.

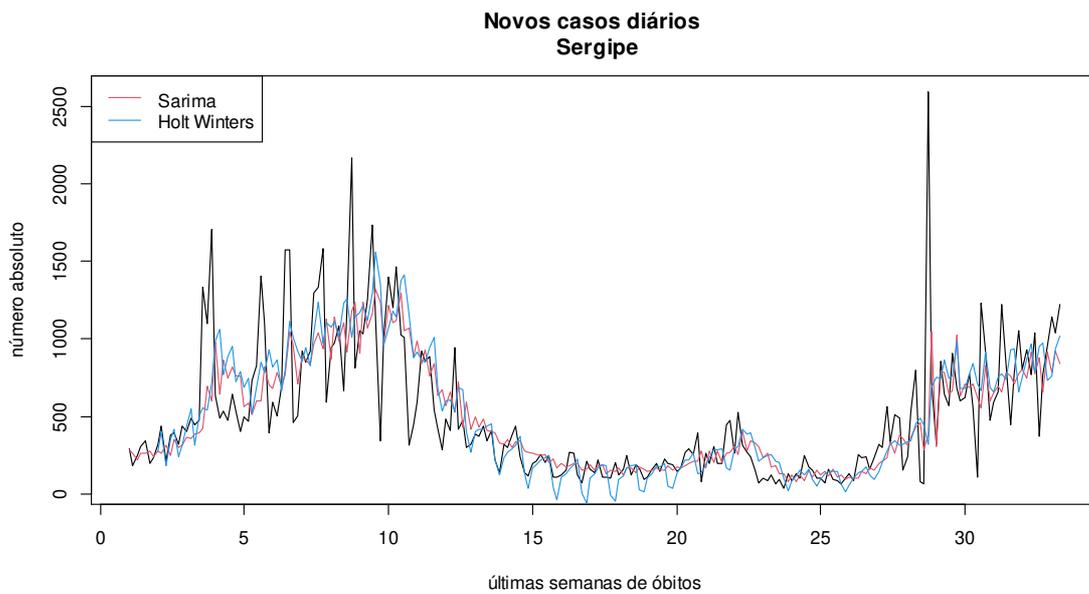


Gráfico 17 (a). Modelos Sarima e Holt Winters para casos em Sergipe.

Letalidade

Para o estado de Sergipe, atualmente a taxa de letalidade atinge 2.14% sendo de 2.21% semana passada, indicador que embora esteja oscilando abaixo da média nacional a qual é 2.5%, ela está se aproximando da média nacional pois há mais de 6 meses oscila em torno desse valor, ver Gráfico 18.

