

3

Resultados

Os resultados estão separados em 3 seções. Na seção 3.1 são apresentados os efeitos estimados do poluente PM_{10} na contagem de internações por doenças do aparelho respiratório em idosos e crianças, utilizando dados observados da Rede Automática da FEEMA e da SMAC. Os efeitos estimados para séries diárias são comparados com àqueles encontrados para as séries particionadas com periodicidade de 6 dias, a fim de analisar se as estimativas dos efeitos da poluição para as séries com periodicidade de 6 dias, variam muito em relação ao efeito estimado para série completa.

A seção 3.2 apresenta uma análise análoga à realizada na seção 3.1 para contagem de internações por doenças do aparelho respiratório em crianças, utilizando dados simulados, segundo diferentes cenários de concentração de poluição do ar. Nesta seção também são apresentados os resultados das comparações realizadas entre as séries reais e as séries simuladas de poluição do ar e meteorológicas, a fim de verificar se as séries simuladas são adequadas para serem utilizadas no estudo de comparação dos efeitos das séries diárias e séries particionadas com periodicidade de 6 dias, através da simulação de diferentes cenários de concentração de poluição.

A seção 3.3 apresenta os resultados dos efeitos estimados para morbidade por doenças do aparelho respiratório em crianças e idosos, utilizando dados reais com periodicidade de 6 dias de material particulado da Rede Manual da FEEMA.

3.1

Resultados para modelos de séries diárias e séries particionadas (periodicidade de 6 dias)

A seguir são apresentados os efeitos estimados utilizando os dados diários da Rede Automática da FEEMA e da SMAC. São comparados os efeitos das séries diárias completas e das séries amostradas com periodicidade de 6 dias.

3.1.1

Idosos com mais de 65 anos

São apresentadas nas Tabela 2 e Tabela 3 as estatísticas descritivas de PM₁₀ e de contagem de doenças respiratórias em idosos, da série completa (diária) e das outras séries com periodicidade de 6 dias. Nota-se a pequena variação entre as estatísticas de poluição do ar nas diferentes séries, com exceção apenas dos valores máximos. No caso das contagens de internações hospitalares em idosos, as estatísticas descritivas nas 6 séries foram muito semelhantes (Tabela 3).

Tabela 2: Estatísticas descritivas das séries de PM₁₀ (µg/m³).

		série total	série 1	série 2	série 3	série 4	série 5	série 6
	n	1093	183	183	183	181	181	182
	média	56.27	57.36	55.79	56.38	56.06	55.48	56.52
	desvio-padrão	17.45	19.03	17.81	18.38	17.86	15.55	15.97
	min	17.94	22.46	25.01	17.94	25.97	20.63	26.12
Percentis	5	53.60	55.25	52.69	52.38	52.11	53.55	55.73
	10	36.63	33.28	34.91	37.43	38.39	37.41	37.26
	25	43.36	43.23	42.60	42.82	42.78	44.82	43.20
	50	53.60	55.25	52.69	52.38	52.11	53.55	55.73
	75	66.68	69.69	67.30	67.21	63.22	64.17	66.62
	90	80.37	83.53	81.40	82.82	78.12	75.50	78.13
	95	88.78	89.82	89.02	91.13	89.85	85.19	86.97
	máx	139.73	135.23	111.27	108.96	139.73	109.79	96.54

Tabela 3: Estatísticas descritivas das séries de contagem de doenças do aparelho respiratório em idosos.

		série total	série 1	série 2	série 3	série 4	série 5	série 6
	n	1095	183	183	183	182	182	182
	média	8.98	9.03	8.89	8.92	8.95	8.91	9.21
	desvio-padrão	4.08	4.15	4.30	4.00	4.04	4.23	3.81
	min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
Percentis	5	9.00	8.00	8.00	8.00	9.00	8.50	9.00
	10	4.00	4.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00
	50	9.00	8.00	8.00	8.00	9.00	8.50	9.00
	75	12.00	12.00	12.00	11.50	12.00	12.00	11.00
	90	14.00	15.00	14.80	14.00	14.00	14.00	14.00
	95	16.00	16.90	17.00	15.90	15.00	17.00	16.00
	máx	22.00	20.00	21.00	22.00	21.00	21.00	20.00

São apresentados nas Tabela 4 e Tabela 5, seguidos com as respectivas Figuras 9 e 10, os efeitos estimados e respectivos intervalos de confiança para doenças do aparelho respiratório em idosos referentes a uma variação de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de PM_{10} para a exposição no dia corrente e para exposição com defasagem de 1 dia. Os diagnósticos de resíduos destes modelos se encontram no Anexo II ao final deste trabalho. Em geral, os diagnósticos apresentaram bons resultados (resíduos não correlacionados e normalmente distribuídos) e os parâmetros de dispersão estimados dos modelos não variaram muito e apresentaram em média um valor de 1.22.

Nota-se uma variação entre os efeitos estimados da série completa e das séries com periodicidade de 6 dias, tanto para o dia do evento de poluição (dia corrente), como para o dia posterior ao evento de poluição (lag1). A série 4, que mostrou ter o maior valor máximo de material particulado (Tabela 2) foi a que apresentou a maior estimativa de efeito estimado. Embora a variação entre as estimativas das séries particionadas e a série completa não seja tão alta, estes resultados mostram que para uma determinada série com periodicidade de 6 dias pode haver um aumento da estimativa do efeito de até mais de 1% em relação à serie completa diária.

Observa-se também um menor intervalo de confiança para o efeito estimado, como já esperado, para a série completa diária em relação às séries amostradas para o período de 6 dias, uma vez que a série com periodicidade de 6 dias possui menos observações que a série completa.

Tabela 4: Efeitos estimados (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (dia corrente)).

	Efeitos estimados (%)	Intervalo de confiança		p-valor
Série diária	1.07	-0.12	2.27	0.08
Série.1	0.77	-2.04	3.67	0.60
Série.2	1.38	-1.70	4.55	0.39
Série.3	-0.18	-3.03	2.75	0.90
Série.4	1.79	-1.09	4.77	0.23
Série.5	0.85	-2.53	4.34	0.63
Série.6	2.69	-0.70	6.20	0.12

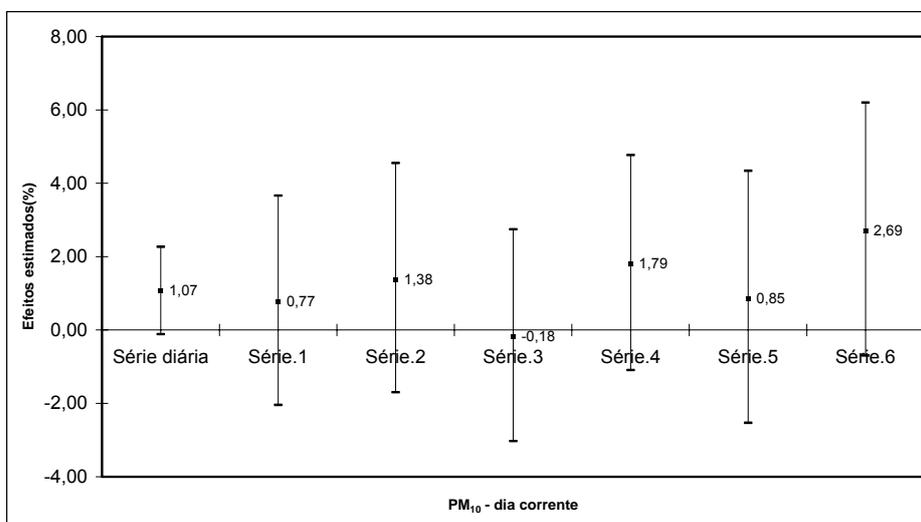


Figura 9: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (dia corrente)).

