

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

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



DEZEMBRO DE 2020

Dados internacionais de Catalogação na Publicação
Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/FGV

Fundação Getulio Vargas

Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada nos Estados e Sub-Regiões de Minas Gerais e Espírito Santo / Fundação Getulio Vargas – Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020.

82 p.

Em colaboração com: André Portela Fernandes de Souza, Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón, Lucas Gerez Foratto, Reynaldo Fernandes, Ronan Cunha, Vitor Augusto Possebom.

Acima do título: Projeto Rio Doce.

Inclui bibliografia.

1. Projeto Rio Doce. 2. Fundão, Barragem de (MG). 3. Barragens e açudes – Aspectos ambientais. 4. Desastres ambientais – Doce, Rio, Bacia (MG e ES). 5. Renda. I. Título.

CDD – 627.8

EQUIPE TÉCNICA

André Portela Fernandes de Souza

Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón

Lucas Gerez Foratto

Reynaldo Fernandes

Ronan Cunha

Vitor Augusto Possebom

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Resumo do impacto do rompimento da Barragem de Fundão	13
Figura 2 — Comparação entre o PIB observado e ajustado.....	20
Figura 3 — Comparação entre o PIB <i>per capita</i> observado e ajustado	20
Figura 4 — Sub-bacias hidrográficas do Brasil.....	21
Figura 5 — Os municípios da sub-bacia do Rio Doce	23
Figura 6 — Regiões atingidas avaliadas neste estudo	24
Figura 7 — PIB real das regiões (R\$ bilhões de 2016).....	26
Figura 8 — Participação dos setores nas economias das regiões.....	27
Figura 9 — PIB <i>per capita</i> dos estados de MG e ES e do estado sintético	32
Figura 10 — Estados escolhidos nos controles sintéticos	33
Figura 11 — PIB <i>per capita</i> dos estados selecionados nos controles sintéticos.....	34
Figura 12 — MG e ES: placebos.....	35
Figura 13 — Distribuição acumulada da razão pré e pós-RMSE.....	36
Figura 14 — Parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento.....	37
Figura 15 — Parcela da variação (%) do PIB 2014-2017 devido ao rompimento	37
Figura 16 — Sub-bacia do Rio Doce e sub-bacias escolhidas nos controles sintéticos	41
Figura 17 — PIB das sub-bacias selecionadas em cada controle sintético	42
Figura 18 — PIB <i>per capita</i> da sub-bacia do Rio Doce e do estado sintético	43
Figura 19 — Sub-bacias: placebos	44
Figura 20 — Sub-bacia: distribuição acumulada da razão pré e pós-RMSE	45
Figura 21 — Sub-bacia: parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento....	46
Figura 22 — Pesos utilizados nos contrafactuais do litoral.....	47
Figura 23 — Litoral: PIB <i>per capita</i> dos municípios em cada controle sintético	51
Figura 24 — PIB <i>per capita</i> do litoral atingido e do estado sintético	52
Figura 25 — Litoral: placebos	53
Figura 26 — Litoral: distribuição acumulada da razão pré/pós-RMSE.....	54
Figura 27 — Litoral: parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento ..	55
Figura 28 — Pesos utilizados nos contrafactuais de Anchieta	56
Figura 29 — Anchieta: PIB <i>per capita</i> dos municípios selecionados nos controles sintéticos.....	59
Figura 30 — PIB <i>per capita</i> de Anchieta e do estado sintético	60
Figura 31 — Anchieta: Placebos	61
Figura 32 — Anchieta: distribuição acumulada da razão pré/pós-RMSE.....	62
Figura 33 — Anchieta: parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Resultados consolidados dos controles sintéticos por regiões a preços de 2016	14
Tabela 2 — Atualização dos PIBs de Minas Gerais e Espírito Santo para o ano de 2016	17
Tabela 3 — Variação do PIB brasileiro na ausência dos estados de MG e ES.....	19
Tabela 4 — Estatísticas descritivas das sub-regiões (R\$ bilhões de 2016)	25
Tabela 5 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES (R\$ bilhões de 2016)	30
Tabela 6 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita de MG e ES (R\$ milhares de 2016).....	30
Tabela 7 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB da sub-bacia do Rio Doce (R\$ bilhões de 2016).....	38
Tabela 8 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita da sub-bacia do Rio Doce (R\$ milhares de 2016)	39
Tabela 9 — Resultados dos pesos estimados em cada cenário contrafactual.....	40
Tabela 10 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB dos municípios do litoral (R\$ bilhões de 2016)	49
Tabela 11 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita nos municípios do litoral (R\$ milhares de 2016)	49
Tabela 12 — Resultados dos pesos estimados em cada cenário contrafactual.....	50
Tabela 13 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB no município de Anchieta (ES) (R\$ bilhões de 2016).....	57
Tabela 14 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita no município de Anchieta (ES) (R\$ milhares de 2016)	57
Tabela 15 — Resultados dos pesos estimados em cada cenário contrafactual.....	58
Tabela 16 — Resultados consolidados por regiões a preços de 2016.....	65

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	7
1 INTRODUÇÃO	11
2 METODOLOGIA	15
2.1 Atualização das informações para o PIB	15
2.2 Construção dos contrafactuais.....	17
3 AS REGIÕES ATINGIDAS	21
4 RESULTADOS	28
4.1 Resultados para Minas Gerais e Espírito Santo.....	28
4.2 Resultados para a sub-bacia do Rio Doce.....	37
4.3 Resultados para o litoral	46
4.4 Resultados para Anchieta (ES).....	55
4.5 Discussão dos resultados	63
5 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A.....	71
APÊNDICE B.....	75
APÊNDICE C.....	77
APÊNDICE D.....	80
APÊNDICE E.....	82

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este estudo tem o objetivo de atualizar e complementar o Relatório 4 apresentado do EDT2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a) intitulado “Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo”. Para tanto, utilizam-se as informações atualizadas do IBGE para produto interno bruto (PIB) disponibilizadas até o ano de 2017. Além disso, expande-se a análise sobre os impactos da renda agregada para outras sub-regiões desses estados, especificamente a sub-bacia do Rio Doce, os municípios do litoral do Espírito Santo e o município de Anchieta (ES), este último incluído na análise em face a importância do local no processo de pelotização e escoamento do minério via porto de Ubu.

Como se mostrou no Relatório 4 apresentado do EDT2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a), a ocorrência de desastres, tecnológicos ou naturais, implica perdas na produção dos bens, na economia e na renda agregada da região. Entre os fatores, destacam-se a interrupção das atividades produtivas, a perda de ativos (o que reduz a produção), efeitos macroeconômicos gerais, que, no entanto, podem ser amenizadas a partir dos esforços e reconstrução que podem estimular as atividades econômicas locais. Ademais, mudanças nas percepções de riscos podem afetar os planos futuros de investimentos e alocações de recursos. Esses fatores podem variar por regiões e, portanto, é razoável esperar efeitos heterogêneos entre as regiões.

A metodologia utilizada é a mesma que foi aplicada no Relatório 4 do EDT2. Elabora-se uma avaliação de impacto cuja abordagem se baseia na comparação entre duas situações: uma situação do PIB com o desastre e outra situação contrafactual do PIB sem o desastre. Obtém-se a situação contrafactual a partir da construção de uma região hipotética cuja trajetória do PIB pré-desastre é semelhante à trajetória do PIB da região atingida. Define-se como impacto na renda agregada a diferença entre o valor do PIB da região hipotética e o valor realizado do PIB da região atingida. Para a construção da região hipotética ou região sintética, utiliza-se o método de controle sintético de Abadie e Gardeazabal (2003), Abadie Diamond e Hainmueller (2010, 2015).

É importante ressaltar que o impacto calculado com base no produto interno bruto tem como objetivo mensurar as perdas nos fluxos de produção e renda em uma economia. Esse indicador mede o total de bens e serviços finais produzidos por pessoas, empresas e instituições residentes em uma localidade. É uma medida de geração de riqueza que também corresponde ao nível de renda agregada da economia que, por sua vez, está intimamente relacionada ao nível de consumo das famílias, este último considerado um importante determinante de bem-estar social. Variações no PIB podem ser interpretadas

como mudanças no estado geral da economia e variações do PIB *per capita* (PIB dividido pela população) medem a variação na renda média dos indivíduos. Nessa abordagem, é possível capturar os impactos de forma que se consiga captar agregadamente a propagação do efeito entre os setores, municípios e pessoas que inicialmente podem não ter sido atingidos, mas que sentiram as consequências do desastre, por ter perturbado toda a cadeia produtiva.

A Tabela abaixo sintetiza os resultados para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, para a sub-bacia do Rio Doce, para os municípios do litoral e para o município de Anchieta-ES, respectivamente. No resultado acumulado dos três anos contemplados neste estudo, o impacto total para Minas Gerais e Espírito Santo foi de R\$ 136,28 bilhões a preços de 2016. O impacto acumulado na sub-bacia do Rio Doce é estimado em R\$ 20,97 bilhões. O impacto acumulado nos cinco municípios do litoral do Espírito Santo é estimado em R\$ 10,44 bilhões e o impacto em Anchieta e de R\$ 4,95 bilhões. Esse resultado também chama atenção para a possível propagação do impacto às demais localidades dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo; afinal 73,39% do impacto total dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo se encontram nas regiões fora das três regiões analisadas, o que corresponde a R\$ 100,01 bilhões.

Tabela 1 — Resultados dos controles sintéticos por regiões a preços de 2016

Ano	Estatística	Resultado para MG e ES	Resultado para a sub-bacia do Rio Doce	Resultado para o litoral	Resultado para Anchieta (ES)	Demais regiões de MG e ES
2015	R\$ bilhões	-35,39	-6,99	-3,23	-1,42	-23,74
	% do PIB _{CS} da região	-4,87	-7,74	-10,20	-32,66	-3,95
	% do Impacto total	100,00	19,76	9,12	4,02	67,10
2016	R\$ bilhões	-40,12	-8,06	-3,27	-1,56	-27,23
	% do PIB _{CS} da região	-5,78	-9,46	-11,27	-68,67	-4,71
	% do Impacto total	100,00	20,10	8,15	3,90	67,85
2017	R\$ bilhões	-60,77	-5,92	-3,84	-1,97	-49,04
	% do PIB _{CS} da região	-8,36	-6,56	-12,96	-71,66	-8,11
	% do Impacto total	100,00	9,74	6,32	3,24	80,70
Acumulado	R\$ bilhões	-136,28	-20,97	-10,34	-4,95	-100,01
	% do PIB _{CS} da região	-6,34	-7,89	-11,44	-52,57	-5,60
	% do Impacto total	100,00	15,39	7,59	3,63	73,39

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

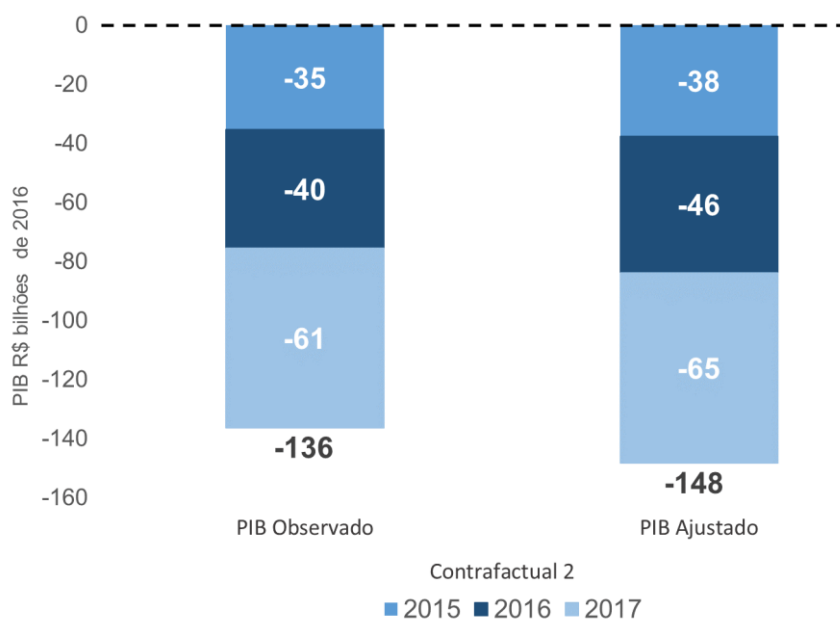
Observação: PIB_{CS} corresponde ao PIB estimados pelo controle sintético.