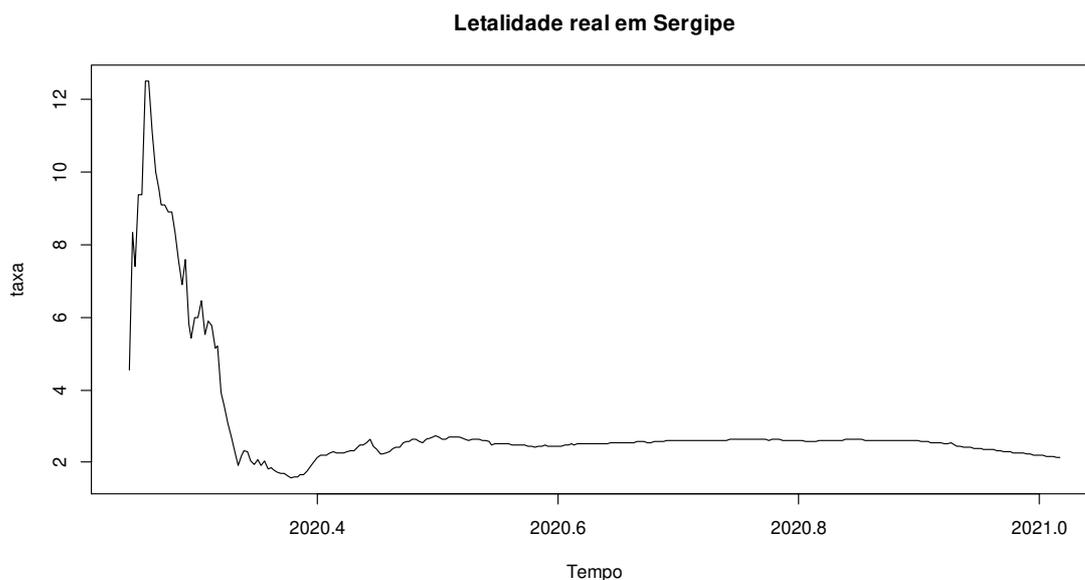


Gráfico 18. Taxa de letalidade do COVID-19 no estado de Sergipe.

Conclusões

1. As conclusões das primeiras notas estão mantidas no avanço do COVID-19 no Brasil e Sergipe.
2. No âmbito mundial o Brasil está na terceira posição em casos e mortes acumuladas, também na comparação de poder de testes por mil habitantes o Brasil ocupa a posição 103 nesta semana de um total de 218 países afetados pela pandemia.
3. O Brasil é o terceiro país com maior número de contagiados e mortes, ele representa em torno de 10% para casos e mortes no mundo, que nestas semanas apresentou aumentos estatisticamente significativos.
4. Uma nova onda de crescimento tanto para casos e mortes no Brasil está presente, indicando crescimento para as próximas semanas e conseqüentemente sufoca os centros de controle de esta pandemia no país.
5. A letalidade de 2,5 % igual ao da semana passada, é considerado alto a nível mundial, indicando limitação no fornecimento de testes a sua população.
6. Esta semana 43 de óbitos, os casos e mortes já se compara com as estatísticas da semana 19, o pico da pandemia. E para semana que vem se projeta uma quantidade maior de casos e mortes, isto por que há uma retomada significativa para os dois indicadores no país.
7. Para semana que vem o Brasil atingirá mais de 350 988 casos e 6 431 mortes.
8. No âmbito regional esta semana 41, Sergipe têm uma estabilização há mais de cinco meses para as mortes, contudo esta semana se espera um aumento significativo, onde semana passada tinha uma média diária de 935 casos e 8 mortes, esta semana serão em média 1050 casos e 10 mortes por dia.

Estatisticamente as mortes se compara com as estatísticas das primeiras semanas e os casos com a semana 18, o pico da pandemia.

9. A Letalidade no estado de Sergipe se manteve em 2.14%, aproximando-se da média nacional.
10. Comparando as projeções futuras e seus correspondentes valores reais de novos casos e novas mortes durante a semana, com erros de ajuste abaixo de 1% para o Brasil e o estado de Sergipe, permitem adotar logisticas de combate ao COVID-19, e dar um suporte aos órgãos correspondentes principalmente ao setor saúde no Brasil e no estado de Sergipe.

Bibliografia

1. Universidade de medicina, Jhons Hopkins. <https://jhu.edu/map.html> Worldometers dados on line. <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
2. Ministerio da saúde do Brasil. Painel Coronavirus. <https://covid.saude.gov.br>
3. <https://saude.estadao.com.br/noticias/geral,primeiro-caso-da-Covid-19-no-brasil-e-do-fim-de-janeiro-diz-ministerio-da-saude>.
4. Ehlers,Ricardo.(2007): Análise de séries Temporais.Universidade Federal do Paraná.
5. Morettin, A. P., Clélia, M. C.(2006) Análise de séries temporais}. Editora Egard Blucher, 2^a edição.
6. Quijano, F. Morales, A, Waldman, E. Traslating transmissibility measures into recomendations for coronavirus prevention. Revista de Saúde Pública. 25 março de 2020.
7. Ehlers, Ricardo.(2007). Análise de séries Temporais. Universidade Federal do Paraná.
8. Venables WN, Ripley BD (2002). Modern Applied Statistics with S. 4th edição. Springer-Verlag, New York.

Anexos.

