

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS E VALORAÇÃO DOS
DANOS SOCIOECONÔMICOS CAUSADOS PARA
AS COMUNIDADES ATINGIDAS PELO ROMPIMENTO
DA BARRAGEM DE FUNDÃO**

**Renda Agregada do Município
de Mariana-MG e o Rompimento
da Barragem de Fundão**



SETEMBRO DE 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/FGV

Fundação Getulio Vargas

Renda Agregada do Município de Mariana-MG e o Rompimento da Barragem de Fundão / Fundação Getulio Vargas. – Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2022.

45 p.

Em colaboração com: André Portela Fernandes de Souza, Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón, Heron Marcos Teixeira Rios, Lucas Gerez Foratto, Reynaldo Fernandes.

Acima do título: Projeto Rio Doce – Avaliação dos Impactos e Valoração dos Danos Socioeconômicos Causados para as Comunidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem de Fundão.

Inclui bibliografia.

1. Projeto Rio Doce. 2. Fundão, Barragem de (MG). 3. Barragens e açudes – Aspectos sociais. 4. Indenização. 5. Vítimas de desastres – Aspectos econômicos. 6. Mariana (MG). 7. Produto interno bruto – Mariana (MG). I. Título.

CDD – 627.8

EQUIPE TÉCNICA

André Portela Fernandes de Souza

Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón

Heron Marcos Teixeira Rios

Lucas Gerez Foratto

Reynaldo Fernandes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Mapa da localização do município de Mariana (MG)	16
Figura 2 — Composição setorial do PIB de e Mariana (MG), dos 40 municípios atingidos, da Sub-bacia do Rio Doce e de MG e ES (%)	19
Figura 3 — Municípios selecionados pela distância de Mahalanobis como potenciais controles para o município de Mariana (MG)	24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — PIB do município de Mariana (MG) em R\$ bilhões de 2020	17
Gráfico 2 — PIB <i>per capita</i> dos municípios selecionados pelo Controle Sintético e do município de Mariana (MG) (R\$ milhares de 2020).....	27
Gráfico 3 — PIB <i>per capita</i> do município de Mariana (MG) e do município sintético (R\$ milhares de 2020)	28
Gráfico 4 — Diferença entre o PIB <i>per capita</i> observado e o sintético para o município de Mariana (MG) (realizado) e placebos	30
Gráfico 5 — Distribuição acumulada da razão pré e pós-RMSPE para o município de Mariana (MG) (realizado) e placebos	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — População das sub-regiões (habitantes)	18
Tabela 2 — Estimativas do Controle Sintético de impacto do rompimento sobre o PIB agregado de Mariana (MG) sob especificações alternativas (R\$ bilhões de 2020)	25
Tabela 3 — Pesos estimados pelo Controle Sintético dos municípios que compõem o município de Mariana (MG) sintético (%) — contrafactuais selecionados	26

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	8
1 INTRODUÇÃO	12
2 PERFIL DO MUNICÍPIO DE MARIANA (MG)	15
3 METODOLOGIA DE ESTIMAÇÃO DO IMPACTO DO ROMPIMENTO.....	20
3.1 Controle Sintético e a construção dos contrafactuais	20
3.2 Inferência estatística no contexto do Controle Sintético	21
4 RESULTADOS.....	23
4.1 Impactos do rompimento sobre o PIB do município de Mariana (MG)	23
5 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33
APÊNDICE A.....	35
APÊNDICE B.....	36
APÊNDICE C.....	37
APÊNDICE D.....	38
APÊNDICE E.....	40
APÊNDICE F.....	42
APÊNDICE G	43

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este estudo apresenta os impactos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG) em novembro de 2015 sobre o Produto Interno Bruto (PIB) do município de Mariana (MG) para os anos de 2016 a 2018. Ele faz parte de uma sequência que investiga os impactos econômicos do rompimento da Barragem de Fundão. Os estudos anteriores trouxeram evidências do impacto sobre o PIB dos estados e sub-regiões de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES). O presente estudo avança na análise da perda da renda agregada nesses estados: primeiro, ao apresentar evidências de impacto no epicentro do rompimento, o município de Mariana (MG); segundo, ao atualizar as estimativas com dados do PIB municipal mais recentes referentes à série de 2019 do IBGE.

A metodologia utilizada nas estimativas do impacto no município de Mariana (MG) baseia-se na técnica econométrica de Controle Sintético proposta por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie et al. (2010, 2015). Nesta metodologia, constrói-se um município sintético que replique a trajetória do PIB pré-rompimento da unidade atingida (antes de 2015), com base num grupo de controle (por exemplo, demais municípios). O método produz pesos que ponderam o grau de similaridade de cada um dos municípios no grupo de controle com o município tratado para construir o município sintético. De forma simplificada, mensura-se o impacto por meio da diferença entre as trajetórias do PIB da unidade atingida e do município sintético estimado, nos anos após o rompimento.

Um ponto-chave do método na identificação do efeito em questão é o fato de que os impactos são mensurados sob dois requisitos: (i) o desastre não impacta as regiões definidas como controle; e (ii) todos os demais fatores que afetam a trajetória do PIB impactam similarmente as regiões atingidas e as de controle. Tendo em vista que o rompimento pode ter afetado outras sub-regiões dos estados de MG e ES (evidências nesse sentido foram apresentadas em estudo anterior: FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), (2021m)), apenas os municípios fora dos estados de MG e ES foram considerados como potencial grupo de controle, de forma a restringir a chance de unidades grupo de controle serem afetadas.

Em relação à segunda premissa, foi feita uma pré-seleção dos municípios a partir da “distância de Mahalanobis” que faz um ordenamento dos municípios fora de MG e ES segundo algumas características geográficas e demográficas relevantes, no ano de 2014 pré-rompimento, como: a participação dos setores da agropecuária, indústria e serviços no PIB dos municípios, a densidade populacional, a população, a proporção de residentes em área urbana e rural, e proporção da população ocupada em atividades

industriais. Desse modo, ao selecionar municípios com características semelhantes às de Mariana, é possível controlar efeitos de choques macroeconômicos que afetam tanto a unidade atingida quanto os municípios de controle, como é o caso de oscilações do preço do minério de ferro.

Para efeito de análise de sensibilidade da estimação do impacto no município feita por meio do método de Controle Sintético, foram consideradas quatro especificações alternativas de contrafactuais, numeradas de Contrafactual 2 a 5 seguindo a sequência de estudo anterior^{1 2}. Isto é feito de modo a permitir a comparação dos resultados.

As estimativas de impacto foram obtidas utilizando as séries de PIB municipal observadas (e divulgadas pelo IBGE em sua versão 2019) no período 2002 a 2018, pré e pós desastre. Embora o PIB municipal de 2019 esteja disponível na série atualizada, a estimativa do impacto desse último ano pode estar sujeita aos efeitos do desastre no município de Brumadinho-MG, ocorrido naquele ano. Assim, a presente análise foca nos anos para os quais é possível melhor identificar o efeito do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG).

Adicionalmente, levou-se em consideração a possibilidade de efeitos atenuadores ou amplificadores da variação do preço do minério de ferro, uma vez que é possível que o impacto tenha afetado também o preço do minério de ferro e suas flutuações podem confundir as estimativas do impacto do rompimento. Nesse caso, espera-se que a inclusão das variáveis “proporção da população ocupada em atividades industriais” e “proporção do valor adicionado da indústria no PIB municipal” na pré-seleção de municípios pela distância de Mahalanobis possa controlar, ao menos em parte, os efeitos da variação do preço do minério, ao selecionar para o grupo de controle municípios com características similares em termos da atividade extrativa mineral e que, portanto, estão potencialmente sujeitos ao mesmo choque.

A Tabela 1 a seguir mostra a síntese de resultados da estimativa de impacto no município de Mariana (MG), em bilhões de reais de 2020. Como é possível observar, o impacto acumulado no período de 2015 a 2018 está entre uma perda de R\$ 4,7 bilhões

¹ Composição dos contrafactuais:

- Contrafactual 2: passado do PIB *per capita* de 2002 a 2014;
- Contrafactual 3: média das demais covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2002 a 2004 e de 2011 a 2014;
- Contrafactual 4: média das demais covariadas e a média do PIB *per capita* de 2002 a 2014;
- Contrafactual 5: média das demais covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2011 a 2014. As demais covariadas são relacionadas com a estrutura produtiva dos municípios; são elas: densidade populacional e composição do PIB (participação dos setores agropecuário, indústria e serviços).

² FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019f.

no Contrafactual 3 (26,2% do PIB contrafactual acumulado, isto é, o PIB do município sintético) e de R\$ 14,5 bilhões no Contrafactual 4 (52,4% do PIB contrafactual acumulado). Entre os resultados, o Contrafactual 2 é a estimativa de referência por apresentar o melhor ajuste pré-rompimento (menor RMSPE-pré). Em particular, a perda anual estimada no resultado de referência é de R\$ 0,3 bilhão (7,6%), R\$ 1,1 bilhão (28,5%), R\$ 1,7 bilhão (33,9%) e R\$ 1,7 bilhão (36,1%) entre 2015 e 2018, respectivamente, totalizando R\$ 4,8 bilhões. Estes valores mencionados em parênteses referem-se ao percentual da perda em relação ao PIB contrafactual. Em geral, os resultados sugerem um padrão de perda do PIB crescente ao longo dos anos, para o município de Mariana (MG).

Tabela 1 — Estimativas do Controle Sintético de impacto do rompimento sobre o PIB agregado de Mariana (MG) sob especificações alternativas (R\$ bilhões de 2020)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
2015	R\$ bilhões	-0,3	-0,2	-2,5	-0,6
	% do PIB ^{CF}	-7,6	-5,6	-37,4	-12,0
	P-valor bicaudal	0,69	0,75	0,27	0,55
	P-valor unicaudal	0,40	0,43	0,16	0,29
2016	R\$ bilhões	-1,1	-1,0	-2,0	-1,1
	% do PIB ^{CF}	-28,5	-27,9	-42,4	-29,7
	P-valor bicaudal	0,40	0,39	0,27	0,32
	P-valor unicaudal	0,13	0,16	0,09	0,13
2017	R\$ bilhões	-1,7	-1,6	-3,8	-1,8
	% do PIB ^{CF}	-33,9	-33,0	-53,1	-35,2
	P-valor bicaudal	0,25	0,27	0,16	0,29
	P-valor unicaudal	0,07	0,09	0,05	0,09
2018	R\$ bilhões	-1,7	-1,8	-6,3	-2,4
	% do PIB ^{CF}	-36,1	-36,8	-67,7	-44,6
	P-valor bicaudal	0,31	0,36	0,13	0,29
	P-valor unicaudal	0,13	0,20	0,05	0,13
Acumulado	R\$ bilhões	-4,8	-4,7	-14,5	-5,9
	% do PIB ^{CF}	-26,7	-26,2	-52,4	-31,0
	P-valor bicaudal	0,71	0,66	0,14	0,43
RMSPE	Pré	10,68	10,76	15,56	11,76
	Pós	21,80	21,53	65,63	26,87

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Nota: PIB^{CF} se refere ao PIB contrafactual, isto é, o PIB sintético obtido pela estimação do Controle Sintético. Para esse exercício retiraram-se os municípios de MG e ES, uma vez que estes potencialmente foram atingidos.

Uma característica importante da perda estimada é o fato de que, em linha com o esperado, o impacto no município de Mariana (MG) tende a ser mais intenso como proporção do PIB contrafactual. Em comparação, o impacto estimado sobre o PIB de MG e ES, conjuntamente, no mesmo período, representou 6,1% do PIB sob o mesmo contrafactual (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021z). De modo que, embora tenha sofrido um impacto menor em relação ao impacto total no estado (de R\$ 206,6 bilhões, no mesmo período, (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021z), o município sofreu uma perda proporcionalmente maior em relação ao seu PIB contrafactual. Esse resultado está em linha com as estimativas para sub-regiões de MG e ES em estudo anterior, nas quais o impacto tende a ser mais intenso em localidades mais próximas geograficamente do rompimento ou com maior conexão econômica (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021m).