A seguir, detalha-se um pouco mais as estimativas do impacto total no PIB de Minas Gerais e Espírito Santo apresentando os cenários alternativos criados como uma análise

de robustez dos nossos resultados. A Tabela a seguir apresenta os valores do impacto no PIB para os anos de 2015, 2016 e 2017 em valores de reais de 2016 para os cinco cenários considerados no estudo. Os impactos negativos para os anos de 2015 estão no intervalo de R\$ 30,21 bilhões a R\$ 44,56 bilhões, que correspondem a uma perda de 4,17% e 6,03% no PIB contrafactual de 2015, respectivamente. Para 2016, estima-se de R\$ 40,09 bilhões a R\$ 59,58 bilhões, que correspondem a uma perda de 5,78% e 8,31% no PIB contrafactual de 2016, respectivamente. Para 2017, estima-se de R\$ 39,56 bilhões a R\$ 65,41 bilhões, que correspondem a uma perda de 5,59% e 8,94% no PIB contrafactual de 2016, respectivamente. No acumulado dos três anos, estima-se que o impacto no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo varia de R\$ 112,92 bilhões a R\$ 165,30 bilhões.

Assim como apresentado no Relatório 4 do EDT2, entre todos os cenários apresentados ao longo do documento, o estudo considera o contrafactual 2 e o contrafactual 3 aqueles apresentam, possivelmente, as melhores estimativas por apresentarem os melhores ajustes. As perdas estimadas utilizando a série de PIB observada no contrafactual 2 são de R\$ 35 bilhões, R\$ 40 bilhões e R\$ 61 bilhões em 2015, 2016 e 2017, respectivamente. No caso do contrafactual 3, as perdas estimadas foram de R\$ 38 bilhões, R\$ 46 bilhões e R\$ 65 bilhões em 2015, 2016 e 2017, respectivamente. A figura a seguir apresenta o resumo dos resultados selecionados.

Figura 1 — Resumo executivo do impacto do rompimento da Barragem de Fundão



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir dos dados IBGE.

Tabela 2 — Resumo executivo dos resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES (R\$ bilhões de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 1		Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
2015	R\$ bilhões	-36,43	-33,15	-35,39	-37,57	-35,36	-37,60	-33,28	-30,21	-33,30	-44,56
	% do PIB	-5,00	-4,55	-4,87	-5,13	-4,86	-5,13	-4,59	-4,17	-4,59	-6,03
	P-valor	-	-	0,15	0,19	0,19	0,15	0,19	0,27	0,19	0,12
2016	R\$ bilhões	-51,91	-48,86	-40,12	-46,16	-40,09	-46,13	-56,64	-43,16	-56,68	-59,58
	% do PIB	-7,35	-6,92	-5,78	-6,56	-5,78	-6,56	-7,97	-6,16	-7,97	-8,31
	P-valor	-	-	0,27	0,23	0,27	0,27	0,23	0,38	0,15	0,15
2017	R\$ bilhões	-49,72	-48,23	-60,77	-64,56	-60,74	-64,48	-65,41	-39,56	-65,44	-61,16
	% do PIB	-6,94	-6,73	-8,36	-8,81	-8,35	-8,80	-8,94	-5,59	-8,94	-8,39
	P-valor	-	-	0,15	0,19	0,12	0,19	0,12	0,42	0,12	0,19
Acumulado	R\$ bilhões	-138,06	-130,24	-136,28	-148,30	-136,19	-148,21	-155,33	-112,92	-155,42	-165,30
	% do PIB	-6,43	-6,07	-6,34	-6,83	-6,33	-6,83	-7,16	-5,29	-7,16	-7,56
	P-valor	-	-	0,19	0,27	0,12	0,15	0,23	0,50	0,31	0,42
RSME	Pré-rompimento	-	-	0,63	0,67	0,63	0,67	0,93	1,15	0,93	1,24
	Pós-rompimento	1,86	1,76	1,87	2,03	1,87	2,02	2,14	1,52	2,14	2,22
Composição do estado sintético – Pesos (%)											
UF		Contrafactual 1		Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
Rondônia				23,4	29,4	23,4	29				
Pará				28,8		28,8		52,4	0,1	52,4	20,9
Pernambuco					24,2		24,5				
Bahia									14,4		
Rio de Janeiro				7,1	4,9	7,1	5				
São Paulo								30,4	12,5	30,4	12,9
Paraná											13,5
Santa Catarina				40,7	41,5	40,6	41,5				
Mato Grosso do Sul								17,2	0,2	17,2	0,5
Goiás									72,4		52,2

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir dos dados IBGE (2020).

1 INTRODUÇÃO

Este estudo visa complementar o Relatório 4 apresentado no EDT2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a) – sobre os impactos do rompimento da Barragem de Fundão na renda agregada dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo – em dois aspectos: (i) com a atualização dos resultados, agora com a disponibilidade dos valores dos PIBs estaduais para o ano de 2017; e (ii) uma análise mais desagregada do impacto da renda agregada com enfoque nas regiões da sub-bacia do Rio Doce, dos municípios atingidos no litoral do Espírito Santo e do caso do município de Anchieta (ES).

Ao final do ano de 2019, o IBGE, responsável pelo cálculo dos PIBs nacional, estaduais e municipais, disponibilizou os valores para o ano de 2017 juntamente com algumas atualizações para anos anteriores. Analisar o impacto do rompimento no PIB das regiões é uma maneira de mensurar as mudanças na renda agregada ou da capacidade de geração de riqueza local. Mudanças no PIB podem ser interpretadas como alterações no estado geral da economia. Variações negativas podem ser indicativos de perturbações na cadeia produtiva das regiões, como: estados de Minas Gerais e Espírito Santo; municípios que compõem sub-bacia do Rio Doce; e municípios do litoral capixaba.

A metodologia utilizada é a mesma aplicada no Relatório 4 realizado pela FGV (2019a) e pode ser verificada na seção 3 do relatório anterior. Ela se baseia em uma avaliação de impacto em que se constrói uma região hipotética com as mesmas características, principalmente, a dinâmica do PIB em anos anteriores ao desastre. Essa região hipotética é utilizada para estimar qual teria sido o valor do PIB da região atingida caso não tivesse ocorrido o desastre. Comparam-se os valores que deveriam ter acontecido na ausência do desastre com a medida efetivamente observada para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo após o rompimento para mensurar o impacto do mesmo. Para a construção do contrafactual, utiliza-se o método de controle sintético de Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015).

Como mostram Cavallo et al (2013), tal abordagem é amplamente utilizada na literatura econômica para avaliar o impacto econômico de desastres e se baseia na estimação dos melhores pesos para construção da região hipotética, isto é, de forma a gerar o menor erro para o período pré-rompimento para as variáveis analisadas entre os estados atingidos e o contrafactual. Em essência, o estado hipotético é uma média ponderada dos outros estados que não foram atingidos pelo rompimento da barragem, e o método de controle sintético estima os pesos ótimos.

Para o exercício dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, constroem-se cinco contrafactuais representando cinco cenários diferentes para mitigar incertezas com relação às estimações pontuais. Tratam-se os dois estados como uma só unidade devido à próxima conexão econômica existente entre os mesmos, como mostrado na seção 1.2 de contextualização no Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a). Para essa análise estadual, estima-se o impacto utilizando os valores do PIB observados e os valores corrigidos pelos preços do minério de ferro devido ao impacto que suas variações causam no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e ao fato de a distribuição de jazidas desse mineral ser desigual entre os outros estados.

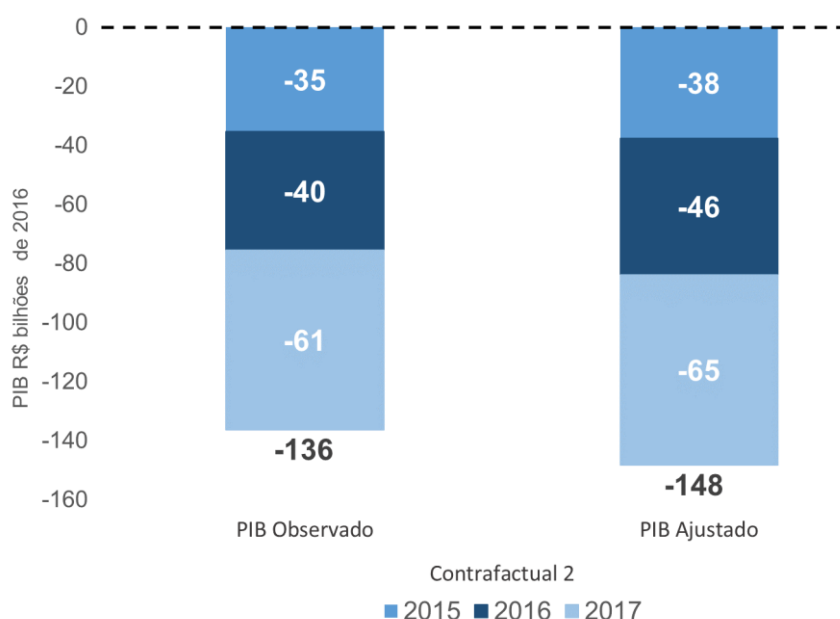
No caso das sub-bacias, utiliza-se a mesma estratégia dos cinco contrafactuais supracitados; a diferença está na agregação regional. Nesse exercício, a unidade atingida é composta pelos 215 municípios localizados na sub-bacia do Rio Doce, enquanto os potenciais controles são as demais sub-bacias do Brasil que não se encontram em Minas Gerais e Espírito Santo. Essa região está contida nos limites territoriais de Minas Gerais e Espírito Santo, de modo que o impacto encontrado corresponde a uma parcela do impacto total encontrado no primeiro exercício. Tratam-se esses municípios como uma única unidade devido à proximidade física, econômica e ao fato de comporem a sub-bacia do Rio Doce. Separá-las poderia acarretar perda de informação e a estimação do impacto do rompimento poderia ser comprometida.