Tabela 5: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (lag 1)).

	Efeitos estimados(%)	Intervalo de confiança		p-valor
Série diária	0.75	-0.47	1.99	0.23
Série.1	-1.30	-4.46	1.96	0.43
Série.2	0.69	-2.00	3.46	0.62
Série.3	0.66	-2.41	3.82	0.68
Série.4	2.38	-0.49	5.32	0.11
Série.5	-0.25	-3.43	3.03	0.88
Série.6	1.95	-1.35	5.36	0.25

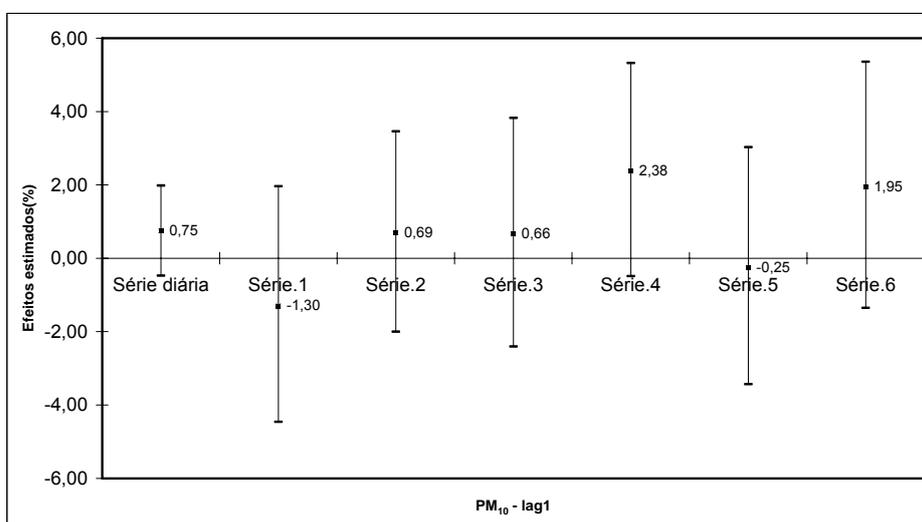


Figura 10: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (lag 1)).

Como forma de comparação dos efeitos encontrados nas séries de 6 dias e na série completa, a Tabela 6 apresenta a média aritmética das estimativas pontuais de efeitos estimados na séries amostradas e a estimativa pontual do efeito estimado para série completa. Foram estimados modelos para estimação do efeito de até 3 dias depois do evento de poluição do ar (lag 3) e o efeito acumulado de até 7 dias depois do evento de poluição do ar (média móvel de até 7 dias). Nota-se que os efeitos estimados na série completa não variaram muito de uma forma geral em relação às médias dos riscos estimados para as séries com periodicidade de 6 dias.

Tabela 6: Média das estimativas dos efeitos estimados (%) das séries amostradas e estimativa do efeito estimado para a série diária completa (DAR65).

	média	Série diária
dia corrente	1.22	1.07
defasagem de 1 dia	0.69	0.75
defasagem de 2 dias	1.33	1.07
defasagem de 3 dias	1.56	1.54
média de 2 dias	1.13	1.16
média de 3 dias	5.27	3.01
média de 4 dias	1.41	1.35
média de 5 dias	1.16	0.85
média de 6 dias	1.27	0.89
média de 7 dias	1.08	0.76

3.1.2

Crianças com menos de 5 anos

A mesma análise feita para a série de doenças do aparelho respiratório em idosos foi realizada para a série de crianças com menos de 5 anos. Os diagnósticos de resíduos dos modelos a seguir apresentados se encontram no Anexo II ao final deste trabalho. Os resíduos em geral apresentaram-se normalmente distribuídos e não correlacionados e em média o parâmetro de dispersão estimado para estes modelos foi de 1,39.

A Tabela 7 apresenta as estatísticas descritivas de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças. Note que neste caso as variações entre as estatísticas das séries particionadas foram pequenas, mas maiores do que para as contagens de internações por doenças respiratórias em idosos. As Tabela 8 e Tabela 9 e as Figuras 6 e 7 apresentam os efeitos estimados e respectivos intervalos de confiança para doenças do aparelho respiratório em crianças com menos de 5 anos, referente a uma variação de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de PM_{10} , considerando tanto a exposição no dia corrente como a exposição com defasagem de 1 dia.

Note como houve uma variação razoável nas estimativas de efeitos estimados para as 6 séries e para série completa diária, tanto para o modelo do dia

corrente, como para o modelo de defasagem de 1 dia. Isto pode ser comprovado pelos parâmetros de dispersão estimados (ANEXO II), uma vez que estes apresentaram valores razoavelmente variantes nas 7 séries.

Isto indica, que embora não haja uma grande variação na série de poluição e que embora os parâmetros de dispersão dos modelos ajustados não sejam “ideais”, uma vez que estes não foram muito baixos e variaram mais que no caso das séries de idosos, a perda de informação pelo uso de uma série de 6 dias, parece acarretar em vieses na estimação dos efeitos, uma vez que a relação entre a poluição do ar e o desfecho de internações hospitalares em crianças parece mudar de forma considerável em diferentes períodos.

Tabela 7: Estatísticas descritivas das séries de contagem de doenças do aparelho respiratório em crianças.

		série total	série 1	série 2	série 3	série 4	série 5	série 6
	n	1095	183	183	183	182	182	182
	média	11.56	11.96	11.79	10.85	11.87	11.57	11.32
	desvio-padrão	7.16	7.51	7.52	6.80	7.49	6.95	6.67
	min	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00
Percentis	5	10.00	10.00	10.00	9.00	10.50	11.00	11.00
	10	3.00	3.00	4.00	3.00	3.00	4.00	3.00
	25	6.00	7.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	50	10.00	10.00	10.00	9.00	10.50	11.00	11.00
	75	16.00	17.00	15.50	15.00	17.00	15.00	15.00
	90	21.00	21.00	22.80	21.00	24.00	20.00	20.90
	95	26.00	26.00	26.90	23.90	27.00	24.00	23.95
	máx	36.00	35.00	36.00	33.00	33.00	34.00	33.00

Tabela 8: Efeitos estimados (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM₁₀ (dia corrente)).