1 INTRODUÇÃO

Este estudo apresenta as estimações das perdas econômicas devido ao rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG), ocorrido em 2015. A investigação apresentada busca documentar o efeito do rompimento sobre o Produto Interno Bruto (PIB) — ou renda agregada — do município de Mariana (MG) a partir dos dados divulgados pelo IBGE em 2019.

Em trabalhos anteriores, apresentaram-se evidências de impacto do rompimento sobre os estados de MG e ES e diversos recortes sub-regionais nesses estados (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019f; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2020i; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021z; FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021m). Entre os recortes estão a sub-bacia do rio Doce, os cinco municípios do Litoral Adjacente do ES (Aracruz, Conceição da Barra, Fundão, São Mateus e Serra) e o município de Anchieta (ES), este último já presente em estudos anteriores em face da sua importância no processo de pelotização e escoamento do minério via porto de Ubu. Adicionalmente, incluiu-se a estimativa do impacto sobre 40 municípios, que em conjunto com os municípios do Litoral Adjacente totalizam os 45 municípios definidos como atingidos pelo TTAC (e deliberações posteriores), e a sub-região complementar, definida como o conjunto dos municípios dos estados de MG e ES, excluindo as sub-regiões anteriores³.

A fim de estimar o impacto do rompimento sobre o município de Mariana (MG) empregou-se o método de Controle Sintético (Abadie & Gardeazabal, 2003; Abadie, Diamond, & Hainmueller, 2010, 2015). Resumidamente, o método de Controle Sintético fornece um procedimento para obter um município sintético que replique o comportamento do PIB do município atingido, no período anterior ao rompimento, a partir de características observáveis relevantes. A diferença entre o PIB observado do município atingido e o PIB estimado do município sintético, no período pós-rompimento, fornece a estimativa de impacto.

As estimativas de impacto foram obtidas utilizando as séries de PIB *per capita* municipal observadas (e divulgadas pelo IBGE em sua versão 2019) no período 2002 a 2018, pré e pós desastre. O período até 2014 (último ano pré-desastre) é utilizado para a estimativa do município sintético, enquanto o período 2015-2018 é utilizado para

³ BRASIL. Tribunal Regional Federal da 1ª Região. Ação Civil Pública nº 006975861.2015.4.01.3400. **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC)**. Brasília, 2 mar. 2016. Além do TTAC, a Deliberação nº 58 de 2017 do CIF/Ibama (Comitê Interfederativo) define as “áreas estuarinas, costeiras e marinha impactadas” integrantes da área de abrangência socioeconômica nos termos do TTAC.

mensurar o impacto sobre o produto *per capita* municipal. A partir das estimativas, recupera-se o impacto sobre o PIB municipal multiplicando pela população. É importante fazer a ressalva de que, embora o PIB municipal de 2019 esteja disponível na série atualizada, a estimativa do impacto desse último ano pode estar sujeita aos efeitos do rompimento da barragem de Brumadinho no município de Brumadinho-MG, ocorrido naquele ano. Assim, a presente análise foca nos anos para os quais é possível melhor identificar o efeito do desastre em Mariana (MG).

A depender das características observáveis relevantes utilizadas no Controle Sintético, diferentes municípios do grupo de controle e diferentes pesos podem ser selecionados para compor o município sintético – este definido como a soma ponderada da variável de interesse (nesse caso, o PIB municipal) dos municípios selecionados, i.e., com peso positivo. Por essa razão, foram construídas 4 especificações alternativas para construir o município sintético que utiliza de forma distinta o passado do PIB municipal, e outras características dos municípios como densidade populacional e composição do PIB (participação dos setores agropecuário, indústria e serviços) na estimação dos pesos.

A definição do grupo de controle (os municípios que servirão para compor o município de Mariana (MG) sintético) tem um papel chave no cálculo do impacto. Isso porque a combinação desses municípios (i.e., o município sintético) é uma estimativa do comportamento da unidade atingida na ausência do rompimento. De sorte que os municípios que o compõem não podem ter sido atingidos pelo rompimento. Uma vez que o rompimento possa ter afetado outras sub-regiões dos estados de MG e ES – evidências nesse sentido foram apresentadas em estudo anterior (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021m) –, apenas os municípios fora dos estados de MG e ES foram considerados como potencial grupo de controle, de forma a restringir a chance de unidades grupo de controle serem afetadas.

Entretanto, mesmo utilizando os municípios fora desses estados, o grupo de controle permanece com um grande número de municípios a serem selecionados pelo Controle Sintético, o que pode levar a estimação a incorrer em problemas de alta dimensionalidade (Abadie & L'Hour, 2021). Por essa razão, implementou-se uma pré-seleção de municípios com características semelhantes a partir da “distância de Mahalanobis”, utilizando características geográficas e demográficas dos municípios em 2014, o ano imediatamente anterior ao rompimento da barragem. As características consideradas são: a participação dos setores da agropecuária, indústria e serviços no PIB dos municípios, a densidade populacional, a população, a proporção de residentes em área urbana e rural, e proporção da população ocupada em atividades industriais.

Os resultados das estimações sugerem que o impacto acumulado do desastre sobre o PIB de Mariana (MG), ao longo do período de 2015 a 2018, está entre uma perda real de 26,2% (R\$ 4,7 bilhões) a 52,4% (14,5 bilhões). Mais ainda, esse resultado está em linha com as estimativas para sub-regiões e municípios de MG e ES em estudo anterior, nas quais o impacto tende a ser mais intenso em localidades mais próximas geograficamente do rompimento ou com maior conexão econômica (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021m).

O texto segue da seguinte forma: a Seção 2 descreve brevemente o perfil econômico de Mariana (MG) e o comportamento do PIB municipal pós-rompimento. A Seção 3 apresenta a metodologia baseada na técnica econométrica de Controle Sintético utilizada na estimação dos impactos sobre o PIB. A Seção 4 mostra os resultados das estimações para cada contrafactual analisado. Por fim, a Seção 5 finaliza com uma conclusão.

2 PERFIL DO MUNICÍPIO DE MARIANA (MG)

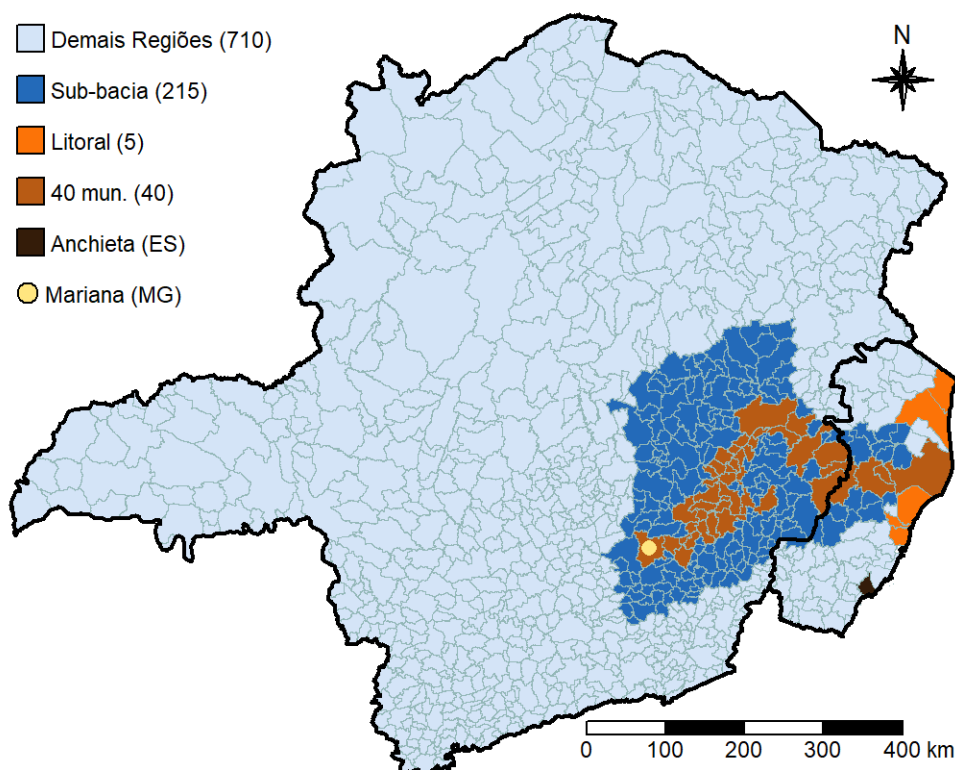
Antes de explorar o impacto do rompimento da Barragem de Fundão, em 2015, localizada em Mariana (MG) sobre o PIB do próprio município, a seguir, apresenta-se uma breve descrição do seu perfil econômico.

A Figura 1 destaca o município de Mariana (MG) juntamente com outras sub-regiões dos estados de MG e ES relevantes no contexto do rompimento. Em primeiro lugar, destaca-se o município de Mariana (MG), o epicentro do desastre (círculo rosa). A partir daí os rejeitos percorreram os municípios ao longo da calha do Rio Doce desde o estado Minas Gerais até o Espírito Santo, onde tem sua foz no oceano Atlântico. Os 40 municípios adjacentes ao rio Doce estão destacados em marrom na figura (dentre eles, o município de Mariana (MG)). Esses municípios formam, em conjunto com os 5 municípios do Litoral Adjacente (em laranja), os 45 municípios definidos como atingidos pelo TTAC⁴.

Destacam-se também os municípios integrantes da sub-bacia hidrográfica do rio Doce (em azul escuro), definida pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (Dnaee) em 1972 (Agência Nacional de Águas, s.d.) e da qual fazem parte os 40 municípios. Em seguida, destaca-se o município de Anchieta (ES) (em preto) que, embora não tenha sido fisicamente afetado pela passagem dos rejeitos, integra a cadeia produtiva de exportação do minério de ferro através do processo de pelotização pela mineradora Samarco S.A. e exportação do minério via porto de Ubu, no Espírito Santo.

⁴ A lista de municípios atingidos considerada no presente documento é composta pelo conjunto de 45 municípios citados no TTAC (BRASIL, 2016) e na Deliberação nº 58 do Cif/Ibama (BRASIL, 2017) além de Ponte Nova, devido ao fato de a comunidade de Chopotó, localizada nesse município, ter sido atingida. Ressalta-se que essa lista de municípios atingidos não configura um posicionamento da FGV quanto à delimitação de áreas atingidas para qualquer finalidade.

Figura 1 — Mapa da localização do município de Mariana (MG)



Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Nota: Números indicados em parênteses nas legendas correspondem ao total de municípios contidos na área sob análise.