Seguindo a mesma lógica, o terceiro exercício define um conjunto de cinco municípios do litoral do Espírito Santo como a unidade atingida. São eles: Aracruz, Conceição da Barra, Fundão, São Mateus e Serra. Optou-se por uma análise específica desse conjunto de municípios pelo fato de eles serem reconhecidos como atingidos no TTAC e se localizarem fora da sub-bacia do Rio Doce. O conjunto de potenciais controles são municípios pré-selecionados com base em características demográficas e geográficas. Essa mesma estratégia foi utilizada no caso separado do município de Anchieta (ES), que foi incluído nesse estudo devido a parte da produção da Mineradora Samarco S/A estar nesse município e, devido ao rompimento, ter tido sua produção comprometida após a paralisação da produção da empresa. Nesse exercício, busca-se mostrar a consequência da perturbação da cadeia produtiva entre os municípios atingidos e sua propagação para outros municípios com conexão econômica.

Os resultados para a análise em nível estadual mostram que a estimativa do impacto do rompimento da Barragem de Fundão, segundo o contrafactual 2, varia entre R\$ -35,39

bilhões a R\$ -37,57 bilhões em 2015, R\$ -40,12 bilhões a R\$ -46,16 bilhões em 2016.¹ e, R\$ -60,77 bilhões a R\$ -64,56 bilhões em 2017. No acumulado dos três anos, o impacto do rompimento da Barragem de Fundão varia entre R\$ -136,28 bilhões e R\$ -148,30 bilhões. A Figura 1 apresenta graficamente esses resultados. Escolhe-se esse contrafactual devido ao seu melhor desempenho medido pelo tamanho da diferença entre os valores dos estados atingidos e o estado hipotético.

Figura 1 — Resumo do impacto do rompimento da Barragem de Fundão



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir dos dados IBGE.

Nossos resultados também mostram que, da variação do PIB total dos estados entre 2014 e 2017 de R\$ -84 bilhões, de 72,34% e 76,86% foi devido ao rompimento. De outra forma, dos R\$ 84 bilhões de redução no PIB, o rompimento foi responsável por, pelo menos R\$ 60,72 bilhões.

No tocante aos impactos nas demais agregações regionais, a Tabela 1 sintetiza os resultados para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, para a sub-bacia do Rio Doce, para os municípios do litoral e para Anchieta (ES), respectivamente. No resultado acumulado dos três anos contemplados neste estudo, o impacto total para Minas Gerais e Espírito Santo foi de R\$ 136,28 bilhões a preços de 2016, que pode ser decomposto em um impacto direto de R\$ 20,97 bilhões na sub-bacia do Rio Doce e impactos indiretos de R\$ 10,44 bilhões e R\$ 4,95 bilhões nos cinco municípios do litoral do Espírito

¹ A título de comparação, o valor apresentado para 2016 no Relatório 4 do EDT2 varia entre R\$ -40,11 bilhões a R\$ -46,17 bilhões.

Santo e em Anchieta (ES), respectivamente. Esse resultado também chama atenção para a possível propagação do impacto às demais localidades dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo; afinal, 73,39% do impacto se encontram fora das três regiões analisadas, o que corresponde a R\$ 100,01 bilhões

Tabela 1 — Resultados consolidados dos controles sintéticos por regiões a preços de 2016

Ano	Estatística	Resultado para MG e ES	Resultado para a sub-bacia do Rio Doce	Resultado para o litoral	Resultado para Anchieta (ES)	Demais regiões de MG e ES
2015	R\$ bilhões	-35,39	-6,99	-3,23	-1,42	-23,74
	% do PIB _{CS} da região	-4,87	-7,74	-10,20	-32,66	-3,95
	% do Impacto total	100,00	19,76	9,12	4,02	67,10
2016	R\$ bilhões	-40,12	-8,06	-3,27	-1,56	-27,23
	% do PIB _{CS} da região	-5,78	-9,46	-11,27	-68,67	-4,71
	% do Impacto total	100,00	20,10	8,15	3,90	67,85
2017	R\$ bilhões	-60,77	-5,92	-3,84	-1,97	-49,04
	% do PIB _{CS} da região	-8,36	-6,56	-12,96	-71,66	-8,11
	% do Impacto total	100,00	9,74	6,32	3,24	80,70
Acumulado	R\$ bilhões	-136,28	-20,97	-10,34	-4,95	-100,01
	% do PIB _{CS} da região	-6,34	-7,89	-11,44	-52,57	-5,60
	% do Impacto total	100,00	15,39	7,59	3,63	73,39

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Observação: PIB_{CS} corresponde ao PIB estimados pelo controle sintético.

Este estudo está dividido em cinco seções. Na próxima seção, explica-se mais detalhadamente a metodologia aplicada e as principais atualizações das informações sobre os PIBs dos estados disponibilizados pelo IBGE no final do ano de 2019. Faz-se uma comparação entre a base utilizada no Relatório 4 do EDT 2 e aquela utilizada no presente estudo. Na seção seguinte, apresentam-se as regiões atingidas sob análise no estudo. A seção 4 contém os resultados dos impactos estimados para os estados, sub-bacia, municípios do litoral capixaba, e Anchieta (ES), respectivamente. Por fim, a última seção conclui este estudo.

2 METODOLOGIA

Apresenta-se nesta seção, de forma breve, a metodologia aplicada para a mensuração do impacto na renda agregada. Utiliza-se o método de controle sintético proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie Diamond e Hainmueller (2010) que consiste em construir uma região hipotética, semelhante à unidade atingida, formada por uma média ponderada de regiões que não foram afetadas. Esse procedimento tem como objetivo estimar os pesos dessa média utilizando as informações do período anterior ao rompimento. O impacto na renda agregada será, portanto, a diferença entre o PIB da região atingida e o PIB da respectiva região hipotética no período pós-rompimento, entre 2015-2017. O detalhamento da estimação dos impactos via controle sintético e o levantamento da literatura sobre a avaliação econômica de desastres se encontram no Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a). Nesta seção, focar-se-á na explicação da atualização das informações de PIB estadual pelo IBGE ao final do ano de 2019, que aconteceu após o fechamento do Relatório 4 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a).

2.1 Atualização das informações para o PIB

As variáveis disponibilizadas pelo IBGE passam por revisões à medida que novas informações são consolidadas e disponibilizadas como definido na página de divulgação das séries de PIB atualizadas:

O IBGE adota uma política de revisão de dados divulgados desta operação estatística. Por revisão de dados entende-se toda e qualquer revisão programada de dados numéricos, em que são disponibilizadas novas informações que não estavam acessíveis quando da primeira divulgação, tais como: um dado tardio que substitui uma não resposta; ou um dado corrigido pelo próprio informante; ou um conjunto de dados que foi submetido a processo de crítica e imputação (IBGE, 2015).

Portanto, assim como as séries de PIB agregado para o Brasil passam por ajustes, as séries de PIB municipal e estadual também são revisadas com as novas informações disponíveis, pelo fato de serem sistemas integrados, assim como descrito pelo IBGE:

Os resultados são comparáveis entre si e estão completamente integrados às séries das Contas Nacionais e das Contas Regionais do Brasil, em conformidade, portanto, com o novo manual System of national accounts 2008, SNA 2008, e com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0 (IBGE, 2015).

Deste modo, para o caso de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, utiliza-se a base de dados atualizada pelo IBGE para refazer o exercício apresentado no Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a) com a inclusão do impacto estimado para o ano de 2017. Nesta seção, apresentam-se as atualizações e alterações feitas pelo IBGE nos PIBs estaduais para os anos de 2002 a 2017 e se discute se estas impactam as análises feitas em Fundação Getulio Vargas (2019a).

Na divulgação dos PIBs estaduais até 2017, notam-se mudanças marginais nos PIBs setoriais de 2016. Isso ocorre tanto nos estados de interesse, Minas Gerais e Espírito Santo, quanto nos utilizados para a elaboração do controle sintético. A Tabela 2 apresenta quais setores dos estados sofreram atualizações desde a última publicação e em que medida o valor foi alterado.

Para exemplificar, o PIB, a preços correntes em 2016 do Espírito Santo, foi reajustado de R\$ 109,23 bilhões na divulgação anterior para R\$ 109,26 bilhões na versão atualizada. Esse acréscimo de cerca de R\$ 30 milhões representa um reajuste de 0,03%. No caso de Minas Gerais, o PIB, a preços correntes em 2016, foi reajustado de R\$ 640,19 bilhões na divulgação anterior para R\$ 640,40 bilhões na versão atual, o que representa um reajuste de 0,03%. Em termos percentuais, os maiores reajustes foram nos valores adicionados de serviços a preços correntes em 2016, com acréscimo de 0,06% em Minas Gerais e Espírito Santo.

Ademais, não foram feitas atualizações para anos anteriores. Assim, espera-se que os valores do impacto do rompimento da Barragem de Fundão no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo calculados em Fundação Getulio Vargas (2019a) não sofram alterações. De fato, o ano de 2016 é o único passível de alteração no valor, visto que tanto o valor do PIB do Espírito Santo quanto de outros estados que fazem parte do grupo de candidatos a compor o estado sintético apresentaram atualizações em seus números.

Tabela 2 — Atualização dos PIBs de Minas Gerais e Espírito Santo para o ano de 2016

	Valores adicionados preços correntes em 2016								Impostos		PIB corrente	
	Agropecuária		Indústria		Serviços		Adm. pública					
	Atualizado	Anterior	Atualizado	Anterior	Atualizado	Anterior	Atualizado	Anterior	Atualizado	Anterior	Atualizado	Anterior
MG e ES Bilhões de R\$ %	7,3	7,3	121,4	121,3	370,7	370,5	134,9	134,9	83,4	83,4	654,1	653,9
	0,00%		0,04%		0,06%		0,00%		0,00%		0,03%	
Brasil sem MG e ES Bilhões de R\$ %	269,2	269,2	1.009,7	1.009,2	2.725,6	2.724,2	844,6	844,6	766,1	766,1	5.615,3	5.613,3
	0,00%		0,05%		0,05%		0,00%		0,00%		0,03%	

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir dos dados IBGE.

2.2 Construção dos contrafactuais

Assim como no Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a), constroem-se cinco estratégias de contrafactuais para os casos em nível de unidade federativa e sub-bacia. Entre os cinco contrafactuais, o primeiro considera a variação do PIB brasileiro sem os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Os outros quatro cenários contrafactuais são construídos por meio do método de controle sintético desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015) e detalhadamente descrito na seção 3 do Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a). Cada cenário considera variáveis diferentes para a caracterização e construção do estado hipotético. Em todos os resultados apresentados ao longo deste documento, os números referentes aos contrafactuais (1, 2, 3, 4, 5) correspondem às seguintes especificações:

- contrafactual 1: taxa de crescimento do Brasil excluindo MG e ES entre 2014 e 2017;
- contrafactual 2: passado do PIB *per capita* de 2002 a 2014;
- contrafactual 3: média das covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2002 a 2004 e de 2011 a 2014;
- contrafactual 4: média das covariadas e a média do PIB *per capita* de 2002 a 2014;

- contrafactual 5: Média das covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2011 a 2014.