	Efeitos estimados (%)	Intervalo de confiança		p-valor
Série diária	2.07	1.17	2.99	0.00
Série.1	-0.78	-2.76	1.24	0.45
Série.2	3.82	1.48	6.22	0.00
Série.3	5.54	3.26	7.87	0.00
Série.4	3.80	1.67	5.97	0.00
Série.5	3.32	0.75	5.95	0.01
Série.6	1.30	-1.27	3.94	0.33

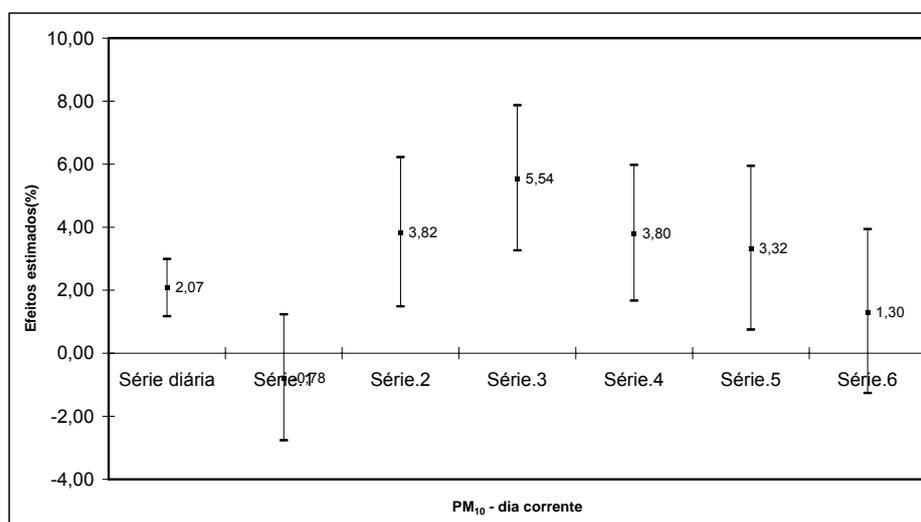


Figura 11: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM₁₀ (dia corrente)).

Tabela 9: Efeitos estimados (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM₁₀ (lag 1)).

	Efeitos estimados	Intervalo de confiança		p-valor
Série diária	2.30	1.43	3.18	0.00
Série.1	1.53	-0.76	3.88	0.19
Série.2	3.26	1.23	5.33	0.00
Série.3	6.82	4.43	9.26	0.00
Série.4	4.24	2.19	6.32	0.00
Série.5	4.85	2.64	7.12	0.00
Série.6	1.49	-1.08	4.13	0.27

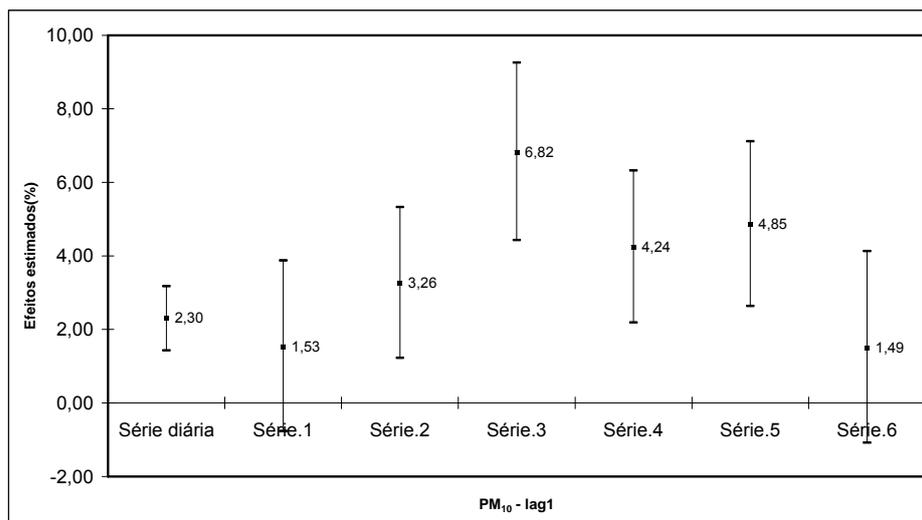


Figura 12: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM10 (lag 1)).

A Tabela 10 apresenta a média aritmética dos efeitos estimados nas séries amostradas e o efeito estimado para série completa. Nota-se que a média dos efeitos estimados nas 6 séries foram bem diferentes em relação aos riscos estimados para a série diária em todos os casos.

Tabela 10: Média das estimativas dos efeitos estimados(%) das séries amostradas e estimativa do efeito estimado para a série diária completa (DAR5).

	média	Série diária
dia corrente	2.83	2.07
defasagem de 1 dia	3.70	2.30
defasagem de 2 dias	4.39	2.62
defasagem de 3 dias	3.37	1.95
média de 2 dias	4.16	2.81
média de 3 dias	5.32	3.66
média de 4 dias	6.08	4.33
média de 5 dias	6.27	4.49
média de 6 dias	6.21	4.31
média de 7 dias	5.69	3.86

3.2

Simulação

Nesta seção são apresentados os principais resultados encontrados das 100 simulações realizadas para as séries de precipitação de chuva, temperatura, umidade e material particulado.

Testes de adequação dos dados reais aos dados simulados foram realizados, a fim de verificar se em média os principais padrões estatísticos das séries reais foram preservados na simulação, e se de forma geral, a estrutura de correlação entre as variáveis de internações hospitalares por doenças respiratórias, poluição do ar, temperatura, umidade, e chuva foram bem representadas pelas séries simuladas.

É importante destacar que se procurou simular todas as séries diárias citadas anteriormente, para que desta forma, fosse possível simular de forma realística, diferentes cenários de concentração de poluição do ar.

Estes diferentes cenários foram simulados, a fim de se analisar como estes poderiam influenciar nos efeitos estimados da poluição do ar nos dois casos: utilizando séries diárias e séries amostradas com periodicidade de 6 dias. Este estudo foi realizado para que fosse possível comparar como as estimativas de efeito da poluição das séries amostradas se distribuem ao redor do efeito estimado na análise da série completa, o qual foi assumido como o efeito “verdadeiro”. Desta forma, pode-se analisar não só o que se observou nas séries reais (primeira parte do trabalho), mas outros possíveis diferentes cenários de poluição atmosférica.

3.2.1

Simulação - precipitação de chuva

A seguir nas Tabela 11 e Tabela 12 são apresentadas respectivamente as estatísticas de Kolmogorov Smirnov para a distribuição Gama e as estimativas dos parâmetros α e β desta distribuição para os dados observados de chuva por mês e ano. Note que os p- valores foram muito altos em todos os períodos, indicando que a distribuição Gama é realmente adequada para simulação dos dados de chuva.