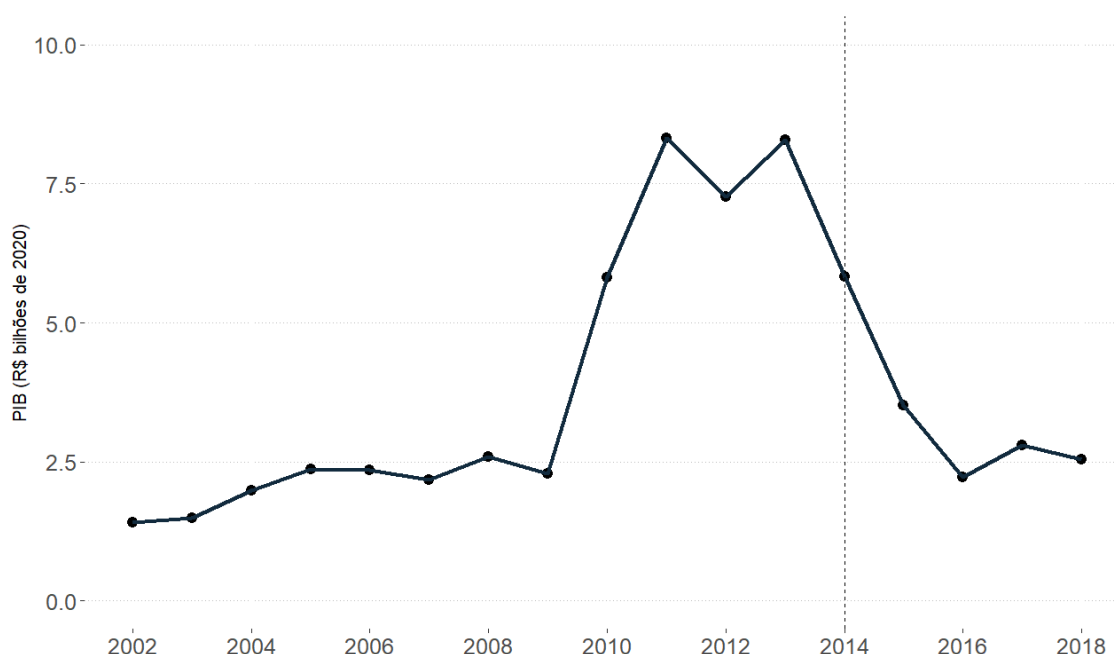
Na sequência, faz-se uma descrição da trajetória do PIB de Mariana (MG) analisado neste estudo, apresentando evidências de queda do produto no período subsequente ao desastre em 2015 e ausência de recuperação. Esta análise busca explorar evidências dos potenciais efeitos sobre o município impactado pelo desastre.

O Gráfico 1 apresenta a trajetória do PIB municipal de Mariana (MG) no período entre 2002 a 2018. Destaca-se o ano de 2014 como o último ano anterior ao desastre. Como é possível notar, o PIB de Mariana (MG), em valores de reais de 2020, apresenta uma tendência atípica de crescimento no período exatamente anterior ao rompimento em relação à sua série histórica, com significativo aumento até 2011. Em contraste, no período pós-desastre há uma queda significativa de 61,7% entre 2014 e 2016, o período datado da última recessão brasileira. Vale ressaltar, porém, que esse comportamento do PIB de Mariana (MG) no pós-desastre também é observado nos demais recortes

sub-regionais examinados em estudos anteriores (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021m).

Todavia, é importante notar que a queda do PIB já se inicia em 2014 e que o rompimento ocorreu em novembro de 2015. Mais ainda, vale ressaltar que os anos pós-rompimento analisados coincidem com o período datado da última recessão brasileira, entre 2014 e 2016. De modo que não seria acurado atribuir alguma evidência do impacto do rompimento a essa queda inicial. Por essa razão, a utilização da técnica de Controle Sintético se faz necessária pois permite controlar efeitos de choques concomitantes que ocorreram de forma paralela entre o município afetado e aqueles que compõem grupo de controle.

Gráfico 1 — PIB do município de Mariana (MG) em R\$ bilhões de 2020



Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Para completar a descrição do perfil econômico de Mariana (MG), apresentam-se as estatísticas populacionais e de composição setorial no período em torno do rompimento. A Tabela 1 mostra a população das sub-regiões entre 2014 e 2018. Vale destacar que os 40 municípios atingidos correspondem, em média, a 6,0% da população total de MG e ES no período. A lista completa de municípios se encontra no APÊNDICE A.

Tabela 1 — População das sub-regiões (habitantes)

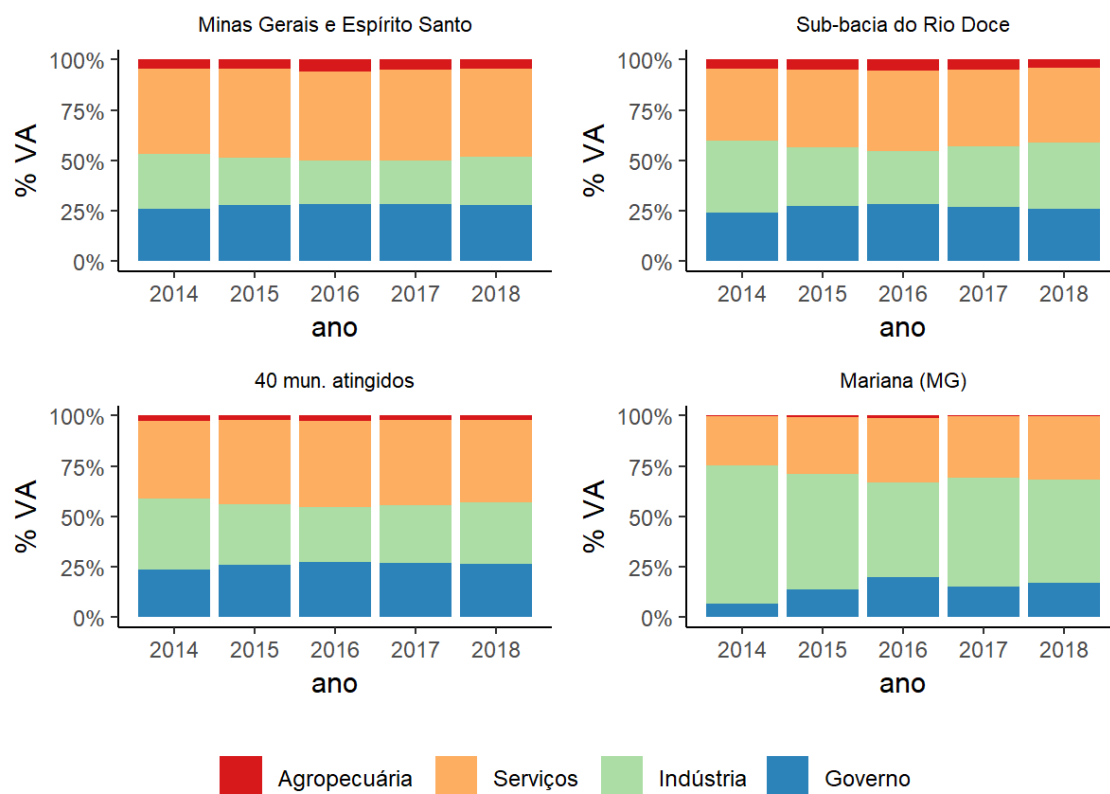
Ano	Mariana (MG) (milhares)	40 mun. (milhões)*	MG e ES (milhões)
2014	58,233	1,482	24,619
2015	58,802	1,493	24,799
2016	59,343	1,503	24,971
2017	59,857	1,513	25,136
2018	60,142	1,503	25,013

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Nota: Os 40 municípios mais os municípios do Litoral Adjacente estão listados no Apêndice A.

Em relação à composição setorial, a Figura 2 mostra a participação dos setores da agropecuária, indústria, serviços e serviços governamentais – que incluem os gastos e tributos – no período de 2014 a 2018, para Mariana (MG). A título de comparação apresenta também a composição setorial para os 40 municípios atingidos, a Sub-bacia do Rio Doce e os estados de MG e ES (conjuntamente). Nota-se que enquanto o setor de serviços é predominante nos estados de MG e ES, o setor industrial possui a maior participação no PIB do município de Mariana. Ademais, como mencionado anteriormente, o PIB de todos os recortes apresentou queda após 2014. Assim, a figura mostra que essa queda foi acompanhada de uma redução relativamente maior no setor da indústria que contém a indústria extrativa mineral. Embora esse comportamento seja observado para todas as sub-regiões reportadas, o município de Mariana (MG) se destaca pela queda substancial em 2016 com recuperação parcial nos dois anos seguintes. Por outro lado, a queda de participação nas demais sub-regiões é relativamente menos acentuada embora ainda presente.

Figura 2 — Composição setorial do PIB de e Mariana (MG), dos 40 municípios atingidos, da Sub-bacia do Rio Doce e de MG e ES (%)



Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

3 METODOLOGIA DE ESTIMAÇÃO DO IMPACTO DO ROMPIMENTO

Nesta seção, apresenta-se brevemente a metodologia aplicada para a mensuração do impacto sobre a renda agregada do município de Mariana (MG). Utiliza-se a técnica econométrica de Controle Sintético proposta por (Abadie & Gardeazabal, 2003) e (Abadie, Diamond, & Hainmueller, 2010) que consiste em construir um município hipotético, semelhante à unidade atingida, formada por uma média ponderada (da variável de interesse) das regiões que, se conjectura, não foram afetadas. Esse procedimento tem como objetivo estimar os pesos a serem atribuídos a cada região de controle utilizando as informações do período anterior ao rompimento. O impacto na renda agregada será, portanto, a diferença entre o PIB do município atingido e o PIB do respectivo município hipotético no período pós-rompimento, entre 2015-2018. O detalhamento da estimação dos impactos via Controle Sintético e o levantamento da literatura sobre a avaliação econômica de desastres se encontram no Produto 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019f).

3.1 Controle Sintético e a construção dos contrafactuais

Constroem-se quatro estratégias de contrafactuais por meio do método de Controle Sintético descrito, detalhadamente, na seção 3 do Produto 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2019f). Cada cenário considera variáveis diferentes na caracterização e construção do estado hipotético. Estas variáveis são referidas como covariadas. Em todos os resultados apresentados ao longo deste documento, os números referentes aos Contrafactuais (2, 3, 4, 5) correspondem às seguintes especificações das covariadas:

- Contrafactual 2: passado do PIB *per capita* de 2002 a 2014;
- Contrafactual 3: média das demais covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2002 a 2003 e de 2011 a 2014;
- Contrafactual 4: média das demais covariadas e a média do PIB *per capita* de 2002 a 2014;
- Contrafactual 5: média das demais covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2011 a 2014.

A numeração (Contrafactual 2 a 5) foi mantida dos estudos anteriores para fins de comparabilidade (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021m). As demais

covariadas são relacionadas com a estrutura produtiva dos municípios, são elas: densidade populacional e composição do PIB (participação dos setores agropecuário, indústria e serviços).

Por meio dessa metodologia, calculam-se os pesos de cada unidade comparável (grupo de controle) para compor um município sintético que seja semelhante à unidade atingida, tanto na dinâmica da renda agregada quanto em relação às outras características capturadas pelas covariadas. Os pesos são escolhidos de forma a minimizar a diferença entre o município sintético e o atingido pelo rompimento no período anterior ao desastre, com base nas informações contidas nas covariadas. Desse modo, o ajuste da variável de interesse estimada (nesse caso, o PIB do município analisado) em relação ao observado indica a qualidade da estimação. Além disso, como os pesos são escolhidos utilizando a informação pré-rompimento, é possível criar um município hipotético (sintético) de Mariana (MG) o qual pode ser interpretado como uma estimativa do comportamento do município sob a hipótese de que o rompimento não tenha ocorrido. Esse município é construído com base nas informações de outros municípios brasileiros os quais, por hipótese, não foram afetados pelo rompimento.

3.2 Inferência estatística no contexto do Controle Sintético

A estratégia de inferência utilizada neste estudo, e em estudos anteriores da FGV relacionados com o tema, foi proposta por Abadie, Diamond, e Hainmueller (2010) e utilizada por duPont IV e Noy (2015)⁵. A técnica de inferência proposta pelos autores baseia-se em um teste de placebo na linha de testes de permutação, para conjecturar a significância dos resultados. Neste caso, supõe-se que todos os demais municípios do grupo de controle, separadamente, foram atingidos por um desastre similar (e hipotético) no mesmo ano de comparação. Para cada município estima-se um controle sintético incluindo todos os demais (inclusive a unidade atingida) e computa-se o “desastre placebo”. A partir daí, é possível identificar em qual posição ordenada está o impacto sobre a unidade atingida analisada. Desse modo, obtém-se o “p-valor” reportado nas tabelas como a probabilidade (ou frequência) de se obter um impacto de magnitude similar ou superior à unidade atingida entre as estimativas placebo.