As covariadas são relacionadas à estrutura produtiva e fatores de produção importantes para a determinação do seu nível de produção e riqueza. As covariadas são: densidade populacional e composição do PIB (percentual do setor agropecuário, serviços e indústria). Vale ressaltar que no caso de Minas Gerais e Espírito Santo acrescentaram-se as covariadas de capital humano, área produtiva e percentual do setor extrativo no PIB, uma vez que essas informações são obtidas apenas em nível estadual.

O contrafactual 1 parte do pressuposto de que o PIB dos estados afetados teria variado à mesma taxa que o PIB brasileiro na ausência desses estados. Assim, qualquer atualização que impacte o PIB brasileiro afeta o valor do impacto para o primeiro cenário contrafactual. Outra forma de interpretar essa estratégia é utilizar como taxa de variação do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo a média ponderada dos outros estados brasileiros onde os pesos são os tamanhos dos seus respectivos PIB excluindo os dois estados mencionados. Para exemplificar, a Tabela 3 apresenta as taxas de variação do PIB do Brasil entre os anos de 2015 e 2017.

Observa-se, no primeiro painel, que entre 2014-2015, 2015-2016, o PIB brasileiro caiu 3,5% e 3,3%, respectivamente. Nota-se, todavia, que no período 2016-2017 o PIB registrou um aumento real de 1,5%. Parte dessa taxa é devida às variações nos estados afetados. A fim de calcular o valor da taxa de variação na ausência do rompimento, retira-se o PIB dos estados de MG e ES, mostrados no segundo painel, e se computa a taxa de variação. O último painel mostra que sem os estados afetados, a taxa de variação do PIB brasileiro teria sido menos negativa, -3,0% em 2015 e 2016 e menos positiva em 2017 (1,4%). Essas taxas são utilizadas para a construção do PIB contrafactual dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Comparando-se as taxas de variação do PIB brasileiro com e sem os estados de MG e Espírito Santo, é interessante notar que os dois estados contribuíram de forma negativa para o crescimento do PIB nacional entre os anos de 2014 e 2016, enquanto que para 2016-2017, sua contribuição foi positiva, sugerindo o começo da retomada do crescimento econômico desses estados.

Tabela 3 — Variação do PIB brasileiro na ausência dos estados de MG e ES

		Brasil				
		2014	2015	2016	2017	2014-2017
PIB	R\$ bilhões	6.720	6.481	6.269	6.362	
Variação	R\$ bilhões		-238	-212	93	-357
	%		-3,5	-3,3	1,5	-5,3
Minas Gerais e Espírito Santo						
		2014	2015	2016	2017	2014-2017
PIB	R\$ bilhões	750	692	654	666	
Variação	R\$ bilhões		-59	-37	12	-84
	%		-7,9	-5,4	1,9	-11,2
Brasil sem os estados de Minas Gerais e Espírito Santo						
		2014	2015	2016	2017	2014-2017
PIB	R\$ bilhões	5.969	5.790	5.615	5.696	
Variação	R\$ bilhões		-179,3	-174,7	80,7	-273,3
	%		-3,0	-3,0	1,4	-4,6

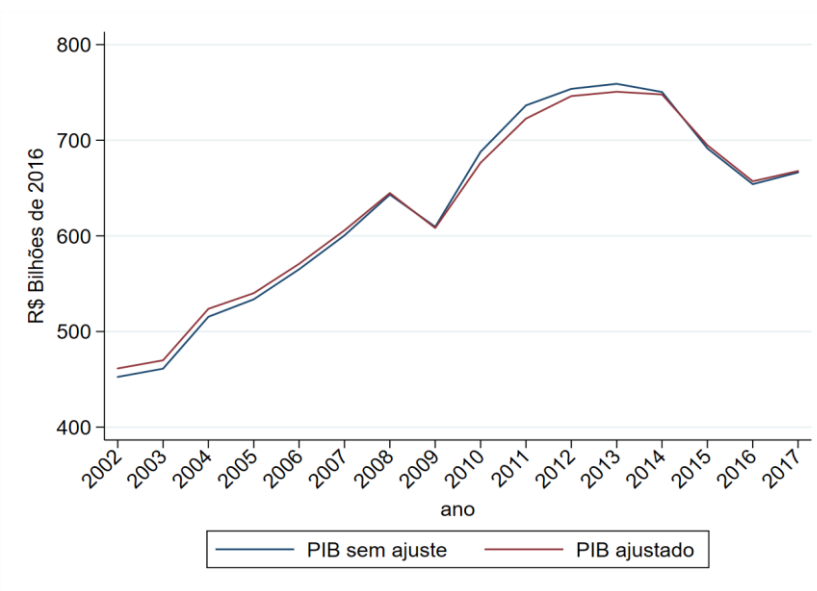
Fonte: Elaboração própria (2020), a partir dos dados IBGE.

Para a construção dos outros quatro contrafactuais, utilizou-se o método de controle sintético proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller. (2010, 2015). Por meio dessa metodologia, calculam-se os pesos de cada unidade comparável (grupo de controle) para compor uma região sintética que seja semelhante à unidade atingida, tanto na dinâmica da renda agregada quanto nas outras características capturadas pelas covariadas. Os pesos são escolhidos de forma a minimizar a diferença entre a região sintética e as atingidas pelo rompimento. Para o caso das unidades federativas, por exemplo, como os pesos são escolhidos utilizando a informação pré-rompimento, é possível criar um estado hipotético de Minas Gerais e Espírito tal que o rompimento não tivesse ocorrido. Esse estado é composto com base nas informações dos outros estados brasileiros os quais, por hipótese, não foram afetados pelo rompimento. O mesmo é feito para todas as demais regiões analisadas.

Haja vista que o horizonte temporal de análise foi estendido para 2002 a 2017. A Figura 2 apresenta o gráfico atualizado com as séries de PIB observados (linha azul) e ajustado para o preço do minério de ferro (linha vermelha), assim como discutido na seção 3 do Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a). A ideia dessa correção é filtrar o impacto dos preços externos do minério de ferro dos estados brasileiros, visto que ele é um importante determinante da produção no estado de Minas Gerais e Espírito Santo e afeta de maneira diferente cada um dos demais estados brasileiros, de acordo

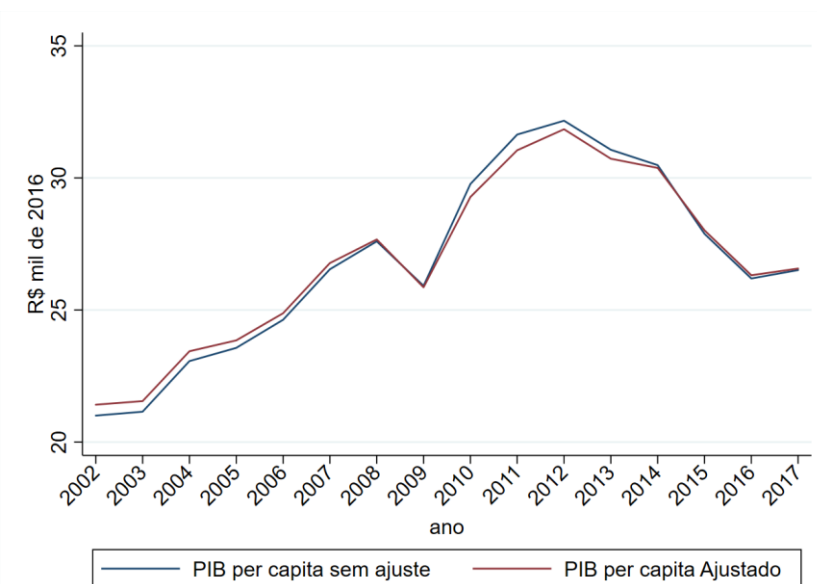
com a disponibilidade de minas. A figura 3 apresenta as séries de PIB *per capita*. De forma geral, observa-se que as séries ficaram mais suaves com a correção.

Figura 2 — Comparação entre o PIB observado e ajustado



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 3 — Comparação entre o PIB *per capita* observado e ajustado



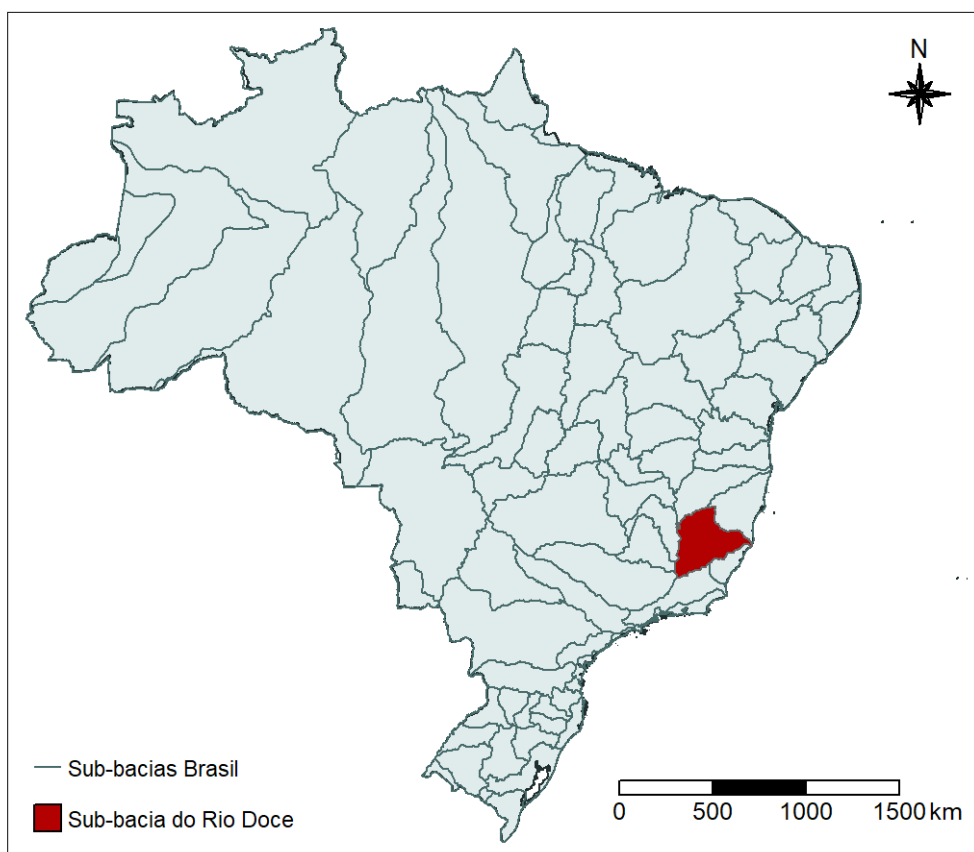
Fonte: Elaboração própria (2020).

3 AS REGIÕES ATINGIDAS

O estudo realizado no EDT2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a) teve como enfoque a avaliação do impacto da renda agregada para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo conjuntamente. Estudos apontam que o impacto não ocorreu de maneira homogênea entre essas localidades (DOMINGUES; CARDOSO; SIMONATO, 2019). Tendo isso em vista, o presente documento tem como intuito analisar o impacto na renda agregada de Minas Gerais e Espírito Santo e em suas sub-regiões, tais como os municípios que compõem a sub-bacia do Rio Doce, os municípios do litoral e o município de Anchieta (ES).