Observa-se também que as estimativas de α e β por mês mudaram significativamente (Tabela 12), o que confirma que a estimação desses parâmetros deve ser feita mensalmente.

Tabela 11: P-valores dos teste de Kolmogorov Smirnov para uma distribuição Gama por mês e ano.

meses	p-valor	meses	p-valor
1	0.78	19	0.61
2	0.55	20	0.57
3	0.83	21	0.81
4	0.93	22	0.46
5	0.71	23	0.45
6	0.82	24	0.50
7	0.77	25	0.88
8	0.73	26	0.50
9	0.81	27	0.92
10	0.46	28	0.86
11	0.66	29	0.77
12	0.36	30	0.38
13	0.73	31	0.81
14	0.45	32	0.62
15	0.83	33	0.66
16	0.96	34	0.46
17	0.81	35	0.55
18	0.97	36	0.86

Tabela 12: Estimativas dos parâmetros da distribuição Gama (α, β) por mês e ano.

meses	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$
1	0.32	37.97
2	0.27	19.63
3	0.25	36.99
4	0.39	21.10
5	0.42	11.01
6	0.39	11.33
7	0.31	32.50
8	0.32	13.14
9	0.34	18.47
10	0.28	24.80
11	0.28	41.87
12	0.24	12.08
13	0.31	13.95
14	0.26	38.63
15	0.30	21.92
16	0.32	44.10
17	0.33	14.13
18	0.36	26.68
19	0.29	19.04
20	0.38	7.46
21	0.28	32.96
22	0.24	50.82
23	0.26	14.33
24	0.29	10.37
25	0.45	17.09
26	0.26	27.15
27	0.33	25.94
28	0.28	35.23
29	0.34	44.17
30	0.28	7.82
31	0.28	46.03
32	0.24	38.35
33	0.38	14.00
34	0.30	9.21
35	0.29	17.07
36	0.43	23.51

A Figura 13 apresenta os gráficos da série real e de uma série simulada de chuva. Note como os gráficos das duas séries foram semelhantes. Na Tabela 13 são apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre as médias das frequências mensais de dias chuvosos nas séries simuladas e as frequências mensais observadas de dias chuvosos na série original, bem como a correlação entre as médias dos totais de precipitação por mês nas séries simuladas e os totais de precipitação na série original por mês. Note que as correlações foram muito altas nesses dois casos, indicando assim que a simulação preservou as principais características da série real de precipitação de chuva.

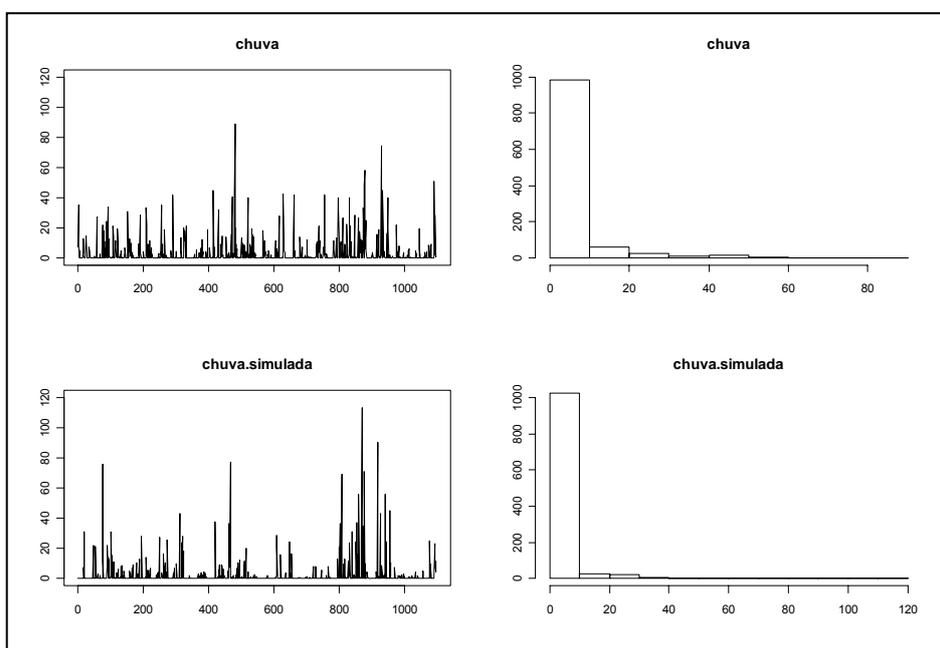


Figura 13: Gráficos da série real e de 1 série simulada de chuva.

Tabela 13: Coeficientes de correlação de Pearson para frequência mensal de dias chuvosos e precipitação total por mês de chuva (séries simuladas e série observada de chuva). Coeficiente de Pearson, p-valor.

	Frequência mensal de dias chuvosos (série real)	Total mensal de precipitação (série real)
Frequência média mensal de dias chuvosos (séries simuladas)	0.90 (0.00)	
Total médio mensal de precipitação (séries simuladas)		0.99 (0.00)

3.2.2

Simulação - temperatura e umidade

Os testes de Kolmogorov-Smirnov e Jarque-Bera foram utilizados para testar a normalidade das séries diárias de temperatura e umidade. As

Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17 mostram os resultados deste teste para temperatura e umidade separadamente (teste univariado), como para o teste conjunto de normalidade destas variáveis (teste bivariado). Como pode ser visto, os p-valores dos testes de Kolmogorov Smirnov univariados e bivariado foram consideravelmente maiores que 0.05, indicando, portanto, que as séries diárias de umidade e temperatura têm distribuição normal univariada/ bivariada. Como pode ser visto, o teste de Jarque Bera apresentou não normalidade apenas para a temperatura.

A Tabela 14 mostra as correlações entre as séries diárias de umidade e material particulado. Note como as correlações mensais foram muito altas, o que corroborou para que a estimação das matrizes de covariância na geração da Normal Bivariada fosse feita mensalmente.

Os gráficos de fac e facp das séries de temperatura e umidade foram utilizados para verificar as ordens dos respectivos modelos SARIMA (Figuras 14 e 15). Os modelos que apresentaram os melhores diagnósticos de resíduos^{3,5,26} e, portanto, escolhidos para simulação das séries de umidade e temperatura foram o SARIMA(1,0,1)*(1,0,1)₁₂ e SARIMA(1,1,2)(1,1,1)₁₂ respectivamente. Os modelos simulados a partir das p+q estimativas encontradas no modelo sazonal foram ARIMA(1,0,1) para série de umidade e ARIMA(1,0,2) para série de temperatura.