Por sua vez, a magnitude do impacto “acumulado” é mensurada por meio da razão do RMSPE pós sobre o RMSPE pré-rompimento. Isso porque a razão de RMSPE mede a distância relativa entre os ajustes pré e pós-rompimento de uma determinada unidade analisada (atingida ou do grupo de controle). Já o impacto anual (e, conseqüentemente,

⁵ Ver Fundação Getulio Vargas (FGV) (2021m; 2021z).

o seu respectivo p-valor anual) é obtido pelo ordenamento do valor absoluto da variação estimada (ganho ou perda) do PIB municipal naquele ano.

Note que este “p-valor” difere daquele utilizado em inferência estatística usual. Aqui, essa probabilidade refere-se ao ordenamento da razão do RMSPE pós sobre o RMSPE pré-rompimento entre os placebos e não à probabilidade extrema mensurada a partir da distribuição da estatística de teste sob hipótese nula.

Mais ainda, a inferência baseada em teste de permutação seria idêntica à inferência de aleatorização clássica se a intervenção fosse aleatoriamente distribuída. O que não é o caso em questão. Uma interpretação desta técnica de inferência neste contexto é a de que este exercício fornece uma comparação entre a magnitude do impacto estimado para a unidade atingida e as magnitudes dos impactos estimados entre todos os desastres placebos possíveis. Assim, este exercício de inferência permite comparar se o valor do impacto estimado para unidade atingida é suficientemente alto em relação à distribuição do impacto placebo estimado para as unidades (municípios) não atingidas.

Em relação à análise de inferência no contexto do Controle Sintético, há duas abordagens — como descrito na Nota Técnica anterior (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV), 2021z). A primeira se baseia na construção e análise dos “p-valores”, com a devida ressalva de sua construção descrita anteriormente de que o p-valor difere daquele calculado em testes de hipóteses estatísticos padrão (sendo obtido a partir do ordenamento de alguma medida de magnitude do impacto, por exemplo, a razão do RMSPE).

A segunda abordagem parte da inspeção (gráfica ou percentual) da distância entre os valores observados e sintéticos relativos à unidade atingida quando comparados aos placebos (*i.e.*, supõe-se que as unidades do grupo de controle original foram atingidas, uma a uma, e estima-se a região sintética e, conseqüentemente, o impacto placebo para todas estas, como descrito no início desta seção). Ambas as abordagens serão apresentadas na seção de resultados.

4 RESULTADOS

4.1 Impactos do rompimento sobre o PIB do município de Mariana (MG)

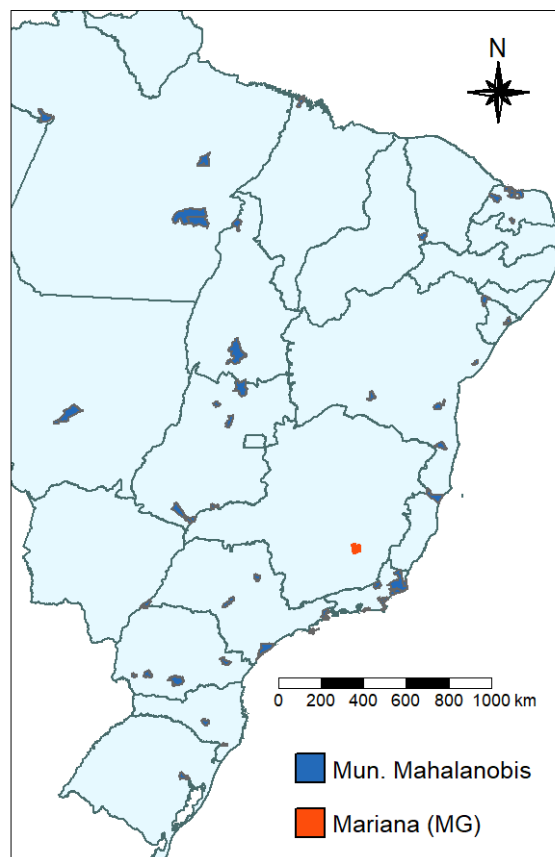
Esta seção apresenta o impacto na renda agregada no município de Mariana (MG), onde se localiza a Barragem de Fundão que se rompeu em novembro de 2015. Para analisar o impacto do rompimento sobre o PIB do município, adotou-se uma estratégia que considera os municípios que estão fora dos estados de MG e ES como potenciais controles para a unidade atingida considerada no Controle Sintético. Entretanto, a possibilidade de muitos municípios serem selecionados pelo Controle Sintético pode levar a estimação a incorrer em problemas de alta dimensionalidade (Abadie; L'Hour, 2021)⁶.

Assim, optou-se por realizar uma pré-seleção de municípios com características parecidas a partir das distâncias de Mahalanobis via características geográficas e demográficas para o ano de 2014, o ano imediatamente anterior ao rompimento da barragem. Foram consideradas as seguintes características: a participação dos setores da agropecuária, indústria e serviços no PIB dos municípios, a densidade populacional, a população, a proporção de residentes em área urbana e rural, e proporção da população ocupada em atividades industriais. A aplicação da distância de Mahalanobis tem o benefício de permitir a estimação do Controle Sintético num subconjunto dos municípios fora de MG e ES que guardam semelhanças econômicas e geográficas com a unidade atingida. Os detalhes desse procedimento se encontram no APÊNDICE E.

A Figura 3 apresenta a localização geográfica dos 55 municípios selecionados como potenciais controles pela minimização da distância de Mahalanobis e destaca o município de Mariana (MG) em laranja. Como mostra a figura, os municípios pré-selecionados encontram-se em todas as regiões do país, sem haver nenhuma concentração em particular. O APÊNDICE F descreve a análise de robustez do impacto estimado relativa ao número de municípios escolhidos.

⁶ Entre os problemas de alta dimensionalidade, podemos citar: a ausência de uma solução única para a construção do controle sintético e o sobreajuste ("overfitting") com a seleção de um número excessivo de municípios para a unidade sintética.

Figura 3 — Municípios selecionados pela distância de Mahalanobis como potenciais controles para o município de Mariana (MG)



Fonte: Elaboração própria (2021) a partir de dados do IBGE.

Nota: Conjunto de 55 municípios selecionados a partir da distância de Mahalanobis.

Uma vez pré-selecionado o grupo de municípios de controle, é possível proceder às estimativas do impacto do rompimento sobre o PIB do município de Mariana (MG), cujos resultados estão reportados na Tabela 2, para todos os quatro contrafactuais considerados. Em relação ao impacto acumulado no período de 2015 a 2018, as estimativas de perda de PIB estão entre um mínimo de R\$ 4,7 bilhões no Contrafactual 3 (26,2% do PIB contrafactual acumulado, isto é, o PIB do município sintético) e um impacto máximo R\$ 14,5 bilhões no Contrafactual 4 (equivalente a 52,4% do PIB contrafactual acumulado).

Os resultados do Contrafactual 2 apresentam o menor RMSPE no período pré-rompimento, sendo, portanto, os resultados de referência deste estudo. Em geral, os resultados sugerem um padrão de perda do PIB crescente, ao longo dos anos, para o município de Mariana (MG). Mais ainda, o ano de 2015 tende a apresentar um impacto estimado substancialmente menor. Esse resultado é esperado uma vez que o

rompimento ocorreu em novembro daquele ano. Assim, essa característica dos resultados indica uma consistência dos valores estimados pelo Controle Sintético.

Em particular, a perda anual estimada no resultado de referência é de R\$ 0,3 bilhão (7,6%), R\$ 1,1 bilhão (28,5%), R\$ 1,7 bilhão (33,9%) e R\$ 1,7 bilhão (36,1%) entre 2015 e 2018, respectivamente, em que esses valores em parênteses se referem ao percentual da perda em relação ao PIB contrafactual. Como será discutido mais à frente, essa perda crescente resulta da recuperação do PIB do município sintético a partir de 2016, o que não ocorre com o PIB de Mariana (MG).

Tabela 2 — Estimativas do Controle Sintético de impacto do rompimento sobre o PIB agregado de Mariana (MG) sob especificações alternativas (R\$ bilhões de 2020)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
2015	R\$ bilhões	-0,3	-0,2	-2,5	-0,6
	% do PIB ^{CF}	-7,6	-5,6	-37,4	-12,0
	P-valor bicaudal	0,69	0,75	0,27	0,55
	P-valor unicaudal	0,40	0,43	0,16	0,29
2016	R\$ bilhões	-1,1	-1,0	-2,0	-1,1
	% do PIB ^{CF}	-28,5	-27,9	-42,4	-29,7
	P-valor bicaudal	0,40	0,39	0,27	0,32
	P-valor unicaudal	0,13	0,16	0,09	0,13
2017	R\$ bilhões	-1,7	-1,6	-3,8	-1,8
	% do PIB ^{CF}	-33,9	-33,0	-53,1	-35,2
	P-valor bicaudal	0,25	0,27	0,16	0,29
	P-valor unicaudal	0,07	0,09	0,05	0,09
2018	R\$ bilhões	-1,7	-1,8	-6,3	-2,4
	% do PIB ^{CF}	-36,1	-36,8	-67,7	-44,6
	P-valor bicaudal	0,31	0,36	0,13	0,29
	P-valor unicaudal	0,13	0,20	0,05	0,13
Acumulado	R\$ bilhões	-4,8	-4,7	-14,5	-5,9
	% do PIB ^{CF}	-26,7	-26,2	-52,4	-31,0
	P-valor bicaudal	0,71	0,66	0,14	0,43
RMSPE	Pré	10,68	10,76	15,56	11,76
	Pós	21,80	21,53	65,63	26,87

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Nota: PIB^{CF} se refere ao PIB contrafactual, isto é, o PIB sintético obtido pela estimação do Controle Sintético. Para esse exercício retiraram-se os municípios de MG e ES uma vez que estes potencialmente foram atingidos. O P-valor é construído a partir dos 55 placebos, em cada simulação define-se um município como atingido e calcula-se o impacto. O P-valor acumulado, portanto, é o ranque da razão do RMSPE (pós sobre pré) entre todas as simulações enquanto o p-valor anual é obtido pelo ordenamento do valor absoluto do impacto estimado sobre o PIB municipal naquele ano. RSME pré e pós se referem ao ajuste do município sintético com relação ao observado.

A título de comparação, essa mesma metodologia foi utilizada em outros estudos sobre os impactos do rompimento da Barragem de Fundão, no tocante à produção extrativa mineral. Por exemplo, Castro e Almeida (2019) encontram impactos negativos para Espírito Santo (-25,01%) e em Minas Gerais (-15,58%) entre novembro de 2015 a novembro de 2016⁷. Especificamente sobre a produção industrial total, os autores encontram uma queda de 18,22% no estado do Espírito Santo, sem impacto significativo em Minas Gerais.

A Tabela 3, a seguir, apresenta os municípios selecionados pelo Controle Sintético e seus respectivos pesos na composição do município sintético para contrafactuais selecionados (os demais contrafactuais estão reportados no APÊNDICE C). No resultado de referência o município de Mariana (MG) sintético é composto por cinco municípios com pesos positivos, entre os quais os municípios de Parauapebas (PA) (68,2%), Iguape (SP) (16,6%) e Paraty (RJ) (9,0%) apresentam os maiores pesos. Em relação ao Contrafactual 3, há uma redução do número de municípios selecionados. Enquanto o município de Parauapebas (PA) se mantém com o maior peso (65,4%), o município de Paraty (RJ) passa a ter o segundo peso mais importante na composição do município sintético (32,2%) e, por último, o município de Ilha Comprida (SP) (2,4%).