A Figura 4 apresenta a delimitação geográfica das 76 sub-bacias hidrográficas do Brasil, entre as quais tem-se a sub-bacia do Rio Doce. O conceito de uma sub-bacia foi proposto pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (Dnaee) em 1972 de modo que a partir das bacias hidrográficas subdividiu-se em regiões menores para o gerenciamento das informações (BRASIL, s.d.).

Figura 4 — Sub-bacias hidrográficas do Brasil



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados da ANA (BRASIL, s.d.).

É importante ressaltar que as delimitações geográficas das sub-bacias não têm como base as fronteiras municipais, de modo que é possível que um município tenha territórios em sub-bacias diferentes. O critério de agregação dos municípios como pertencentes a uma sub-bacia leva em consideração a área do município na sub-bacia em questão.

Para se estimar o impacto no nível de sub-bacia, utiliza-se a agregação dos municípios que compõem cada sub-bacia, uma vez que as variáveis de PIB, assim como as variáveis sociodemográficas se encontram disponíveis em nível municipal. Por exemplo, o cálculo do PIB *per capita* de uma dada sub-bacia é realizado a partir da soma dos PIBs municipais pertencentes a sub-bacia dividido pela respectiva soma da população da mesma sub-bacia. Este estudo utiliza como potenciais controles os conjuntos de sub-bacias (municípios agregados no nível de sub-bacia) que se situam fora dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, pois acredita-se que outros municípios, fora da bacia, possam ter sofrido com o rompimento devido às conexões econômicas com os municípios atingidos. Evita-se, assim, o efeito da propagação do impacto do rompimento intraestadual. Ignorar esse efeito poderia tornar os resultados potencialmente subestimados.

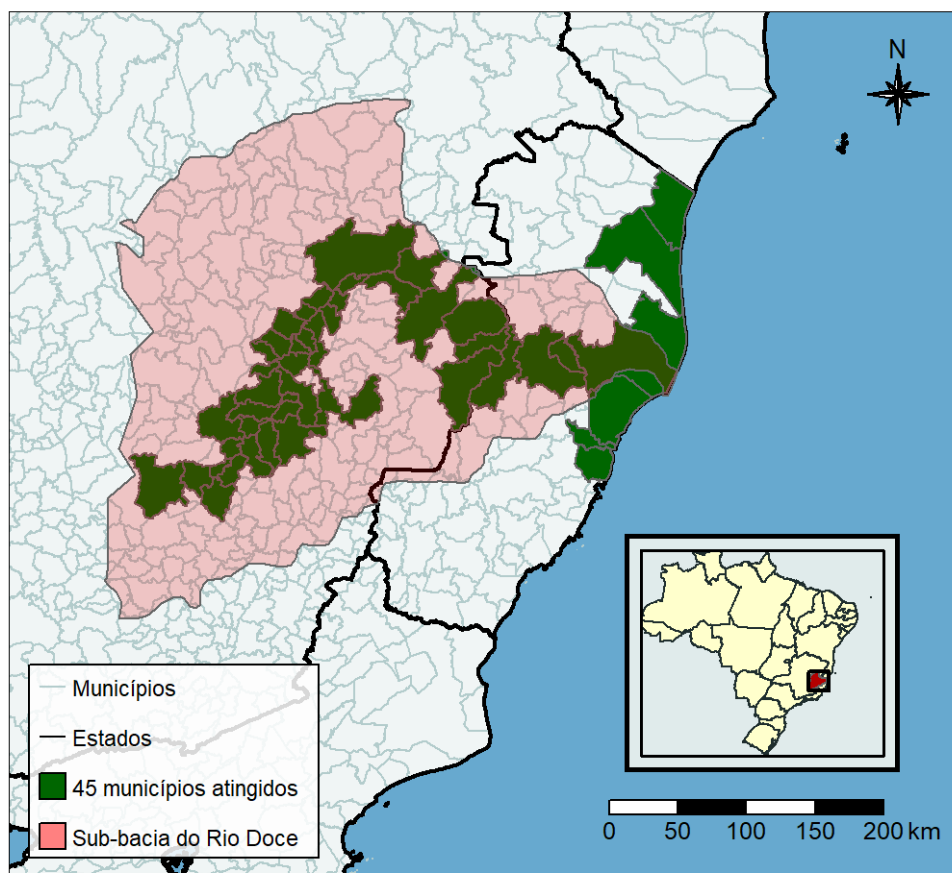
A Figura 5 apresenta o conjunto de municípios pertencentes à sub-bacia do Rio Doce. A região em rosa no mapa corresponde à unidade atingida para o presente exercício. Essa região contém 215 municípios, sendo 194 municípios em Minas Gerais e 21 no Espírito Santo. Foram destacados em verde escuro os 45 municípios considerados atingidos no TTAC² e em estudos anteriores da FGV.³ Como se pode notar, 40 deles pertencem a sub-bacia do Rio Doce, de modo que cinco municípios do litoral do Espírito Santo não são contemplados: Serra, Fundão, Aracruz, São Mateus, e Conceição da Barra.

Uma observação importante é que o município de Linhares (ES) está no litoral e pertence à sub-bacia do Rio Doce. Em face da diferença significativa da dinâmica econômica e populacional dos quatro municípios do litoral supracitados, realizou-se um controle sintético separado para eles, explicado na seção 4.3 dos resultados para o litoral.

² BRASIL. Tribunal Regional Federal da 1ª Região. Ação Civil Pública nº 006975861.2015.4.01.3400. **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC)**. 2 mar. 2016. Disponível em: <www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/07/TTACFINAL.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

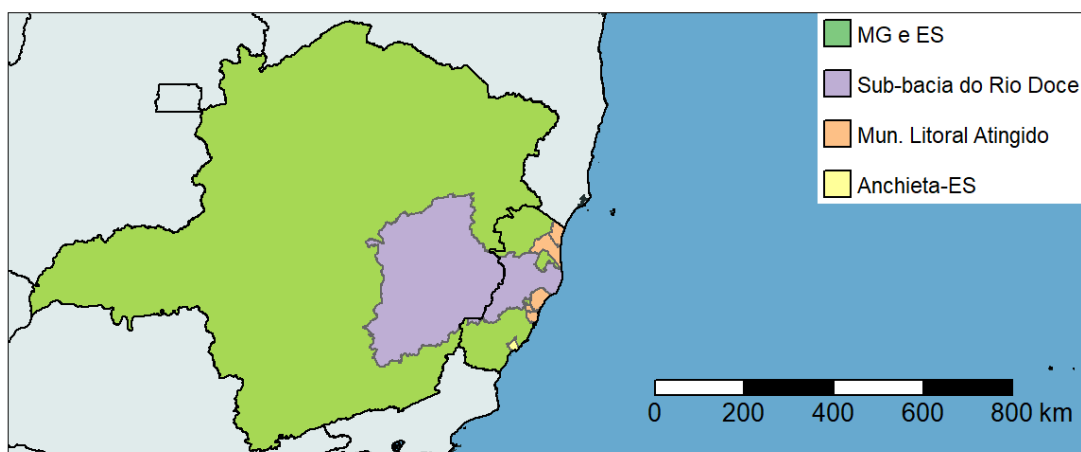
³ Conforme apresentado em Fundação Getulio Vargas (2019b, 2019c, 2019d).

Figura 5 — Os municípios da sub-bacia do Rio Doce



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados ANA (BRASIL, s.d.) e IBGE.

Apresentado o conceito de sub-bacia, a Figura 6 contém as divisões regionais analisadas, entre elas os municípios que integram a sub-bacia do Rio Doce. A delimitação em verde mostra as unidades federativas de Minas Gerais e Espírito Santo, cujos resultados são apresentados na seção 4.1. Essa especificação é a mesma utilizada no Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a) e neste estudo atualizado com a estimativa do impacto para o ano de 2017. A área em roxo contém os 215 municípios pertencentes à sub-bacia hidrográfica do Rio Doce, cujos resultados podem ser verificados seção 4.2.

Figura 6 — Regiões atingidas avaliadas neste estudo

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Ainda na Figura 6, para fins de simplificação de nomenclatura, foram definidos como municípios do litoral os destacados em laranja no mapa. Esse conjunto de municípios do Espírito Santo foi incluído no TTAC,⁴ porém não se encontra na sub-bacia do Rio Doce. São eles: Aracruz, Conceição da Barra, Fundão, São Mateus e Serra. Os impactos agregados para esses municípios se encontram na seção 4.3. Esses municípios foram tratados conjuntamente devido à relação econômica entre eles e separadamente dos municípios da bacia devido à sua composição econômica ser relativamente diferente. Com a agregação com os demais municípios da sub-bacia do Rio Doce, poder-se-ia perder informação importante.

Por fim, o impacto estimado para o município de Anchieta (ES), destacado em amarelo na Figura 6, conhecido pelo processo de pelletização do minério de ferro da mineradora Samarco S/A, assim como pela exportação do produto via o porto local, pode ser verificado na seção 4.4. A inclusão desse município na análise é importante para mostrar que o impacto na cadeia produtiva dos estados se propagou para outros municípios com alto relacionamento econômico com os municípios atingidos. Essa análise corrobora o argumento da propagação do impacto do rompimento para as demais regiões dos estados.

Para dar início à caracterização das regiões analisadas, a Tabela 4 apresenta o PIB agregado e a população total para cada uma das sub-regiões entre os anos de 2014 e 2017. Para o ano imediatamente pré-rompimento da barragem (2014), nota-se que a

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 (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.

população total de Minas Gerais e Espírito Santo correspondia a 24,6 milhões de habitantes. Desses, 3,7 milhões residiam nos municípios da sub-bacia do Rio Doce, 2,2 milhões nos municípios do litoral, e 30 mil em Anchieta. Em todas as sub-regiões, nota-se um aumento gradual da população total para os anos de 2015 a 2017, à exceção de Anchieta, a qual se mantém constante.

Do ponto de vista da análise do PIB em Minas Gerais e Espírito Santo, nota-se uma queda de 7,9%, de R\$ 750,5 bilhões em 2014 para R\$ 691,5 bilhões em 2015. Para o caso dos municípios da sub-bacia do Rio Doce, essa queda foi ainda mais acentuada, com recuo de 12,3%, de R\$ 95 bilhões em 2014 para R\$ 83,3 bilhões em 2015. O local com maior decréscimo da economia foi Anchieta, com queda de 45,7%, de R\$ 5,4 bilhões em 2014 para R\$ 2,9 bilhões em 2015.

O ano de 2016 também foi marcado por quedas nas economias regionais, com recuo de 5,4% para Minas Gerais e Espírito Santo, queda de 7,3% para a sub-bacia do Rio Doce, retração de 8,7% para os municípios de litoral e 75,8% de diminuição da economia de Anchieta (ES). Pretende-se, no presente estudo, estimar o tamanho da retração das economias locais em virtude do rompimento da Barragem de Fundão e suas consequências diretas e indiretas. Para isso, utilizou-se a metodologia de controle sintético proposta por Abadie e Gardeazabal (2003).