Tabela 14: Correlações de Pearson entre temperatura e umidade por mês e ano. P-valor ($\alpha = 0.05$).

meses	Correlações	p-valor
Total	-0.30	0.00
1	-0.77	0.00
2	-0.84	0.00
3	-0.70	0.00
4	-0.83	0.00
5	-0.79	0.00
6	-0.57	0.00
7	-0.88	0.00
8	-0.76	0.00
9	-0.67	0.00
10	-0.45	0.01
11	-0.77	0.00
12	-0.62	0.00
13	-0.52	0.00
14	-0.83	0.00
15	-0.85	0.00
16	-0.61	0.00
17	-0.76	0.00
18	-0.66	0.00
19	-0.80	0.00
20	-0.83	0.00
21	-0.73	0.00
22	-0.88	0.00
23	-0.53	0.00
24	-0.78	0.00
25	-0.83	0.00
26	-0.90	0.00
27	-0.83	0.00
28	-0.83	0.00
29	-0.87	0.00
30	-0.94	0.00
31	-0.84	0.00
32	-0.26	0.16
33	-0.39	0.03
34	-0.69	0.00
35	-0.85	0.00
36	-0.79	0.00

Tabela 15: Teste de Kolmogorov-Smirnov bivariado para temperatura e umidade ($\alpha = 0.05$).

Estatística teste	p-valor
0.03	0.39

Tabela 16: Testes de Kolmogorov-Smirnov e Jarque Bera para temperatura ($\alpha = 0.05$).

Testes	Estatísticas testes	p-valor
Kolmogorov-Smirnov	0.04	0.10
Jarque Bera	16.02	0.00

Tabela 17: Testes de Kolmogorov-Smirnov e Jarque Bera para umidade ($\alpha = 0.05$).

Testes	Estatísticas testes	p-valor
Kolmogorov-Smirnov	0.01	0.98
Jarque Bera	3.75	0.15

A seguir são apresentados gráficos das séries observadas, histogramas, correlogramas e correlogramas parciais das variáveis de temperatura e umidade, bem como os mesmos gráficos de duas séries simuladas destas variáveis (Figuras 14 e 15). Como pode ser visto, os padrões estatísticos da série simulada tanto de temperatura, como de umidade foram de forma geral (pelo menos para estas séries simuladas), preservados em relação às séries reais. Note também que apesar da série simulada de umidade ter apresentado alguns (poucos) valores acima de 100%, uma vez que a distribuição utilizada para simulação da série foi a Normal, os correlogramas e histogramas foram muito parecidos.

Para verificar se em média as 100 simulações apresentaram padrões de média e variância próximos à série observada, foram calculadas as médias das médias mensais das 100 variáveis simuladas e a média das variâncias mensais das 100 variáveis simuladas de temperatura e umidade. A partir disso, calculou-se as correlações entre essas estimativas e as mesmas estimativas (médias mensais e variâncias mensais) para a série real destas variáveis. Como pode ser visto nas Tabela 18 e Tabela 19, as correlações foram muito altas nos dois casos.

Da mesma forma, para constatar se o padrão de autocorrelação das séries reais foram preservados, calculou-se as correlações entre a função de autocorrelação/ autocorrelação parcial das séries observadas de temperatura e umidade e as médias das estimativas de fac e facp das 100 variáveis simuladas destas duas variáveis (Tabela 18 e Tabela 20). As correlações foram altas tanto

para fac, como para facp, o que corrobora que os padrões estatísticos das séries reais foram de forma geral preservados pelas séries simuladas. Deve-se destacar que para o cálculo dessas correlações considerou-se apenas as estimativas até o maior lag estatisticamente significativo e menor que 30 das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial das séries reais.

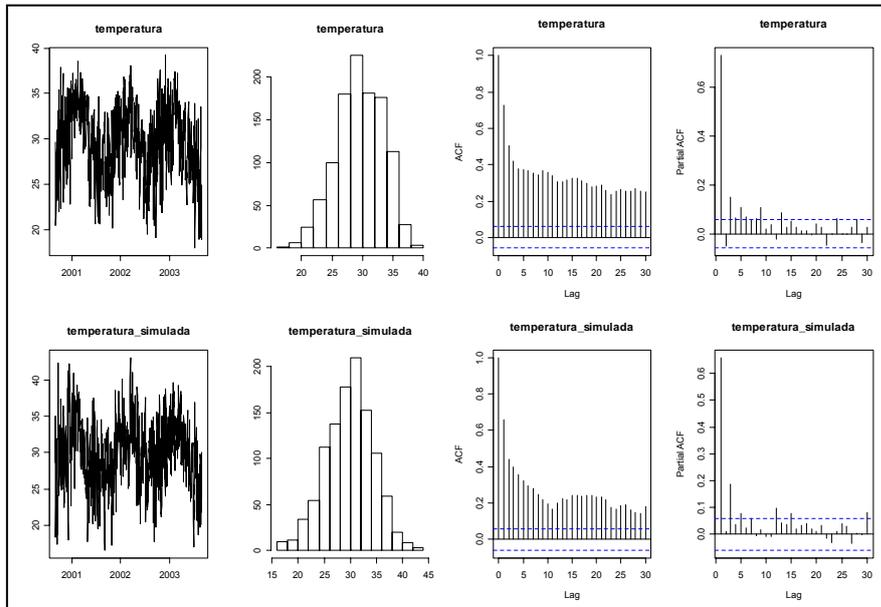


Figura 14: Gráficos das séries observada e simulada de temperatura máxima diária.

Tabela 18: Coeficientes de correlação de Pearson entre médias mensais/variâncias mensais das séries simuladas e série observada de temperatura. Coeficiente de Pearson, p-valor.

	Médias mensal de temperatura (série real)	Variância mensal de temperatura (série real)
Média mensal de temperatura (séries simuladas)	1.00 (0.00)	
Variância mensal de temperatura (séries simuladas)		1.00 (0.00)

Tabela 19: Coeficientes de correlação de Pearson entre as estimativas de fac (30 lags)/ facp (10 lags) das séries simuladas e série observada de temperatura. Coeficiente de Pearson, p-valor.

	fac da série observada	facp da série observada
fac (média das séries simuladas)	0.97 (0.00)	
facp (média das séries simuladas)		0.98 (0.00)