Tabela 3 — Pesos estimados pelo Controle Sintético dos municípios que compõem o município de Mariana (MG) sintético (%) — contrafactuais selecionados

Municípios	Contrafactual 2	Contrafactual 3
Alto Horizonte (GO)	0,7	
Iguape (SP)	16,6	
Ilha Comprida (SP)	5,6	2,4
Paraty (RJ)	9,0	32,2
Parauapebas (PA)	68,2	65,4

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

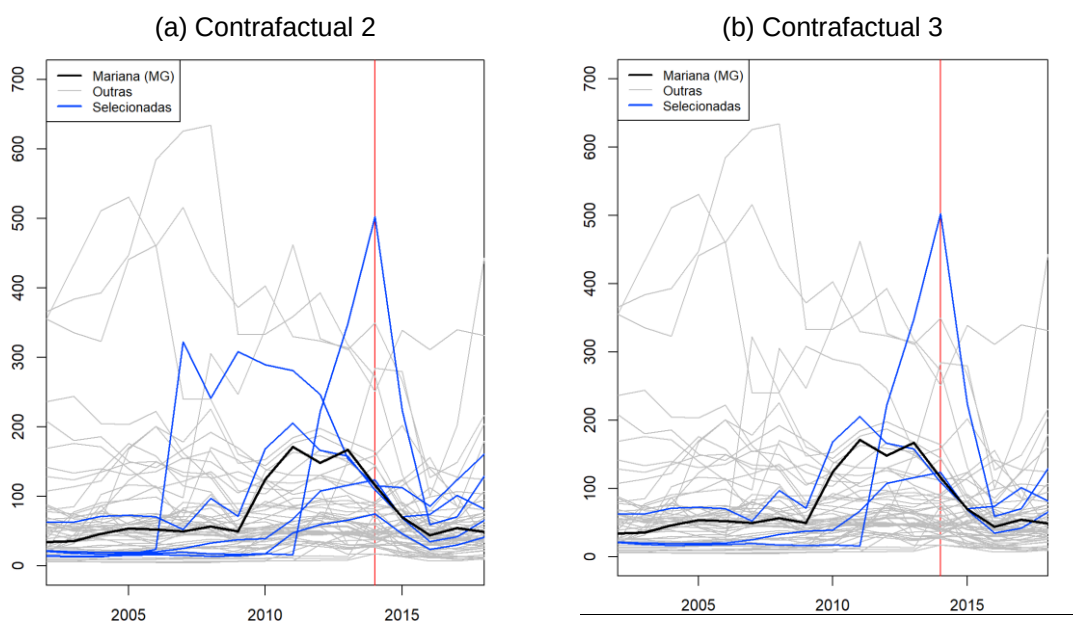
Nota: Demais municípios entre os 55 receberam peso igual a zero nessas composições.

Na sequência, o Gráfico 2 apresenta a trajetória de PIB *per capita* do conjunto dos municípios considerados na análise, destacando os municípios selecionados pelo Controle Sintético (linhas em azul) e o município de Mariana (MG) (linha preta), para contrafactuais selecionados. Os municípios selecionados pelo Controle Sintético possuem um nível de PIB *per capita* intermediário em relação aos demais municípios considerados, seguindo característica similar apresentada pelo município atingido. Além

⁷ Neste trabalho, a frequência dos dados é mensal.

disso, há alteração dos municípios selecionados entre os contrafactuais 2 e 3 apresentados e na sua composição, como mencionado anteriormente. Em particular, foram selecionados apenas três municípios no Contrafactual 3, e o município de Paraty (RJ) (32,2%) passa a ter participação relevante em contraste ao Contrafactual 2, como já apresentado na Tabela 3. O APÊNDICE D apresenta os gráficos dos demais contrafactuais.

Gráfico 2 — PIB *per capita* dos municípios selecionados pelo Controle Sintético e do município de Mariana (MG) (R\$ milhares de 2020)



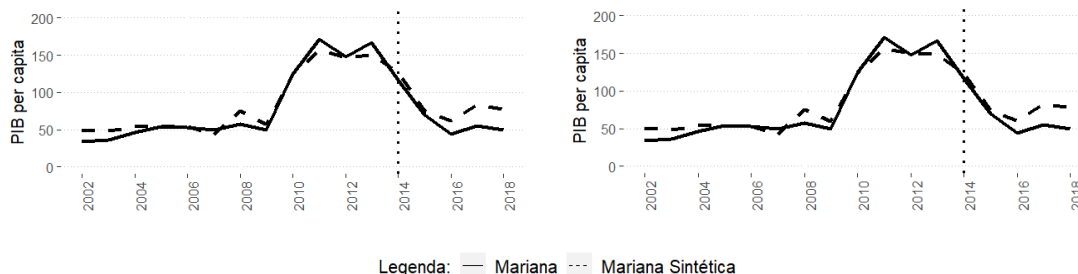
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados IBGE.

De forma complementar aos resultados apresentados no gráfico anterior, o Gráfico 3 mostra as séries do PIB *per capita* de Mariana (MG) e do município sintético no período pré e pós-rompimento (delimitados pelo ano de 2014 realçado nos painéis (a) e (b)). Observa-se que a trajetória contrafactual é próxima à trajetória de Mariana (MG) no período anterior ao rompimento, contudo, apresentando um descolamento após 2014 em ambos os contrafactuais. Em particular, no resultado de referência, é possível notar que a recuperação do município sintético em conjunto com a relativa estagnação do PIB *per capita* da unidade atingida após 2016 resulta no impacto anual crescente sobre o PIB municipal, apresentado anteriormente.

Gráfico 3 — PIB *per capita* do município de Mariana (MG) e do município sintético (R\$ milhares de 2020)

(a) Contrafactual 2 (RMSPE pré: 10,68)

(b) Contrafactual 3 (RMSPE pré: 10,76)



Fonte: Elaboração própria (2021) a partir de dados IBGE.

Nota: RMSPE pré e pós se referem ao ajuste do município sintético com relação ao observado.

Em relação à análise de inferência das estimativas de impacto, o p-valor anual bicaudal reportado na Tabela 2 — que mede o ordenamento da diferença entre o observado e o sintético, em valor absoluto, naquele ano — mostra que as estimativas anuais de impacto sobre o município de Mariana (MG), no resultado de referência, estão entre as maiores em comparação aos placebos para todo o período, exceto em 2015⁸. Esse resultado é esperado uma vez que o rompimento ocorreu em novembro daquele ano. Ademais, esse padrão também é observado nos demais contrafactuais, com exceção do Contrafactual 4 para o qual o impacto em 2015 também se encontra entre os maiores.

Vale ressaltar que o p-valor bicaudal compara o impacto negativo em Mariana (MG) com impactos tanto positivos quanto negativos resultantes das estimativas dos placebos (devido à comparação ser feita em valor absoluto). Uma vez que é esperado que o impacto do rompimento seja negativo sobre a renda do município, o p-valor bicaudal pode ser visto como uma avaliação conservadora da estimativa de impacto. Por essa razão, a tabela também apresenta o p-valor anual unicaudal que mede o ordenamento da diferença entre os valores do PIB observado e o sintético (não mais em valor absoluto). Nesse caso, os p-valores se reduzem substancialmente, o que implica que a probabilidade de se obter um efeito tão ou mais negativo entre as estimativas placebo que aquele encontrado para o município de Mariana (MG) é muito pequena, em particular, entre os anos 2016-2018.

⁸ Por exemplo, o p-valor bicaudal em 2016 no Contrafactual 2 é de 0,4, indicando que a probabilidade de obtermos um impacto estimado em valor absoluto maior ou igual àquele encontrado para Mariana (MG) é de 40%. Dito de outro modo, a maior parte das estimativas de impacto placebo é menor que aquela estimada para a unidade atingida.

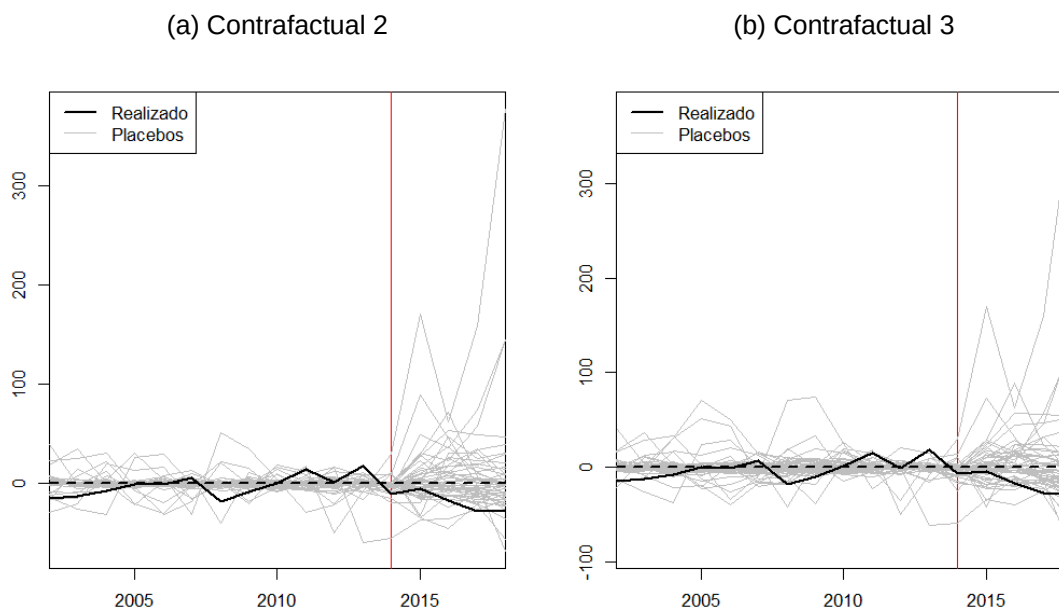
No caso do p-valor acumulado que mede o ordenamento da razão do RMSPE — ou seja, considera o ajuste pré-rompimento —, apenas os Contrafactuais 4 e 5 apresentam uma estimativa de impacto acumulado entre as maiores em comparação às estimativas placebo. Nesse caso, é possível calcular apenas o p-valor bicaudal e fazer a comparação do efeito negativo em Mariana (MG) com os impactos positivos e negativos das estimativas placebo. Isso se deve à definição do RMSPE que mede a raiz quadrada da média do quadrado dos desvios, portanto, não distinguindo o sinal dos impactos estimados.

Em termos da inspeção visual do ajuste, o Gráfico 4 mostra a diferença entre o PIB *per capita* observado e o sintético para o município de Mariana (MG) sob os Contrafactuais 2 e 3, no período pré e pós-rompimento. Em linha com literatura, foram excluídos os placebos com RMSPE-pré 5 vezes superior ao da unidade atingida, neste e no Gráfico 5 a seguir (Abadie, Diamond, & Hainmueller, 2010). Os gráficos para os demais contrafactuais se encontram reportados no APÊNDICE D.

Nota-se que em ambos os contrafactuais apresentados, a diferença entre o PIB *per capita* observado e o sintético é relativamente menor no período pré-rompimento em comparação com o período pós-rompimento. Além disso, o impacto anual mensurado no período 2016-2018 está entre as maiores magnitudes calculadas, quando se comparam aos diversos placebos — particularmente, entre os impactos negativos.

Mais ainda, como ressaltado na discussão anterior, o gráfico mostra diversas estimativas placebo com impacto positivo considerável, o que tende a elevar tanto o p-valor bicaudal anual quanto o acumulado.