Tabela 4 — Estatísticas descritivas das sub-regiões (R\$ bilhões de 2016)

Ano	Estatística	MG e ES	Sub-bacia do Rio Doce	5 Municípios do litoral	Anchieta (ES)
2014	R\$ bilhões	750,5	95,0	29,5	5,4
	População milhares	24.620	3.700	740	30
2015	R\$ bilhões	691,5	83,3	28,4	2,9
	População milhares	24.800	3.720	760	30
2016	R\$ bilhões	654,1	77,2	25,8	0,7
	População milhares	24.970	3.740	770	30
2017	R\$ bilhões	666,4	84,3	25,8	0,8
	População milhares	25.140	3.750	780	30

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Figura 7, por sua vez, indica a evolução do PIB agregado de cada região entre 2002 e 2017, com a linha tracejada preta em 2015, ano do rompimento da Barragem de Fundão. Em todos os casos, nota-se uma trajetória de queda da renda agregada desde 2013-2014.

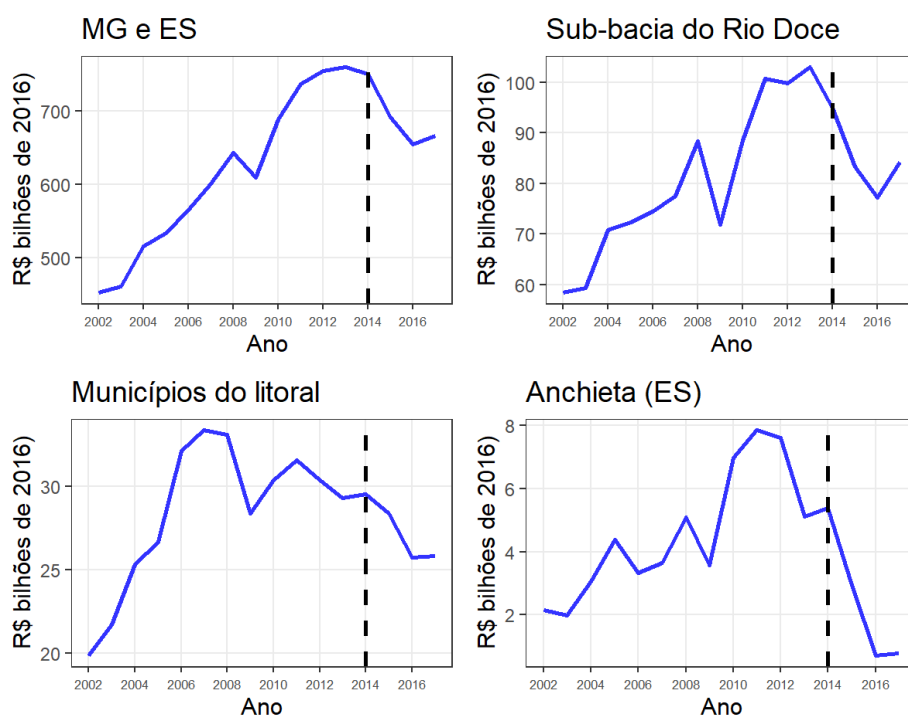
O PIB agregado de Minas Gerais e Espírito Santo indica um crescimento contínuo de 2002 a 2013, à exceção de 2009, marcado pela crise financeira internacional. O PIB da

sub-bacia do Rio Doce possui uma dinâmica temporal menos comportada, com forte retração entre 2008 e 2009, além de um pequeno recuo em 2011 para 2012. De todo modo, a partir de 2013 a economia se encontra em declínio e vai até 2016. Os municípios do litoral, por sua vez, vivenciaram um forte crescimento entre 2002 e 2007, seguindo por uma quebra estrutural, revertendo a tendência de queda até 2017.

Sobre a evolução do PIB municipal de Anchieta (ES) de 2002 a 2017, nota-se que entre os anos de 2009 e 2011, o município vivenciou um forte crescimento do PIB total, em parte devido ao aumento de receita advindo com o aumento do preço internacional do minério de ferro. Além disso, argumenta-se que nesse período teria havido um aumento no volume produzido de pelotas de ferro; portanto, o aumento da receita viria tanto do aumento do preço quanto da quantidade. Entretanto, entre 2012 e 2014, constata-se uma retração significativa do PIB do município, tendo em vista o contexto internacional de queda dos preços de *commodities*, como é o caso do minério de ferro.

De todo modo, no último ano pré-rompimento da Barragem de Fundão, 2014, o PIB do município situava-se em R\$ 5,4 bilhões a preços de 2016 e retraiu-se para R\$ 2,9 bilhões em 2015, uma queda de 46%, e manteve essa trajetória de queda no ano consecutivo, com retração de 76% em 2016, para R\$ 0,7 bilhão, quando comparado com o nível de 2015.

Figura 7 — PIB real das regiões (R\$ bilhões de 2016)



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Apresentada a dinâmica do PIB de cada região analisada, a Figura 8, indica a porcentagem do valor adicionado em cada setor da economia, sendo eles: agropecuário, serviços, indústria e governo. Para cada sub-região, pode-se notar como se deu a dinâmica temporal das participações dos setores entre 2014 e 2017. Em todos os casos, nota-se que a participação da indústria no valor adicionado no PIB foi maior em 2014, pré-rompimento, em todas as regiões analisadas, uma parte dessa perda está diretamente relacionada com a queda do PIB da indústria extrativa.

O caso de Minas Gerais e Espírito Santo mostra uma participação da indústria em torno de 25% em 2014, levemente inferior à sub-bacia do Rio Doce e dos municípios do litoral e muito aquém da participação da indústria em Anchieta (ES), com quase 70% do valor adicionado ao PIB do município advindo da indústria no mesmo ano de referência.

Figura 8 — Participação dos setores nas economias das regiões



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados IBGE.

Observação: O setor governo contempla o valor adicionado da administração pública e os impostos líquidos de subsídios arrecadados em cada sub-região.

4 RESULTADOS

A partir da metodologia de controle sintético utilizada no Relatório 4 do EDT2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a), esta seção apresenta os impactos estimados para as quatro regiões apresentada na seção 3. A subseção 4.1 indica os resultados dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, agora com novas informações disponíveis do PIB estadual, ou seja, agora com os dados de 2017.

A subseção 4.2 contém os resultados para o controle sintético no nível de sub-bacias hidrográficas enquanto que a subseção 4.3 indica os impactos para o conjunto dos cinco municípios do litoral. A subseção 4.4 contém os resultados para o município de Anchieta (ES) e, para finalizar, a subseção 4.5 consolida e discute os principais modelos escolhidos em cada cenário.

Vale ressaltar que em todos os modelos aqui apresentados, os contrafactuais 1, 2, ..., 5 seguem as especificações apresentadas na subseção 2.2; a diferença está na definição na composição das variáveis de controle para a construção da unidade sintética. A título de exemplo, o contrafactual 2 sempre corresponderá à especificação de todo o passado do PIB *per capita* de 2002 a 2014, período pré-rompimento.

4.1 Resultados para Minas Gerais e Espírito Santo

A Tabela 5 e a Tabela 6, a seguir, contém os resultados do impacto do rompimento da Barragem de Fundão no PIB conjunto dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e no PIB *per capita*, respectivamente. A Tabela 5 apresenta os resultados do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo nos cinco cenários contrafactuais. Para cada cenário há uma estimação com e sem ajuste para os preços do minério de ferro. Priorizam-se os resultados dos contrafactuais 2 devido ao critério de melhor ajuste pré-rompimento (isto é, o contrafactual 2 é o que possui a menor raiz quadrada da média do erro ao quadrado, RMSE) entre os demais. Desse modo, no contrafactual 2, estima-se um impacto de magnitude acumulada entre os anos de 2015 e 2017 de R\$ -136,28 bilhões para o PIB observado e de R\$ -148,30 bilhões para o PIB ajustado. Para cada ano, o tamanho do impacto é estimado no intervalo de R\$ -35,39 bilhões a R\$ -37,57 bilhões em 2015, R\$ -40,12 bilhões a R\$ -46,16 bilhões em 2016⁵ e R\$ -60,77 bilhões a R\$ -64,56 bilhões em 2017. Os intervalos são gerados através das estimativas utilizando os PIBs observados e ajustados. Esses valores representam, em média, uma redução de 6,34%

⁵ A título de comparação, o valor apresentado para 2016 no Relatório 4 do EDT2 varia entre R\$ -40,11 bilhões a R\$ -46,17 bilhões.

a 6,83% no PIB. O resultado para o contrafactual 3 é muito semelhante, como pode ser visto na Tabela 5.

A título de comparação com a estratégia alternativa, utilizando as variações do PIB brasileiro sem os estados de MG e ES, através do contrafactual 1 (PIB observado), o impacto no PIB de Minas Gerais e Espírito Santos é de R\$ -36,43 bilhões em 2015, R\$ -51,91 bilhões em 2016 e R\$ -49,72 bilhões em 2017, o que resulta em um valor agregado de R\$ -138,06 bilhões nos três anos acumulados. Comparando com os demais contrafactuais, os valores do impacto acumulado variam de R\$ -112,92 bilhões (contrafactual 4 com ajuste) a R\$ -165,3 bilhões (contrafactual 5 com ajuste). Em termos percentuais, os impactos acumulados variam em uma redução de 5,29% a 7,56% dos respectivos PIBs contrafactuais de referência.

O painel inferior da Tabela 5 mostra a composição do estado sintético em cada um dos contrafactuais, assim como foi realizado no Relatório do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a). No contrafactual 2 (PIB observado), o Estado sintético é uma média ponderada dos PIBs de Rondônia (23,4%), Pará (28,8%), Rio de Janeiro (7,1%) e Santa Catarina (40,7%). É importante ressaltar que o cálculo do impacto é realizado a partir das séries de PIBs *per capita* de cada estado, presentes na Tabela 6, e em sequência, utilizam-se os dados de população estimada do IBGE para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo para o cálculo do valor agregado. Utiliza-se a população do ano corrente, ou seja, supõe-se que a população dos estados não foi afetada pelo rompimento. É uma hipótese plausível, dado o tamanho físico e populacional desses estados.

A Tabela 6 apresenta os resultados do impacto do rompimento no PIB *per capita* de Minas Gerais e Espírito Santo para os cinco tipos de contrafactuais, com e sem ajuste. Entre os principais resultados apresentados, os contrafactuais 2 e 3, ambos sem ajuste, nota-se uma perda acumulada do PIB *per capita* de R\$ 5,45 mil, aproximadamente, em ambos os casos.