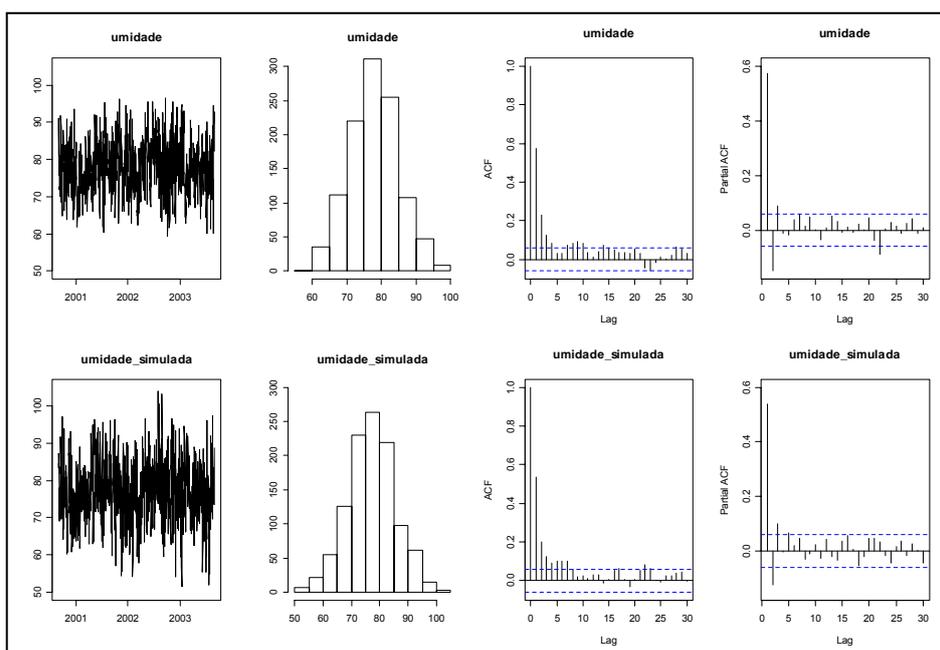


Figura 15: Gráficos das séries observada e simulada de umidade relativa do ar.

Tabela 20: Coeficientes de correlação de Pearson entre médias mensais/variâncias mensais das séries simuladas e série observada de umidade. Coeficiente de Pearson, p-valor.

	Média mensal de umidade (série real)	Variância mensal de umidade (série real)
Média mensal de umidade (séries simuladas)	0.99 (0.00)	
Variância mensal de umidade (séries simuladas)		1.00 (0.00)

Tabela 21: Coeficientes de correlação de Pearson entre as estimativas de fac (14 lags)/facp (22 lags) das séries simuladas e série observada de umidade. Coeficiente de Pearson, p-valor.

	fac da série observada	facp da série observada
fac (média das séries simuladas)	0.98 (0.00)	
facp (média das séries simuladas)		0.97 (0.00)

3.2.3

Simulação - material particulado (PM₁₀)

O teste de Kolmogorov Smirnov e o teste de Jarque Bera foram utilizados para testar a normalidade univariada da série de poluição do ar e a normalidade multivariada dos dados de poluição do ar, umidade e temperatura (Tabela 22 e Tabela 23). Note que o teste indicou a não normalidade nos dois casos, impossibilitando assim a simulação de uma distribuição Normal multivariada para as séries diárias de poluição do ar, temperatura e umidade.

Procurou-se, portanto, encontrar um modelo de simulação para série de material particulado que considerasse a relação existente desta série com as séries de temperatura e umidade.

Uma vez que os gráficos de fac e facp das séries de material particulado mostraram um padrão de um modelo ARIMA(1,0,0) e a série de material particulado possui alta e significativa correlação tanto com as série de temperatura, como com a série de umidade, o modelo escolhido para simulação da série de PM₁₀ foi um modelo de regressão dinâmica com as seguintes variáveis explicativas: poluição do ar defasada em 1 dia, temperatura e umidade diárias. Estes modelos foram estimados a cada mês do período de análise, uma vez que as estimativas das covariâncias entre a série de poluição com temperatura e umidade não se apresentaram constantes em relação ao tempo, devido a sazonalidade das séries.

Os diagnósticos dos resíduos^{3,5,26} para os 36 (12 meses * 3 anos) modelos estimados foram satisfatórios. Como já mencionado no capítulo 2, a partir dos coeficientes encontrados dos modelos estimados, simulou-se 100 séries de

poluição do ar, utilizando estes coeficientes e as variáveis simuladas de temperatura e umidade. Os principais resultados são encontrados a seguir.

A Figura 16 apresenta os gráficos de uma série simulada de material particulado e da série diária observada. Observa-se que os padrões de sazonalidade e autocorrelação, neste caso, foram razoavelmente preservados.

Como nas séries de temperatura e umidade, em média as 100 simulações da série de material particulado apresentaram médias mensais muito próximos à série real. Isto pode ser visto na Tabela 24, visto que a correlação entre as médias mensais das simulações (média das médias mensais das 100 séries simuladas) e da série real foi muito alta.

A variância mensal simulada não foi tão próxima à real (correlação de 0.79 - Tabela 24), o que é esperado, uma vez que a série de poluição do ar possui dias atípicos que não foram considerados na simulação, exceto no caso das simulações desta série considerando diferentes cenários de concentração de poluição do ar.

A Tabela 25 a seguir mostra as correlações entre as médias das estimativas de f_{ac} e f_{acp} das 100 séries simuladas e as estimativas de f_{ac} e f_{acp} da série diária observada de material particulado. As correlações entre as estimativas da função de autocorrelação e autocorrelação parcial foram altas também, principalmente para a função de autocorrelação, o que corrobora que o padrão estatístico da série real foi de forma geral, preservado pelas séries simuladas. É importante ressaltar que considerou-se no cálculo das correlações as 5 primeiras estimativas das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial da série real de poluição do ar.

Tabela 22: Teste de Kolmogorov-Smirnov e Jarque Bera para poluição do ar ($\alpha = 0.05$).

	Estatísticas testes	p-valor
Kolmogorov-Smirnov	0.07	0.00
Jarque-Bera	166.75	0.00

Tabela 23: Teste de Kolmogorov-Smirnov multivariado para poluição do ar, umidade e temperatura ($\alpha = 0.05$).

Estatística teste	p-valor
0.23	0.00

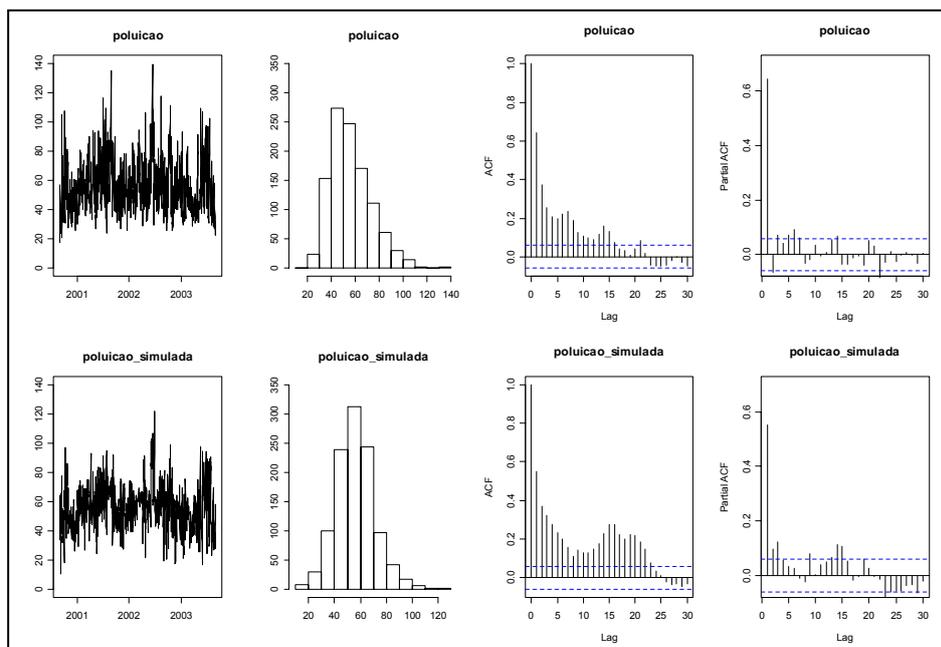


Figura 16: Gráficos das séries observada e de uma série simulada de PM_{10} .