Gráfico 4 — Diferença entre o PIB *per capita* observado e o sintético para o município de Mariana (MG) (realizado) e placebos



Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

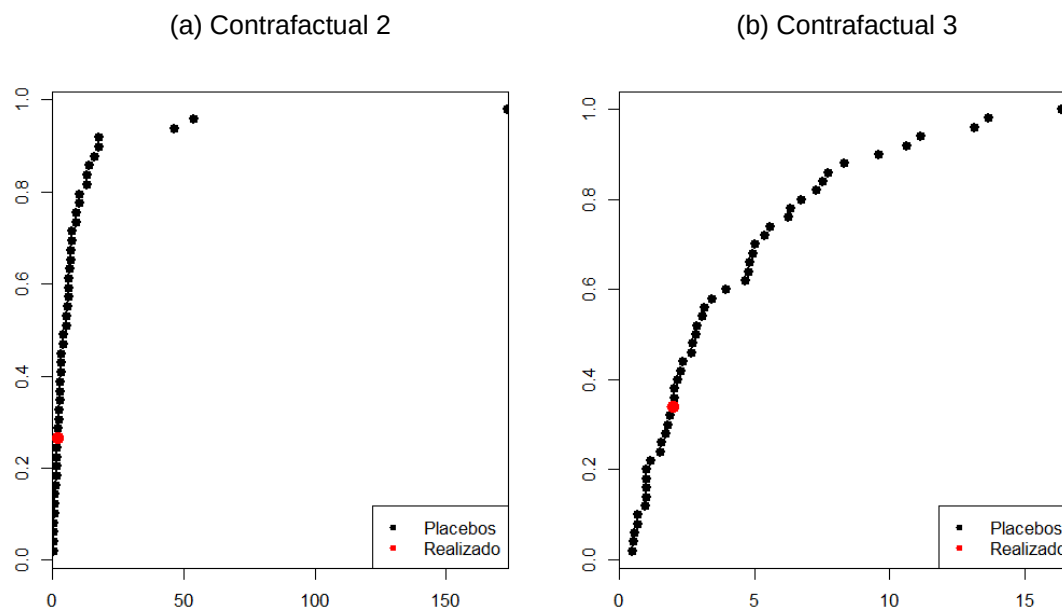
Nota: Gráficos excluem municípios com RMSPE pré-rompimento superior a 5 vezes o RMSPE pré de Mariana (MG).

Nessa mesma linha, o Gráfico 5 apresenta a distribuição da razão entre o RMSPE pós e pré da unidade atingida (ponto vermelho) e dos demais placebos para os Contrafactuais 2 e 3. Assim, o gráfico mostra no eixo y o valor referente a “1 – p-valor acumulado”⁹. Por sua vez, a razão avalia a magnitude do impacto acumulado no período de 2015 a 2018 relativa ao ajuste pré-rompimento. Em ambos os contrafactuais apresentados, a razão do RMSPE se encontra no início da distribuição de impactos relativamente aos placebos.

É importante frisar, no entanto, que parte dos placebos com maior razão do RMSPE apresentados no gráfico dizem respeito a valores positivos de impacto estimado destes (o que pode ser visto no Gráfico 4 anterior) — sinal oposto ao esperado para o efeito do rompimento. Mais ainda, os impactos anuais estimados se encontram entre os maiores na distribuição (como já ressaltado na discussão sobre o p-valor anual unicaudal anterior).

⁹ Nesse caso, a distribuição da razão do RMSPE apresentada guarda essa equivalência com o p-valor acumulado devido ao fato de não haver municípios com RMSPE-pré superior a 5 vezes o RMSPE pré de Mariana-MG. Já no cômputo do p-valor acumulado não são feitas exclusões.

Gráfico 5 — Distribuição acumulada da razão pré e pós-RMSPE para o município de Mariana (MG) (realizado) e placebos



Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Nota: Gráficos excluem municípios com RMSPE pré-rompimento superior a 5 vezes ao RMSPE pré de Mariana (MG). No painel (a) foi omitido o município de “Correia Pinto-SC”, com a maior razão de RMSPE, por questões de escala do gráfico.

Uma preocupação em relação às estimativas de impacto, é a possibilidade de que a atividade minerária tenha se realocado, entre os municípios, como resposta ao rompimento. Esse movimento poderia, em princípio, subestimar a magnitude do impacto por elevar a produção em municípios que compõem o grupo de controle. O APÊNDICE G apresenta o exercício de robustez que exclui os municípios com maior atividade minerária (medida por meio da arrecadação de tributos) no período pré-rompimento. Em geral, os resultados sugerem um impacto estimado (anual e acumulado) de magnitude superior ao resultado apresentado nesta seção, porém a estimativa está associada a uma piora relevante no ajuste pré-rompimento. Portanto, é difícil concluir, a partir dos resultados excluindo os municípios com atividade minerária, alguma indicação de subestimação em decorrência da realocação da produção.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo reuniu um conjunto de evidências do impacto do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG) ocorrido em novembro de 2015 sobre o PIB (ou renda agregada) desse município.

A fim de mensurar o impacto nos anos a partir do rompimento, lançou-se mão da técnica econométrica de Controle Sintético. A metodologia permite obter uma estimativa da trajetória do PIB municipal de Mariana (MG) na ausência do rompimento, a partir da seleção de um conjunto de municípios do “grupo de controle” que mantém características similares à unidade atingida no período pré-rompimento.

De modo a averiguar a sensibilidade das estimativas a especificações alternativas na implementação do Controle Sintético, foram utilizados diferentes conjuntos de características observáveis (e.g., valores passados do PIB e proporção setorial no PIB) nos diversos contrafactuais analisados.

Em geral, os resultados estimados do desastre sobre o PIB de Mariana (MG) sugerem uma perda real acumulada de 26,9% a 53,3% do PIB municipal contrafactual (isto é, o PIB do município sintético) no período de 2015 a 2018, entre os diferentes cenários utilizando diversos contrafactuais. O Contrafactual 2 é a estimativa de referência por apresentar o melhor ajuste no período pré-rompimento. Neste contrafactual se estima uma perda acumulada de R\$ 4,8 bilhões em valores de reais de 2020 para os anos de 2015 a 2018. O valor corresponde a 26,7% do PIB contrafactual. Além disso, as estimativas anuais sugerem um padrão de perda do PIB crescente para o município de Mariana (MG), ao longo dos anos. Em particular, o ano de 2015 tende a apresentar um impacto estimado substancialmente menor. Esse resultado é esperado uma vez que o rompimento ocorreu em novembro daquele ano. Mais ainda, essa característica dos resultados indica uma consistência dos valores estimados pelo Controle Sintético.

Outro ponto importante é que esse resultado está em linha com as estimativas para sub-regiões e municípios de MG e ES em estudo anterior, nas quais o impacto tende a ser mais intenso em localidades mais próximas geograficamente do rompimento ou com maior conexão econômica.

Em suma, este estudo amplia o escopo da análise anterior fornecendo uma estimação dos impactos potenciais sobre o município de Mariana (MG), epicentro do rompimento, e que não foram contemplados em estudos anteriores sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: a case study of the Basque Country. **American Economic Review**, p. 113-132, 2003.

_____; L'HOURL, J. A penalized synthetic control estimator for disaggregated data. **Journal of the American Statistical Association**, v. 116, n. 536, p. 1817–1834, 2021. Fonte: <https://doi.org/10.1080/01621459.2021.1971535>.

_____; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative studies: estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of American Statistical Association**, v. 105, n. 490, p. 493-505, 2010.

_____; _____. Comparative politics and the synthetic control method. **American Journal of Political Science**, v. 59, n. 2, p. 495-510, 2015.

BRASIL. Agência Nacional De Águas (ANA). **Sub-bacias hidrográficas DNAEE**. Brasília, DF: ANA, [s.d.]. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/10480692111f443bb5a38d9bb156851f_0>. Acesso em: 12 jun. 2020.

_____. MINISTÉRIO DOS DIREITOS HUMANOS BRASIL. **Relatório sobre o rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco e seus efeitos sobre o vale do Rio Doce**. Brasília, DF: Conselho Nacional dos Direitos Humanos, 2017.

_____. Tribunal Regional Federal da 1ª Região. Ação Civil Pública nº 006975861.2015.4.01.3400. **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC)**. Brasília, 2 mar. 2016. Disponível em: <www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/07/TTACFINAL.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.

CASTRO, L. S.; ALMEIDA, E. Desastres e desempenho econômico: avaliação do impacto do rompimento da barragem de Mariana. **Geosul**, p. 406-429, 2019. doi:<https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p406>

DUPONT IV, W., & NOY, I. **What happened to Kobe?** A reassessment of the impact of the 1995 earthquake in Japan. 2015. p. 777-812.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **Impactos sobre Assistência Social a partir de Dados Secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019B.

_____. **Impactos sobre Educação Básica a partir de Dados Secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019C.

_____. **Impactos sobre a Segurança Pública a partir de Dados Secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: fgv, 2019d.

_____. **Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019f. Fonte: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impacto-do-rompimento-da-barragem-de-fundao-sobre-a-renda-agregada-de-minas-gerais-e-espirito-santo.pdf>.

_____. **Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada nos Estados e Sub-Regiões de Minas Gerais e Espírito Santo**. São Paulo;

Rio de Janeiro: FGV, 2020i. Fonte: < www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impacto-do-rompimento-da-barragem-de-fundao-sobre-a-renda-agregada-nos-estados-e-sub-regioes-de-minas-gerais-e-espirito-santo.pdf/view>.

_____. **Extensão do Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada das Sub-Regiões de Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021m.

_____. **Rompimento da Barragem de Fundão: Estimativas da Perda Acumulada do PIB para os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo com Base nos Dados Observados até 2018**. São Paulo; Rio de Janeiro: FGV, 2021z.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL (FMI). (2021). **World economic outlook database**. Disponível em: <www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2021/October/download-entire-database>. Acesso em: jun. 2021.

JOSHUA ANGRIST, G. I. Identification and estimation of local average treatment effects. **National Bureau of Economic Research**. 1995.

MANLY, B. F.; ALBERTO, J. A. **Multivariate statistical methods**: a primer. CRC press, 2016.

APÊNDICE A — Lista dos municípios atingidos

Entre os 45 municípios atingidos, cinco deles foram intitulados como “Litoral Adjacente” por se localizarem na costa do litoral capixaba próximos a Linhares (ES) e estão presentes em estudos anteriores; são eles: Aracruz, Conceição da Barra, Fundão, São Mateus e Serra.

Adicionalmente, o Quadro 1 apresenta a lista completa dos municípios definidos como atingidos de acordo com o TTAC (e deliberações posteriores)¹⁰.

Quadro 1 — Municípios atingidos

Minas Gerais		Espírito Santo
Aimorés	Marlândia	Aracruz*
Alpercata	Naque	Baixo Guandu
Barra Longa	Periquito	Colatina
Belo Oriente	Pingo-D'Água	Conceição da Barra*
Bom Jesus do Galho	Ponte Nova	Fundão*
Bugre	Raul Soares	Linhares
Caratinga	Resplendor	Marilândia
Conselheiro Pena	Rio Casca	São Mateus*
Córrego Novo	Rio Doce	Serra*
Dionísio	Santa Cruz do Escalvado	
Fernandes Tourinho	Santana do Paraíso	
Galileia	São Domingos do Prata	
Governador Valadares	São José do Goiabal	
Iapu	São Pedro dos Ferros	
Ipaba	Sem-Peixe	
Ipatinga	Sobralia	
Itueta	Timóteo	
Mariana	Tumiritinga	

Fonte: Elaboração própria (2022).

Nota: Área de abrangência definida pelo TTAC e Deliberação nº 58 de 2017 do CIF/Ibama (Comitê Interfederativo). *Litoral Adjacente.

¹⁰ A lista de municípios atingidos considerada no presente documento é composta pelo conjunto de 45 municípios citados no TTAC (BRASIL, 2016) e na Deliberação nº 58 do CIF/Ibama (BRASIL, 2017), além de Ponte Nova, devido ao fato de a comunidade de Chopotó, localizada nesse município, ter sido atingida. Ressalta-se que essa lista de municípios atingidos não configura um posicionamento da FGV quanto à delimitação de áreas atingidas para qualquer finalidade.

APÊNDICE B — Resultados para o PIB *per capita* de Mariana (MG)

Este apêndice complementa a análise da Seção 4, reportando os resultados das estimações de impacto via Controle Sintético para a série de PIB *per capita* de Mariana (MG), sob os Contrafactuais 2 a 5. Os p-valores unicaudais para estas estimativas são os mesmos reportados na Seção 4.1.