Tabela 5 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES (R\$ bilhões de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 1		Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
2015	R\$ bilhões	-36,43	-33,15	-35,39	-37,57	-35,36	-37,60	-33,28	-30,21	-33,30	-44,56
	% do PIB	-5,00	-4,55	-4,87	-5,13	-4,86	-5,13	-4,59	-4,17	-4,59	-6,03
	P-valor	-	-	0,15	0,19	0,19	0,15	0,19	0,27	0,19	0,12
2016	R\$ bilhões	-51,91	-48,86	-40,12	-46,16	-40,09	-46,13	-56,64	-43,16	-56,68	-59,58
	% do PIB	-7,35	-6,92	-5,78	-6,56	-5,78	-6,56	-7,97	-6,16	-7,97	-8,31
	P-valor	-	-	0,27	0,23	0,27	0,27	0,23	0,38	0,15	0,15
2017	R\$ bilhões	-49,72	-48,23	-60,77	-64,56	-60,74	-64,48	-65,41	-39,56	-65,44	-61,16
	% do PIB	-6,94	-6,73	-8,36	-8,81	-8,35	-8,80	-8,94	-5,59	-8,94	-8,39
	P-valor	-	-	0,15	0,19	0,12	0,19	0,12	0,42	0,12	0,19
Acumulado	R\$ bilhões	-138,06	-130,24	-136,28	-148,30	-136,19	-148,21	-155,33	-112,92	-155,42	-165,30
	% do PIB	-6,43	-6,07	-6,34	-6,83	-6,33	-6,83	-7,16	-5,29	-7,16	-7,56
	P-valor	-	-	0,19	0,27	0,12	0,15	0,23	0,50	0,31	0,42
RSME	Pré-rompimento	-	-	0,63	0,67	0,63	0,67	0,93	1,15	0,93	1,24
	Pós-rompimento	1,86	1,76	1,87	2,03	1,87	2,02	2,14	1,52	2,14	2,22
Composição do estado sintético – Pesos (%)											
UF		Contrafactual 1		Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
Rondônia				23,4	29,4	23,4	29				
Pará				28,8		28,8		52,4	0,1	52,4	20,9
Pernambuco					24,2		24,5				
Bahia									14,4		
Rio de Janeiro				7,1	4,9	7,1	5				
São Paulo								30,4	12,5	30,4	12,9
Paraná											13,5
Santa Catarina				40,7	41,5	40,6	41,5				
Mato Grosso do Sul								17,2	0,2	17,2	0,5
Goiás									72,4		52,2

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Tabela 6 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita de MG e ES (R\$ milhares de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 1		Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
2015	R\$ mil	-1,47	-1,34	-1,43	-1,52	-1,43	-1,52	-1,34	-1,22	-1,34	-1,80
	% do PIB	-5,00	-4,55	-4,87	-5,13	-4,86	-5,13	-4,59	-4,17	-4,59	-6,03
	P-valor	-	-	0,15	0,19	0,19	0,15	0,19	0,27	0,19	0,12
2016	R\$ mil	-2,08	-1,96	-1,61	-1,85	-1,61	-1,85	-2,27	-1,73	-2,27	-2,39
	% do PIB	-7,35	-6,92	-5,78	-6,56	-5,78	-6,56	-7,97	-6,16	-7,97	-8,31
	P-valor	-	-	0,27	0,23	0,27	0,27	0,23	0,38	0,15	0,15
2017	R\$ mil	-1,98	-1,92	-2,42	-2,57	-2,42	-2,57	-2,60	-1,57	-2,60	-2,43
	% do PIB	-6,94	-6,73	-8,36	-8,81	-8,35	-8,80	-8,94	-5,59	-8,94	-8,39
	P-valor	-	-	0,15	0,19	0,12	0,19	0,12	0,42	0,12	0,19
Acumulado	R\$ mil	-5,53	-5,21	-5,45	-5,93	-5,45	-5,93	-6,21	-4,52	-6,22	-6,62
	% do PIB	-6,43	-6,07	-6,34	-6,83	-6,33	-6,83	-7,16	-5,29	-7,16	-7,56
	P-valor	-	-	0,19	0,27	0,12	0,15	0,23	0,50	0,31	0,42

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Dado que a metodologia utilizada nesse exercício permanece a mesma apresentada no Relatório do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a), as figuras foram elaboradas de maneira análoga à apresentada no Relatório do EDT2, agora com os resultados atualizados até 2017. A Figura 9 indica o PIB observado dos estados de MG e ES e a trajetória do estado sintético para os contrafactuais 2 e 3. Como se pode observar, em todos os casos, os valores dos PIBs contrafactuais são superiores aos valores observados do PIB conjunto de Minas Gerais e Espírito Santo, pois o impacto foi de perda de renda agregada em todos os anos, o que já havia sido indicado na Tabela 3.

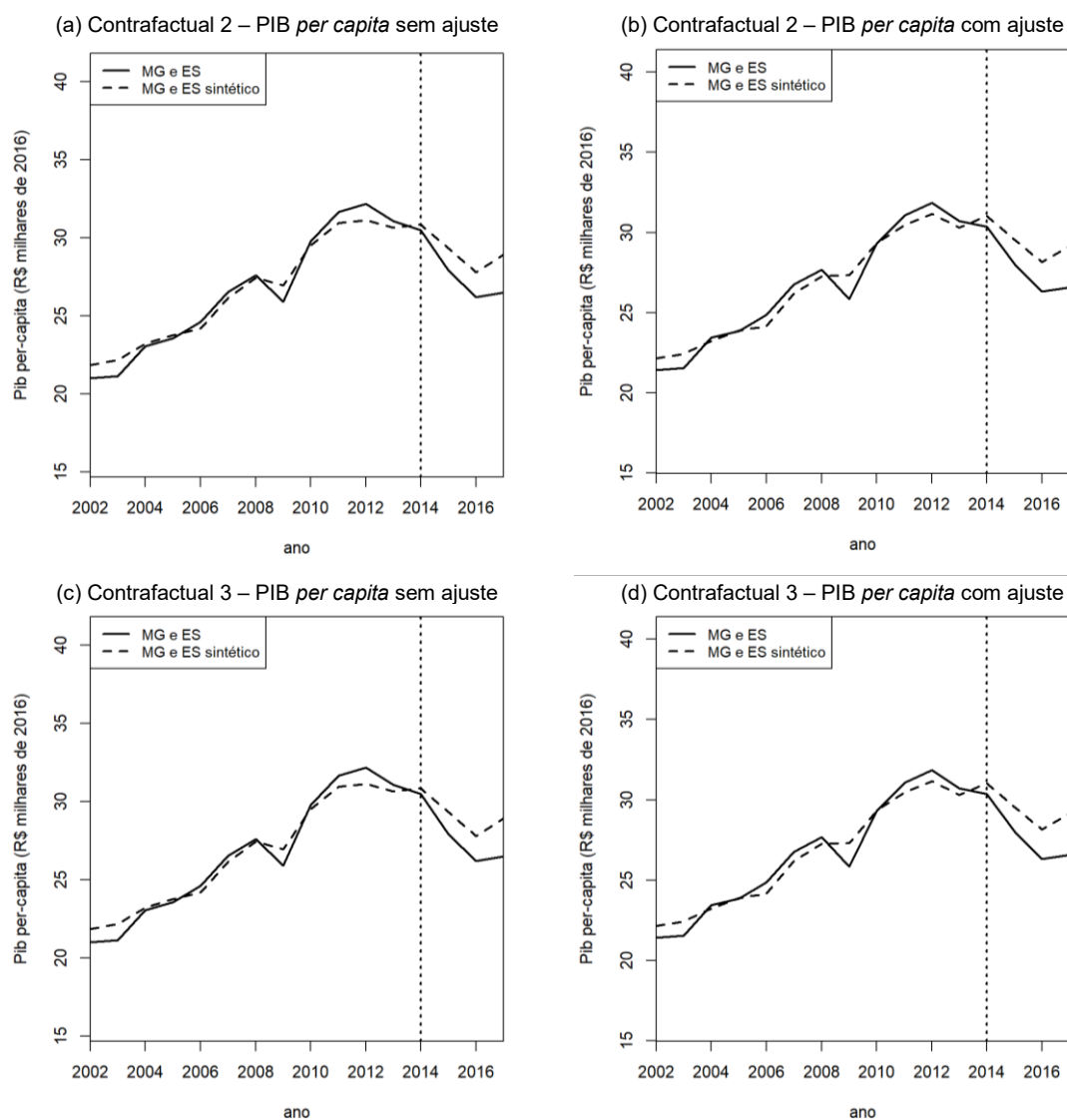
Aplicam-se dois testes de hipóteses comuns nessa literatura. O primeiro é feito através da permutação, ou seja, supõe-se que cada estado foi atingido pelo rompimento, constrói-se um estado sintético para ele e se calcula o impacto. São os chamados “placebos”. Feito isso, observa-se em qual posição ordenada está o impacto de Minas Gerais e Espírito Santo. Assim, é possível calcular o p-valor apresentado na Tabela 5. Esse exercício, entretanto, deve ser analisado com cautela, pois só há 25 placebos, visto que utilizamos MG e ES como um único estado. Assim, juntando Minas Gerais e Espírito Santo, há 26 unidades para compor a análise. Dessa forma, se o impacto desse estado estiver no extremo da distribuição, o p-valor será igual a 0,04, no mínimo. Os painéis (a) e (b) da Figura 11 e Figura 12 mostram a distribuição dos impactos dos placebos e dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo: linha vermelha, para o PIB sem e com ajuste respectivamente, do contrafactual 2.

Assim, é possível observar na Tabela 5 que o p-valor é baixo, mas não o suficiente para se rejeitar a hipótese nula de ausência de efeito em cada ano individualmente a níveis aceitáveis de significância, como 10%. Entretanto, a Figura 11 e a Figura 12 mostram que os impactos estão na cauda da distribuição, sugerindo que o impacto não é desprezível.

A segunda inferência feita sobre o tamanho do impacto testa a hipótese nula de ausência de impacto nos três anos conjuntamente e utiliza como estatística de teste a razão pré e pós-RMSE. Esse teste também tem a mesma cautela do problema anterior: baixa quantidade de estados de comparação. A Figura 13 indica a distribuição acumulada da estatística de teste. Assim, novamente, os pontos aparecem próximos aos extremos, mas não são significativos a 10% de nível de significância. Especificamente, para o contrafactual 2 sem ajuste, os p-valores são iguais a 0,15, 0,27 e 0,15 para os anos de 2015 a 2017, respectivamente. Esse teste, portanto, não rejeita a hipótese nula, mas analisando a distribuição da estatística de teste dos estados, a estatística de teste de MG e ES está próxima da cauda, dos valores extremos. Isso

sugere, ainda que de forma não estatisticamente significativa, um impacto negativo nas economias desses estados. Assim como discutido no Relatório 4 do EDT 2, inferência estatística nesse método ainda está em desenvolvimento e as metodologias atuais dependem de hipóteses e condições muito restritivas.