Tabela 24: Coeficientes de correlação de Pearson entre médias mensais/variâncias mensais das séries simuladas e série observada de material particulado. Coeficiente de Pearson, p-valor.

	Média mensal de umidade (série real)	Variância mensal de umidade (série real)
Média mensal de umidade (séries simuladas)	0.99 (0.00)	
Variância mensal de umidade (séries simuladas)		0.79 (0.00)

Tabela 25: : Coeficientes de correlação de Pearson entre as estimativas de $fac/facp$ (5 lags) das séries simuladas e série observada de material particulado. Coeficiente de Pearson, p-valor.

	fac da série observada	$facp$ da série observada
fac (média das séries simuladas)	0.98 (0.00)	
$facp$ (média das séries simuladas)		0.95 (0.01)

3.2.4

Resultados para modelos com séries simuladas, segundo diferentes cenários de concentração de poluição do ar

A seguir são apresentados os resultados da simulação de cenários de concentração de poluição do ar. Séries diárias de contagem de internações por doenças do aparelho respiratório em crianças com mais de 5 anos foram simuladas, segundo um modelo linear generalizado de Poisson, utilizando as séries climáticas simuladas, séries fixas (séries dummies para feriados e dias da semana) e de poluição do ar e considerando 3 diferentes cenários de concentração de material particulado (aumentos de dias atípicos de concentração de material particulado por mês de 25%, 100% e 200%).

Para cada conjunto de dados simulados, ou seja, para cada cenário de concentração de poluição do ar, os efeitos do material particulado no desfecho de internações hospitalares foram estimados, utilizando a estrutura dos modelos aditivos generalizados estimados na seção 3.1.2, tanto para as séries reais diárias como para as séries particionadas de 6 dias (mesmos números de graus de liberdade, no caso de ter se usado a função spline e mesmo tamanhos de janelas, no caso de ter se usado a função loess).

Como considerou-se neste estudo 3 diferentes cenários de concentração de poluição do ar, 100×3 (100 simulações e 3 cenários) modelos foram estimados para as séries diárias e $100 \times 3 \times 6$ (100 simulações, 3 cenários e 6 séries particionadas) modelos foram estimados para as séries particionadas com periodicidade de 6 dias.

A Tabela 26| e a Figura 16 apresentam as médias dos efeitos estimados estimados para os 100 modelos das séries diárias simuladas e com periodicidade de 6 dias, considerando os 3 diferentes cenários de concentração de poluição do ar: aumento de probabilidade de dias atípicos de concentração de material particulado de 25% ,100% e 200%.

Nota-se que a quanto maior a quantidade de dias atípicos simulados, maior é a média e variação entre a estimativa de efeito da série diária e da média dos efeitos estimados para as séries de 6 dias. Deve-se destacar que em média a quantidade de dias atípicos por mês na série real de material particulado foi de 3 dias. Portanto, quando se diz que foi simulado um aumento de 25%,100% e

200%, houve em média um aumento na série diária de 1 ano, por exemplo, de 36 dias atípicos para: 45, 72 e 108 dias atípicos respectivamente.

Tabela 26: Efeitos estimados (%) para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM_{10} - dados simulados com aumento de 25%, 100% e 200% de dias atípicos de material particulado por mês - série diária e séries com periodicidade de 6 dias).

	Efeitos estimados		
	25%	50%	100%
série 1	2,78	3,11	3,78
série 2	2,25	3,13	3,97
série 3	2,68	2,93	3,66
série 4	2,06	4,35	4,21
série 5	2,54	3,57	3,54
série 6	2,43	2,94	3,40
Média dos efeitos nas séries particionadas	2,27	2,64	2,72
Efeito para série completa	2,46	3,34	3,76
Média dos efeitos nas séries particionadas/ Efeito para série completa	0,92	0,79	0,72

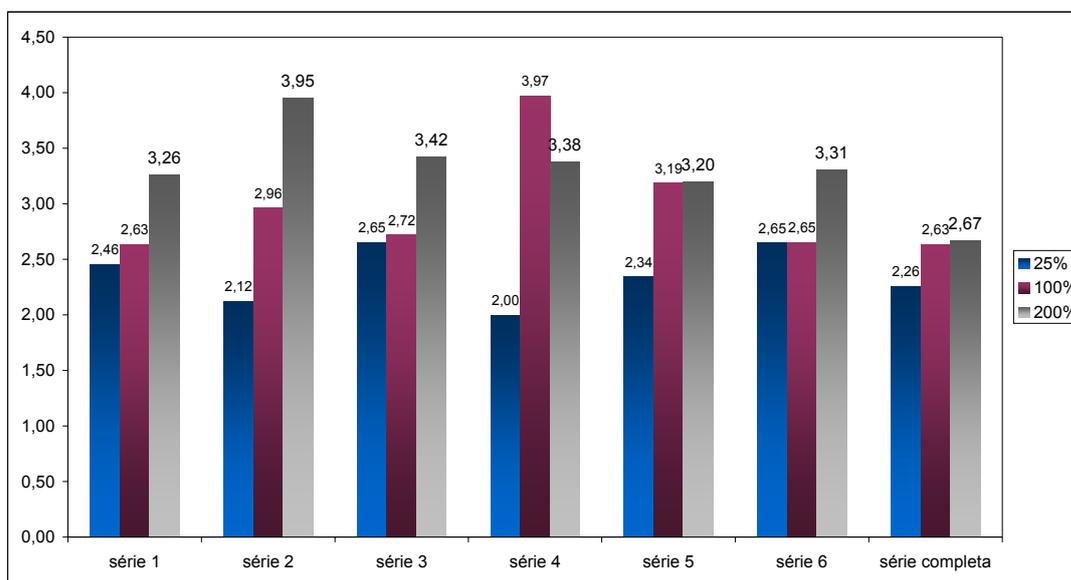


Figura 17: Média dos efeitos estimados nas 100 séries simuladas por cenário de concentração de poluição do ar (séries particionadas e séries completa).