A Tabela 1 mostra as estimativas de impacto anuais em milhares de reais de 2020, a respectiva proporção em relação ao PIB contrafactual (*i.e.*, o PIB do município sintético), o p-valor anual à *la Fisher* (ordena o valor absoluto dos impactos) e o acumulado (ordena a razão do RMSPE pós e pré-rompimento). O impacto acumulado no período pós-rompimento está entre o mínimo de R\$ 76,7 mil (26,1% do PIB contrafactual) no Contrafactual 3 e o máximo de R\$ 238,9 mil (52,3% do PIB contrafactual) no Contrafactual 4. Adicionalmente, as estimativas anuais tendem a ser crescentes ao longo dos anos.

Tabela 1— Estimativas do Controle Sintético de impacto do rompimento sobre o PIB *per capita* de Mariana (MG) sob especificações alternativas (R\$ mil de 2020)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
2015	R\$ mil	-5,7	-4,1	-41,6	-9,5
	% do PIB ^{CF}	-7,6	-5,6	-37,4	-12,0
	P-valor bicaudal	0,69	0,75	0,27	0,55
2016	R\$ mil	-17,5	-17,0	-32,4	-18,6
	% do PIB ^{CF}	-28,5	-27,9	-42,4	-29,7
	P-valor bicaudal	0,40	0,39	0,27	0,32
2017	R\$ mil	-28,1	-26,9	-61,9	-29,7
	% do PIB ^{CF}	-33,9	-33,0	-53,1	-35,2
	P-valor bicaudal	0,25	0,27	0,16	0,29
2018	R\$ mil	-27,8	-28,6	-103,1	-39,7
	% do PIB ^{CF}	-36,1	-36,8	-67,7	-44,6
	P-valor bicaudal	0,31	0,36	0,13	0,29
Acumulado	R\$ mil	-79,1	-76,7	-238,9	-97,4
	% do PIB ^{CF}	-26,7	-26,1	-52,3	-30,9
	P-valor bicaudal	0,71	0,66	0,14	0,43
RMSPE	Pré	10,68	10,76	15,56	11,76
	Pós	21,80	21,53	65,63	26,87

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Nota: PIB^{CF} se refere ao PIB contrafactual, isto é, o PIB do município sintético obtido pela estimação do Controle Sintético. O p-valor é construído a partir dos 55 placebos, em cada simulação define-se um município como atingido e calcula-se o impacto. O p-valor acumulado, portanto, é o ranque da razão do RMSPE (pós sobre pré) entre todas as simulações. RMSPE pré e pós se referem ao ajuste da região sintética com relação à observada.

APÊNDICE C — Pesos estimados para os demais contrafactuais

Este apêndice complementa a análise da Seção 4, reportando os municípios do grupo de controle selecionados por meio das estimações do Controle Sintético (e seus respectivos pesos) para compor o município sintético sob os Contrafactuais 4 e 5, não apresentados.

Tabela 1 — Pesos estimados pelo Controle Sintético dos municípios que compõem o município de Mariana (MG) sintético (%) — Contrafactuais 4 e 5

Municípios	Contrafactual 4	Contrafactual 5
Areia Branca (RN)	4,9	
Cabo Frio (RJ)	2,7	
Iguape (SP)		1,8
Ilhabela (SP)	20,4	0,2
Maricá (RJ)		5,9
Paraty (RJ)		28,4
Parauapebas (PA)	72,0	59,4
São João da Barra (RJ)		4,3

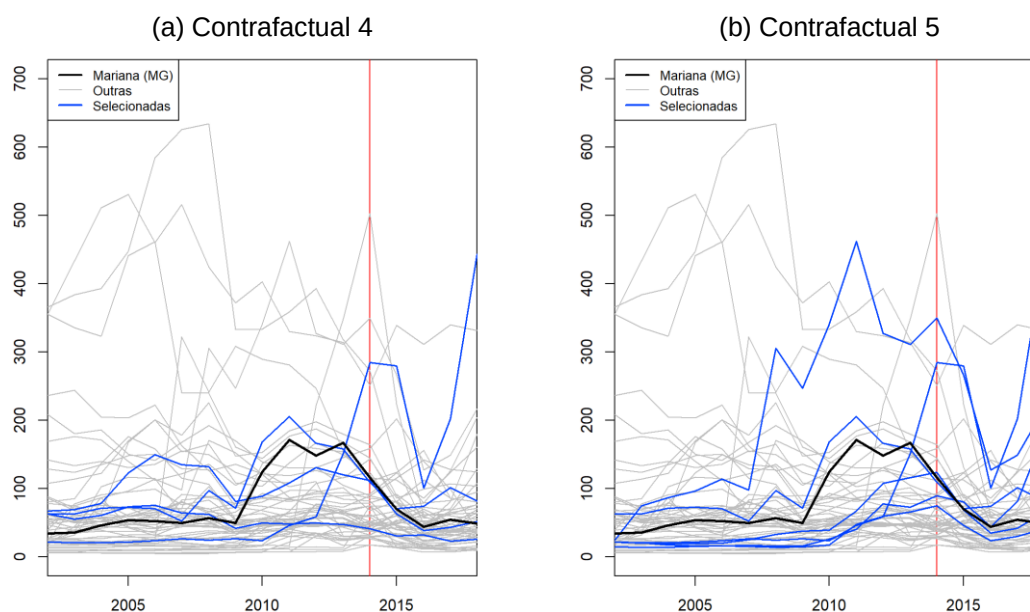
Fonte: Elaboração própria (2021) a partir de dados do IBGE.

Nota: Demais municípios dentre os 55 receberam peso igual a zero nessas composições.

APÊNDICE D — Teste de permutação e distribuição acumulada da razão do RMSPE para os demais contrafactuais

Este apêndice complementa a análise da Seção 4, reportando o teste de permutação e distribuição acumulada da razão do RMSPE para os Contrafactuais 4 e 5 estimados por meio do Controle Sintético, não apresentados.

Gráfico 1 — PIB *per capita* dos municípios selecionados pelo Controle Sintético e do município de Mariana (MG) (R\$ milhares de 2020)

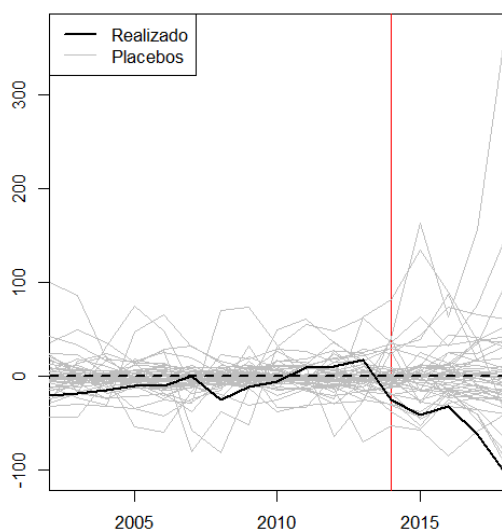


Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados IBGE.

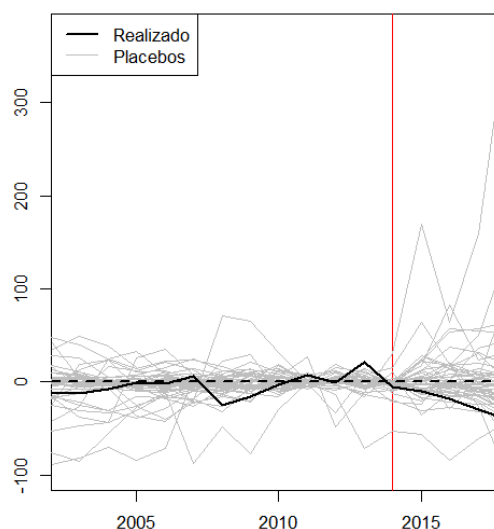
Em linha com a literatura (e a Seção 4), foram excluídos os placebos com RMSPE-pré 5 vezes superior ao da unidade atingida, nos Gráficos 2 e 3 a seguir (Abadie, Diamond, & Hainmueller, 2010).

Gráfico 2 — Diferença entre o PIB *per capita* observado e o sintético para o município de Mariana (MG) (realizado) e placebos

(a) Contrafactual 4



(b) Contrafactual 5

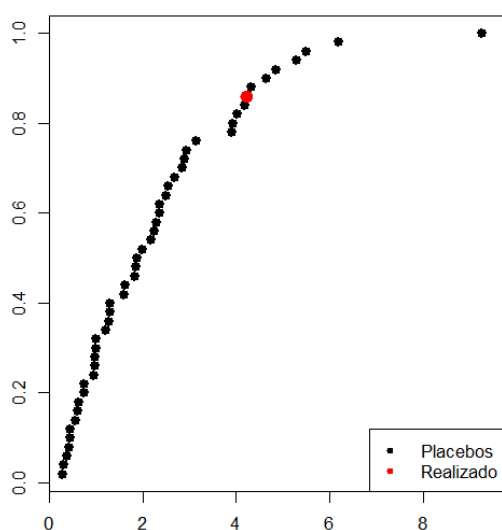


Fonte: Elaboração própria (2021) a partir de dados do IBGE.

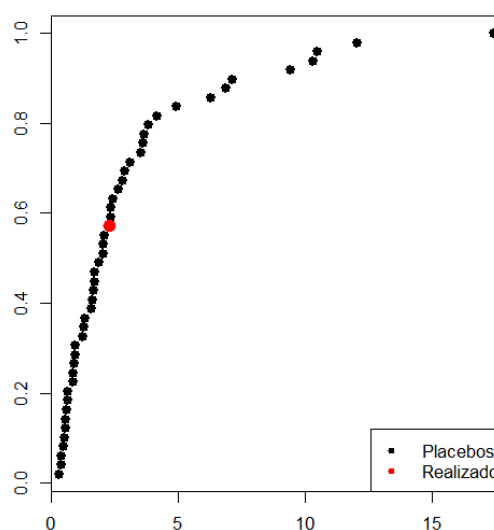
Nota: Gráficos excluem municípios com RMSPE pré-rompimento superior a 5 vezes o RMSPE pré de Mariana (MG).

Gráfico 3 — Distribuição acumulada da razão pré e pós-RMSPE para o município de Mariana (MG) (realizado) e placebos

(a) Contrafactual 4



(b) Contrafactual 5



Fonte: Elaboração própria (2021) a partir de dados do IBGE.

Nota: Gráficos excluem municípios com RMSPE pré-rompimento superior a 5 vezes ao RMSPE pré de Mariana (MG).

APÊNDICE E — Pré-seleção dos municípios de Mariana (MG) a partir da distância de Mahalanobis

A distância de Mahalanobis é comumente utilizada para medir uma distância de uma observação multivariada a partir de um centro populacional de interesse. Seguindo a nomenclatura proposta por Manly e Alberto (2016), se $x_1, x_2, \dots, x_p$ são valores para as variáveis dos municípios $X_1, X_2, \dots, X_p$ com uma população centrada em $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$ e com uma matriz de covariância v^{rs} , então a distância de Mahalanobis D é definida como:

$$D^2 = \left\{ \sum_{r=1}^p \sum_{s=1}^p (x_r - \mu_r) \cdot v^{rs} \cdot (x_s - \mu_s) \right\}$$

Para o presente exercício, utilizou-se como população centrada a unidade tratada de interesse em 2014. A saber, definiu-se como as covariadas $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$ as variáveis municipais referentes à unidade tratada de Mariana (MG). Para as covariadas $x_1, x_2, \dots, x_p$, utilizaram-se os valores de 2014 para as seguintes variáveis:

- a proporção do valor adicionado ao PIB do setor agropecuário com relação ao PIB do município;
- a proporção do valor adicionado ao PIB do setor industrial com relação ao PIB do município;
- a proporção do valor adicionado ao PIB do setor de serviços com relação ao PIB do município;
- o logaritmo neperiano da densidade populacional;
- o logaritmo neperiano da população;
- a proporção da população residente em áreas urbanas e rurais;
- a proporção da população ocupada na produção de bens e serviços industriais.