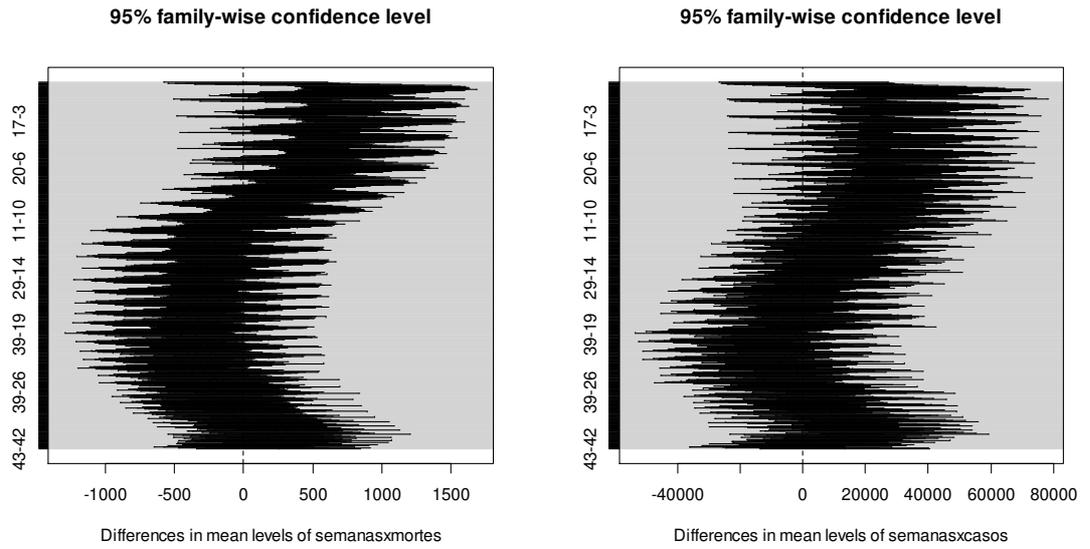


Gráfico 19. Teste Tukey de comparação de médias para casos e mortes no Brasil.

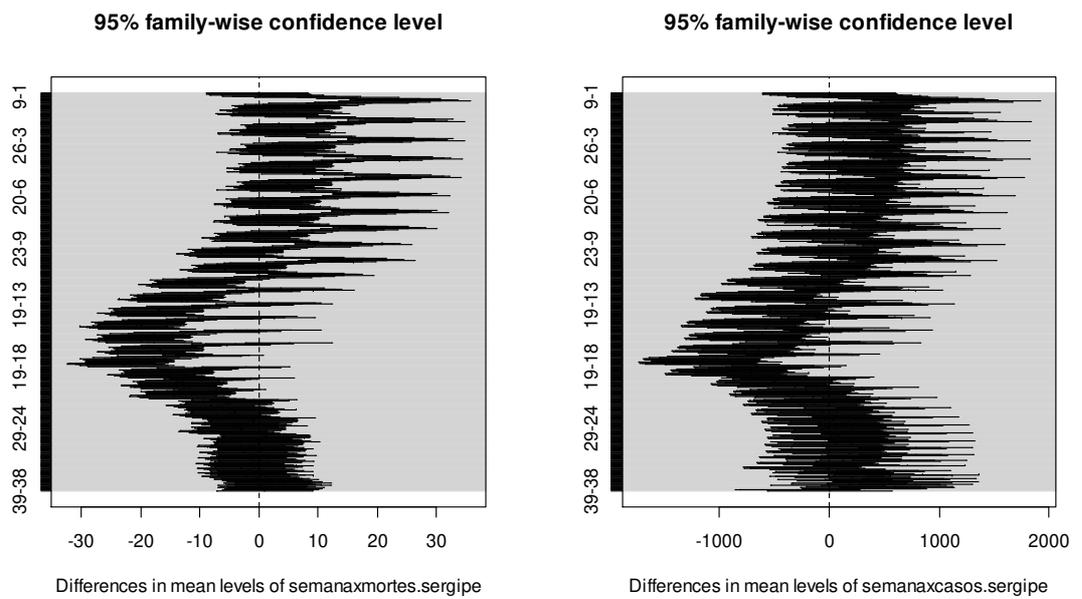


Gráfico 20. Teste Tukey de comparação de médias para casos e mortes no estado de Sergipe.