3.3

Resultados para modelos de séries com periodicidade de 6 dias (dados FEEMA)

A seguir são apresentadas algumas análises para a cidade do Rio de Janeiro utilizando os dados reais com periodicidade de 6 dias da Rede Manual disponibilizados pela FEEMA. Considerou-se como indicador de poluição do ar do município, a média diária entre as séries de poluição do ar nos monitores manuais localizados no Rio (a média diária calculada através de dados imputados, segundo um algoritmo EM²¹). Foram estimados 4 modelos: 2 para doenças do aparelho respiratório em idosos (dia corrente e lag1) e 2 para doenças do aparelho respiratório em crianças (dia corrente e lag1). Os diagnósticos de resíduos de todos os modelos apresentados a seguir se encontram no Anexo IV ao final deste trabalho. Os diagnósticos em geral, apresentaram bons resultados, com resíduos normalmente distribuídos e não correlacionados.

3.3.1

Idosos com mais de 65 anos

A Tabela 27 e a Figura 18 a seguir mostram os efeitos estimados e intervalos de confiança em porcentagem do aumento de internações hospitalares de doenças do aparelho respiratório em idosos residentes na cidade do Rio para um aumento na exposição de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deste grupo (dia corrente e (lag1)).

O efeito foi significativo apenas para o dia corrente (3.36% de aumento nas internações hospitalares). Este efeito foi maior se comparado às estimativas para a série diária e para as séries particionadas, utilizando apenas dados da Rede Automática da FEEMA e da SMAC (Tabela 4).

Tabela 27: Efeitos estimados, aumentos percentuais (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos na cidade do Rio de Janeiro.

	Efeito estimado (%)	Intervalo de confiança		p-valor
dia corrente	3.36	1.19	5.58	0.00
lag1	1.06	-1.23	3.41	0.37

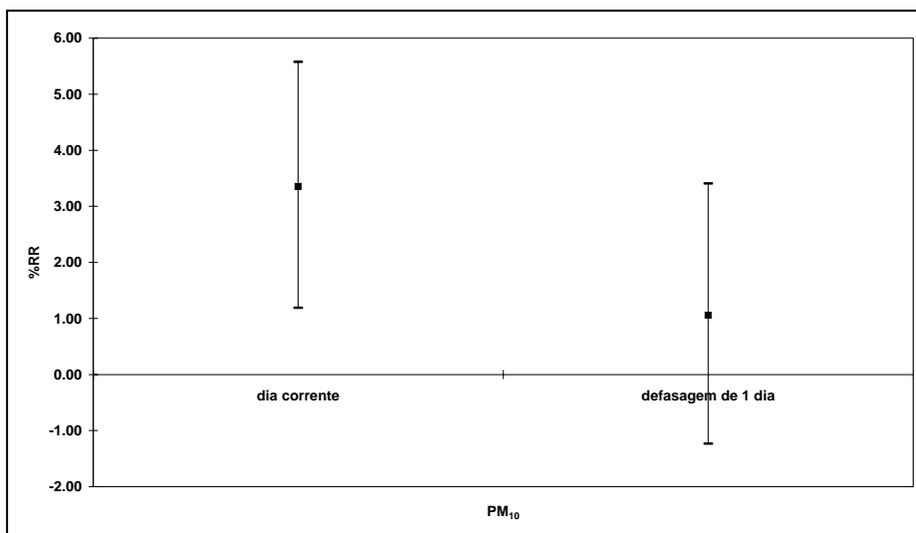


Figura 18: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos na cidade do Rio de Janeiro.

3.3.2

Crianças com menos de 5 anos

Foram estimados também os efeitos da variação de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado na contagem de internações hospitalares em crianças residentes na cidade do Rio. Os efeitos foram muito altos e significativos, tanto para o dia corrente, como para 1 dia após a exposição do grupo à poluição do ar (lag 1).

As estimativas pontuais dos efeitos estimados, nos dois casos, apresentaram-se muito maiores, se comparadas às estimativas utilizando apenas dados diários da Rede Automática da FEEMA e da SMAC, tanto para a série diária completa, como para as séries amostradas com periodicidade de 6 dias (Tabela 8 e Tabela 9). Isto poderia ser explicado pelo fato da Rede Manual medir dados acumulativos da concentração de material particulado a cada seis dias, diferentemente da Rede Automática que mede dados não acumulativos e

diariamente. Além disso, o indicador de concentração de material particulado para cidade do Rio, utilizado na estimação dos efeitos encontrados nas Tabela 8 e Tabela 9, foi calculado através da média deste poluente em 6 monitores/ 4 bairros, enquanto na Tabela 28 a seguir, o índice de poluição do ar para a cidade do Rio utilizado, foi calculado através da média de material particulado nos 7 monitores/ 7 bairros da mesma Rede localizados no município, ou seja 3 bairros a mais que na Rede Automática.

Tabela 28: Efeitos estimados, aumentos percentuais (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças na cidade do Rio de Janeiro.

	Efeito estimado (%)	Intervalo de confiança		p-valor
dia corrente	8.10	5.40	10.80	0.00
lag1	7.30	4.50	10.20	0.00

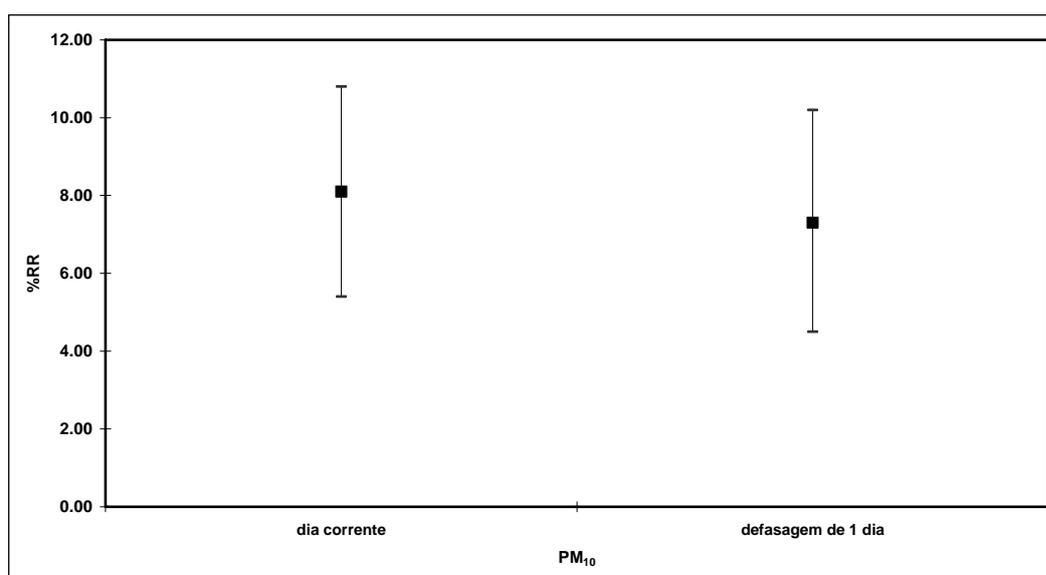


Figura 19: Efeitos estimados, aumentos percentuais (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças na cidade do Rio de Janeiro.