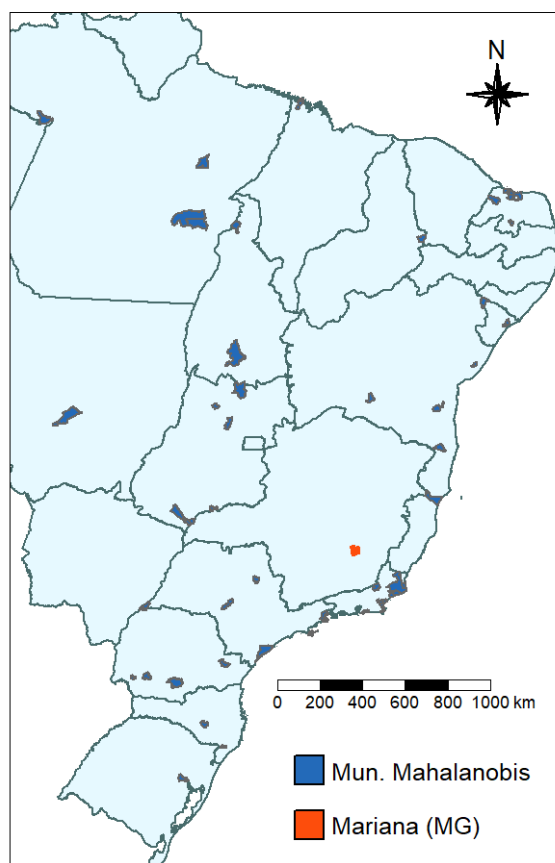
É importante ressaltar que a utilização da função logarítmica da densidade populacional e da população tem como intuito reduzir a escala, assim como a variabilidade dessas variáveis, o que torna a mensuração da distância de Mahalanobis com pesos mais homogêneos entre as covariadas utilizadas.

A distância foi calculada para todos os municípios fora de Minas Gerais e Espírito Santo e selecionaram-se aqueles que estavam até o 1,2 percentil da distribuição, ranqueada em ordem decrescente, sendo os mais próximos os primeiros. Esta seleção corresponde a 55 municípios mais próximos, selecionados como potenciais controles. Outra ressalva

importante é que a unidade tratada foi incluída na matriz de covariância para se calcular a distância de Mahalanobis.

A Figura 1 apresenta o conjunto de municípios selecionados para o caso do município de Mariana (MG). A partir desses municípios, estimaram-se os respectivos controles sintéticos (unidade atingida e estimativas placebo). Os municípios em azul-escuro são os escolhidos pelo critério da distância de Mahalanobis com base nas características geográficas e demográficas, enquanto o município de Mariana (MG), foco da análise está destacado em laranja.

Figura 1 — Potenciais controles para o litoral e para Mariana (MG)



Fonte: Elaboração própria (2022), a partir de dados do IBGE.

APÊNDICE F — Análise de sensibilidade Mahalanobis

Este apêndice tem como intuito avaliar o quão sensíveis são os resultados de Mariana (MG) à escolha do número de potenciais controles pré-selecionados a partir da distância de Mahalanobis. Como se pode observar, os valores são relativamente estáveis em relação à pré-seleção utilizada.

Tabela 1 — Análise de sensibilidade de Mariana (MG)

Ano	Estatística	Contrafactual 2				
		37 mun.	46 mun.	55 mun.	64 mun.	74 mun.
2015	R\$ bilhões	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5
	% do PIB	-9,2	-7,0	-7,6	-7,6	-11,1
2016	R\$ bilhões	-1,0	-1,1	-1,1	-1,1	-1,6
	% do PIB	-28,1	-28,4	-28,5	-28,5	-37,4
2017	R\$ bilhões	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-2,3
	% do PIB	-33,6	-33,8	-33,9	-33,9	-41,3
2018	R\$ bilhões	-2,1	-1,7	-1,7	-1,7	-2,4
	% do PIB	-41,6	-36,2	-36,1	-36,1	-44,1
Acumulado	R\$ bilhões	-5,3	-4,8	-4,8	-4,8	-6,8
	% do PIB	-28,7	-26,6	-26,7	-26,7	-34,1
RSME	Pré	11,2	10,7	10,7	10,7	9,4
	Pós	24,2	21,7	21,8	21,8	30,6
Peso dos municípios selecionados						
Alto Horizonte (GO)				0,7	0,7	2
Canaã dos Carajás (PA)		1,8				
Cananéia (SP)						13,1
Iguape (SP)			10,2	16,6	16,4	
Ilha Comprida (SP)			4,6	5,6	5,5	6,5
Ilhabela (SP)		1				
Itagibá (BA)			0,1			0,4
Paraty (RJ)		36,1	17,2	9	9,2	
Parauapebas (PA)		59,3	68	68,2	68,2	64
Santo Antônio dos Lopes (MA)						13,8
São João da Barra (RJ)		1,9				0,3

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

APÊNDICE G — Análise de robustez excluindo municípios com atividade minerária

Este apêndice tem como intuito avaliar a robustez dos resultados do impacto sobre o município de Mariana (MG) à possível realocação da atividade mineradora como resposta ao rompimento.

Uma preocupação importante na estimação do impacto é o fato de que, como resposta ao rompimento, pode haver a possibilidade de realocação da produção extrativa de minério de ferro entre os municípios produtores. Nesse caso, haveria um aumento na produção nos municípios que compõem o potencial grupo de controle, consequentemente, levando a uma subestimação do real impacto do rompimento.

Na ausência de dados disponíveis sobre a extração de minério de ferro em nível municipal, utilizaram-se os dados de arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM) que é o tributo pago pelas empresas exploradoras aos municípios que possuem exploração mineral, para obter uma *proxy* da atividade de extração do minério de ferro¹¹. Foram excluídos do grupo de controle, portanto, os 21 municípios que em 2014 eram responsáveis por 99% da arrecadação de CFEM. Em seguida, foi calculada a distância de Mahalanobis para compor o grupo de controle utilizado na estimativa de impacto em Mariana (MG) (ou seja, mantêm-se os 55 municípios no grupo de controle, porém, excluindo os municípios com atividade minerária).

A Tabela 1, a seguir, mostra os municípios “maiores arrecadadores” e sua respectiva participação percentual na arrecadação de CFEM relativa à extração de minério de ferro em 2014. Como mostra a tabela, o município de Parauapebas (PA) tem a maior participação relativa (33,3%) da arrecadação de CFEM daquele ano. Em conjunto com os municípios de Nova Lima (MG) e Mariana (MG), os três municípios maiores arrecadadores respondem por 53% da arrecadação naquele ano.

Em relação à exclusão dos municípios constantes nesta tabela, é importante destacar dois pontos: primeiro, a maior parte dos municípios com arrecadação significativa no ano anterior ao desastre se localiza em MG e, portanto, não fazem parte do grupo de controle — uma vez que a estratégia de identificação exclui municípios nos estados de MG e ES que potencialmente sofreram com a propagação (*spillover*) dos impactos do rompimento. Em segundo lugar, entre os quatro municípios com atividade minerária que

¹¹ Os dados foram obtidos do sítio da internet da Agência Nacional de Mineração: https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/relatorios/cfem/maiores_arrecadadores.aspx <Acesso em: 16/05/2022 às 11:47>

se localizam fora de MG e ES — quais sejam, Corumbá (MS), Ladário (MS), Pedra Branca do Amapari (AP) e Parauapebas (PA) —, apenas o município de Parauapebas (PA) possui peso positivo (em torno de 66%) na estimação do Controle Sintético, como destacado na Seção 4.

Tabela 1 — Municípios maiores arrecadadores de CFEM relativa à extração de Minério de Ferro em 2014

Maiores Arrecadadores	Participação na Arrecadação (%)
Parauapebas (PA)	33,31%
Nova Lima (MG)	9,86%
Mariana (MG)	9,81%
Itabira (MG)	8,08%
Congonhas (MG)	6,85%
São Gonçalo do Rio Abaixo (MG)	6,52%
Itabirito (MG)	6,18%
Brumadinho (MG)	4,62%
Ouro Preto (MG)	4,38%
Itatiaiuçu (MG)	1,93%
Corumbá (MS)	1,21%
Catas Altas (MG)	1,08%
Sarzedo (MG)	0,89%
Ladário (MS)	0,90%
Santa Bárbara (MG)	0,75%
Barão de Cocais (MG)	0,68%
Belo Vale (MG)	0,61%
Pedra Branca do Amapari (AP)	0,31%
Rio Piracicaba (MG)	0,43%
Bela Vista de Minas (MG)	0,39%
Igarapé (MG)	0,20%
Total	98,99%

Fonte: Elaboração própria (2022), a partir de dados da Agência Nacional de Mineração (ANM).

A Tabela 2, a seguir, mostra os resultados das estimações do impacto sobre o PIB municipal de Mariana, em bilhões de reais de 2020, para os diversos contrafactuais analisados, excluindo os municípios com atividade minerária. Como se pode observar, as estimativas de perda de PIB estão entre um mínimo de R\$ 3,3 bilhões no Contrafactual 4 (20,3% do PIB contrafactual acumulado, isto é, o PIB do município sintético) e um impacto máximo R\$ 15,2 bilhões no Contrafactual 5 (equivalente a 53,6% do PIB contrafactual acumulado).

Embora a exclusão dos municípios com atividade mineradora amplie a magnitude dos impactos (tanto anuais quanto acumulados), esta vem acompanhada de uma piora do ajuste pré-rompimento em relação ao resultado principal (Seção 4). A exceção é o Contrafactual 4 que apresenta redução importante do impacto, porém o seu RMSPE-pré aumenta cerca de 3 vezes em relação ao resultado principal, além de ser superior ao RMSPE-pós. Portanto, é difícil concluir, a partir dos resultados excluindo os municípios com atividade minerária, alguma indicação de subestimação em decorrência da realocação da produção. Em contraste, os resultados sugerem que a maior magnitude estimada está associada a uma piora no ajuste pré-rompimento.

Tabela 2 — Estimativas do Controle Sintético de impacto do rompimento sobre o PIB agregado de Mariana (MG) (R\$ bilhões de 2020) — exclui municípios com atividade minerária

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
2015	R\$ bilhões	-2,2	-2,5	-0,6	-3,1
	% do PIB ^{CF}	-34,8	-37,4	-13,4	-42,2
	P-valor	0,18	0,18	0,55	0,16
2016	R\$ bilhões	-0,9	-1,1	0,0	-1,6
	% do PIB ^{CF}	-24,9	-29,8	0,4	-38,3
	P-valor	0,42	0,36	1,00	0,27
2017	R\$ bilhões	-1,5	-1,9	0,0	-3,2
	% do PIB ^{CF}	-30,8	-36,7	0,6	-48,8
	P-valor	0,27	0,25	1,00	0,16
2018	R\$ bilhões	-4,5	-5,4	-2,7	-7,4
	% do PIB ^{CF}	-59,8	-64,0	-47,5	-70,9
	P-valor	0,15	0,16	0,29	0,14
Acumulado	R\$ bilhões	-9,1	-10,9	-3,3	-15,2
	% do PIB ^{CF}	-40,8	-45,3	-20,3	-53,6
	P-valor	0,67	0,55	0,88	0,27
RMSPE	Pré	16,34	17,96	47,36	23,36
	Pós	43,53	51,85	22,92	71,55

Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Nota: PIB^{CF} se refere ao PIB contrafactual, isto é, o PIB sintético obtido pela estimação do Controle Sintético. Para esse exercício retiraram-se os municípios de MG e ES uma vez que potencialmente foram atingidos. O P-valor é construído a partir dos 55 placebos, em cada simulação define-se um município como atingido e calcula-se o impacto. O P-valor acumulado, portanto, é o ranque entre todas as simulações. RSME pré e pós se referem ao ajuste do município sintético com relação ao observado.