Figura 9 — PIB *per capita* dos estados de MG e ES e do estado sintético



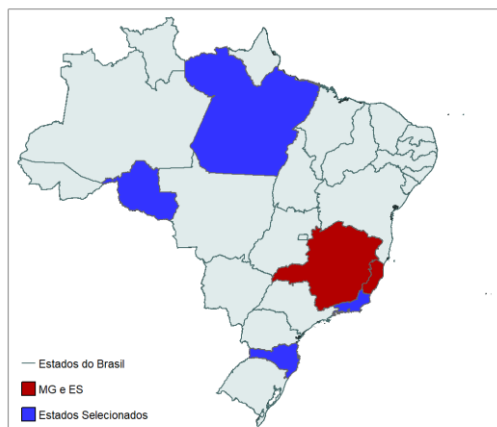
Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A fim de explorar as escolhas das unidades federativas que compõem o estado sintético em cada um dos contrafactuais, a Figura 10 apresenta geograficamente os estados selecionados para a composição do estado sintético em cada uma das estratégias contrafactuais apresentadas. Nota-se que a escolha dos estados difere com a utilização

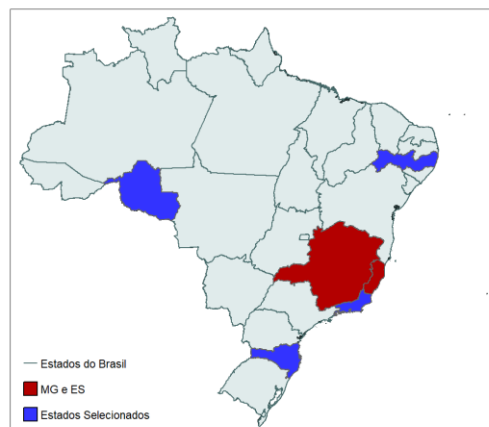
do PIB *per capita* ajustado ou sem ajuste. Aplicado ou não o ajuste, os contrafactuais 2 e 3 seleccionam os mesmos estados.

Figura 10 — Estados escolhidos nos controlos sintéticos

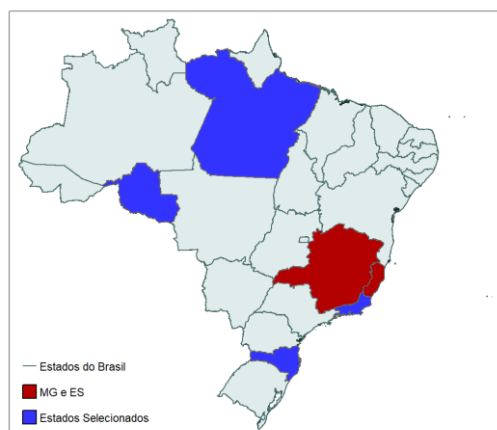
(a) Contrafactual 2 – PIB *per capita* sem ajuste



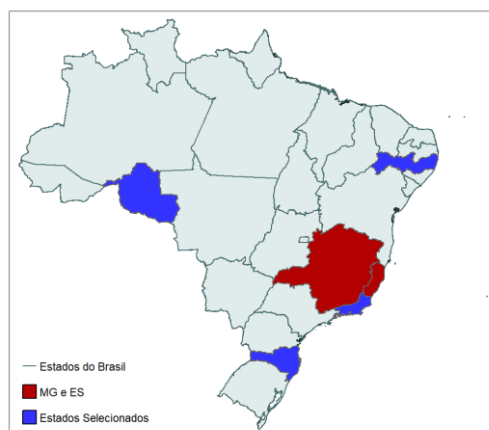
(b) Contrafactual 2 – PIB *per capita* com ajuste



(c) Contrafactual 3 – PIB *per capita* sem ajuste



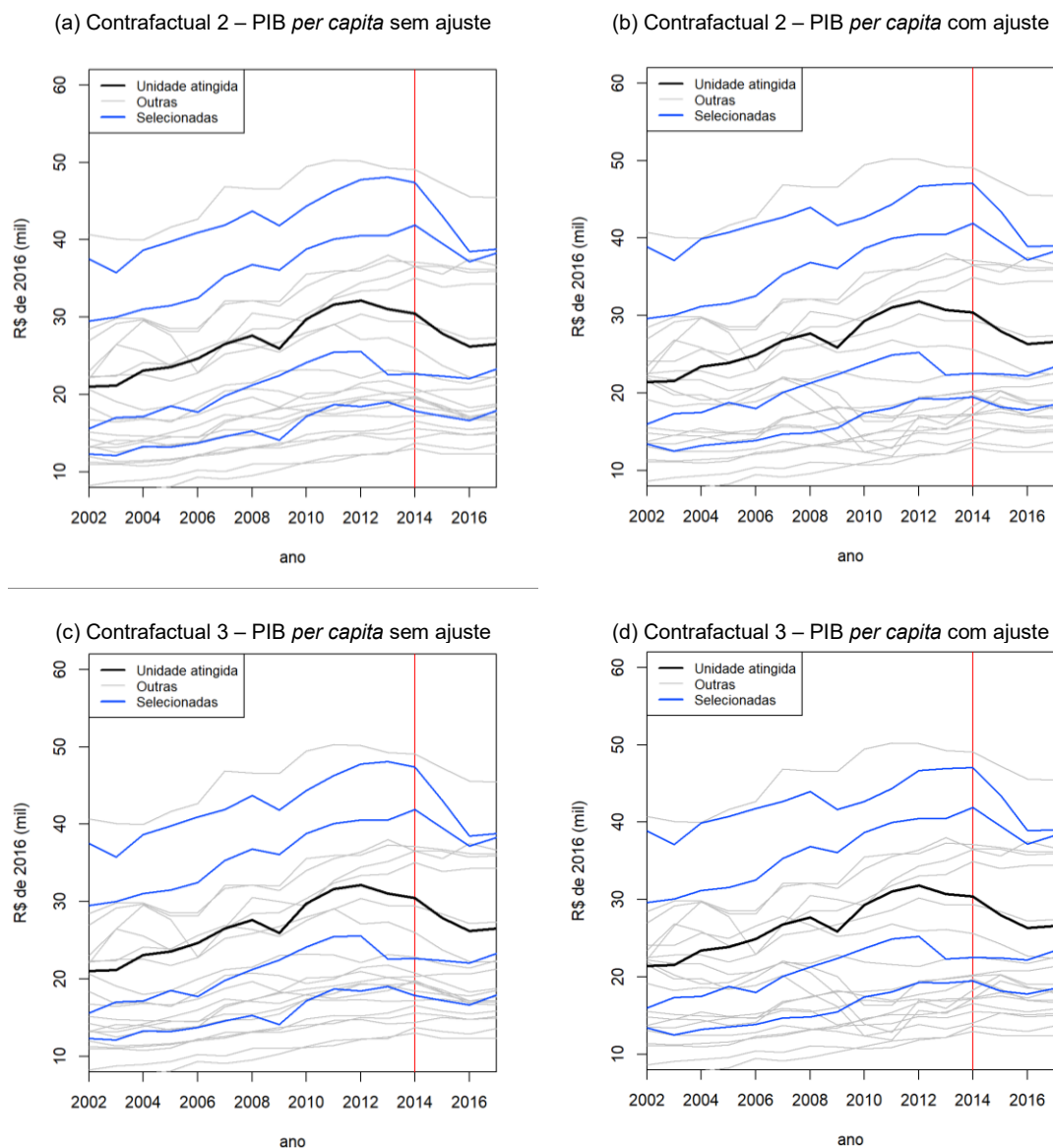
(d) Contrafactual 3 – PIB *per capita* com ajuste



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

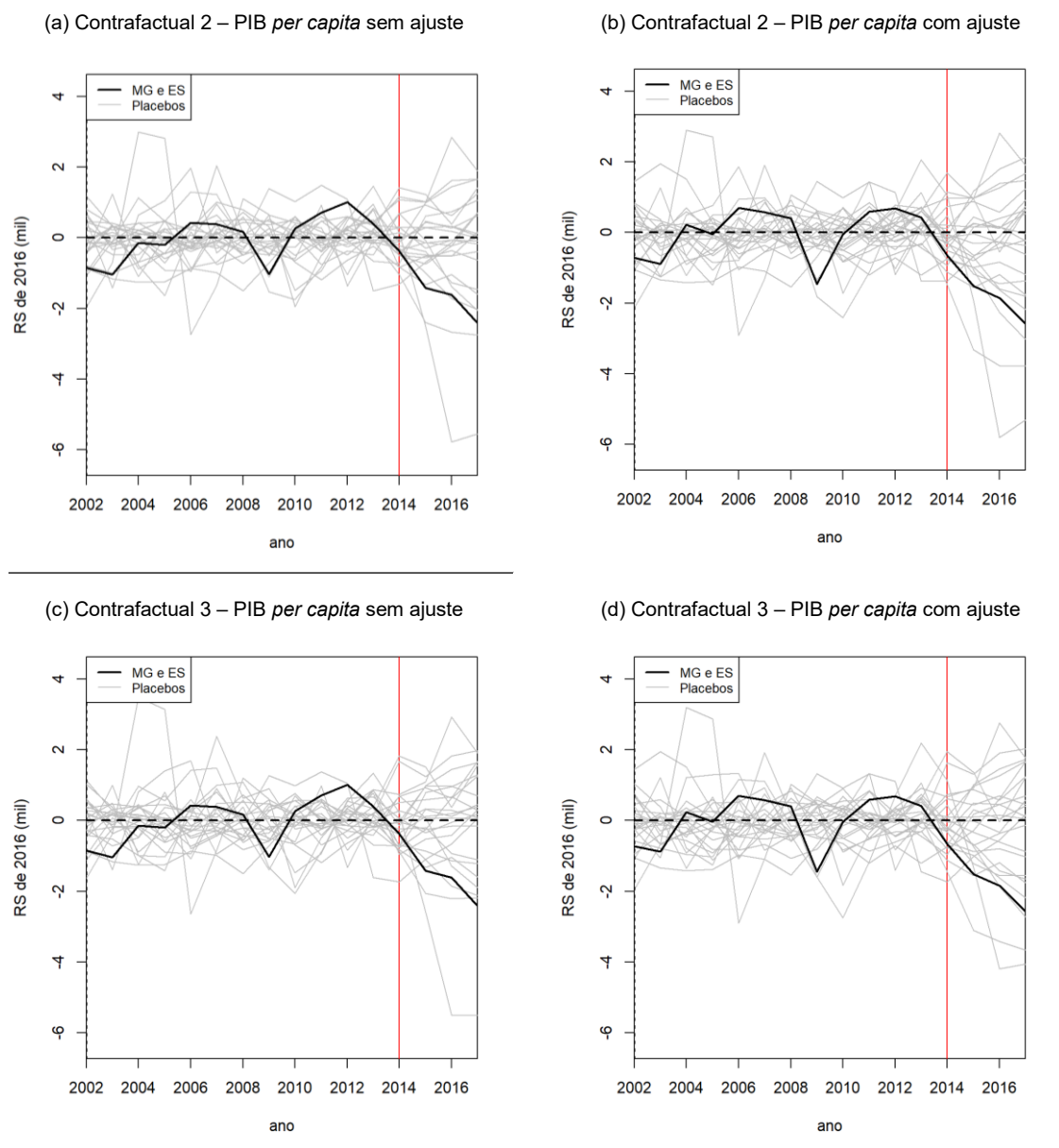
A Figura 11, por sua vez, apresenta as dinâmicas dos PIBs *per capita* de todas as unidades federativas, com enfoque para as selecionadas e a bacia do Rio Doce. Em todos os casos, foram utilizados quatro estados para formar o estado sintético; a diferença está em qual estado foi selecionado. A diferença é sutil e se localiza na última linha azul de cada gráfico. Elas representam os estados de Pará para a análise com o PIB *per capita* sem o ajuste e Pernambuco para o PIB *per capita* ajustado pelo preço do minério de ferro.

Figura 11 — PIB *per capita* dos estados selecionados nos controles sintéticos



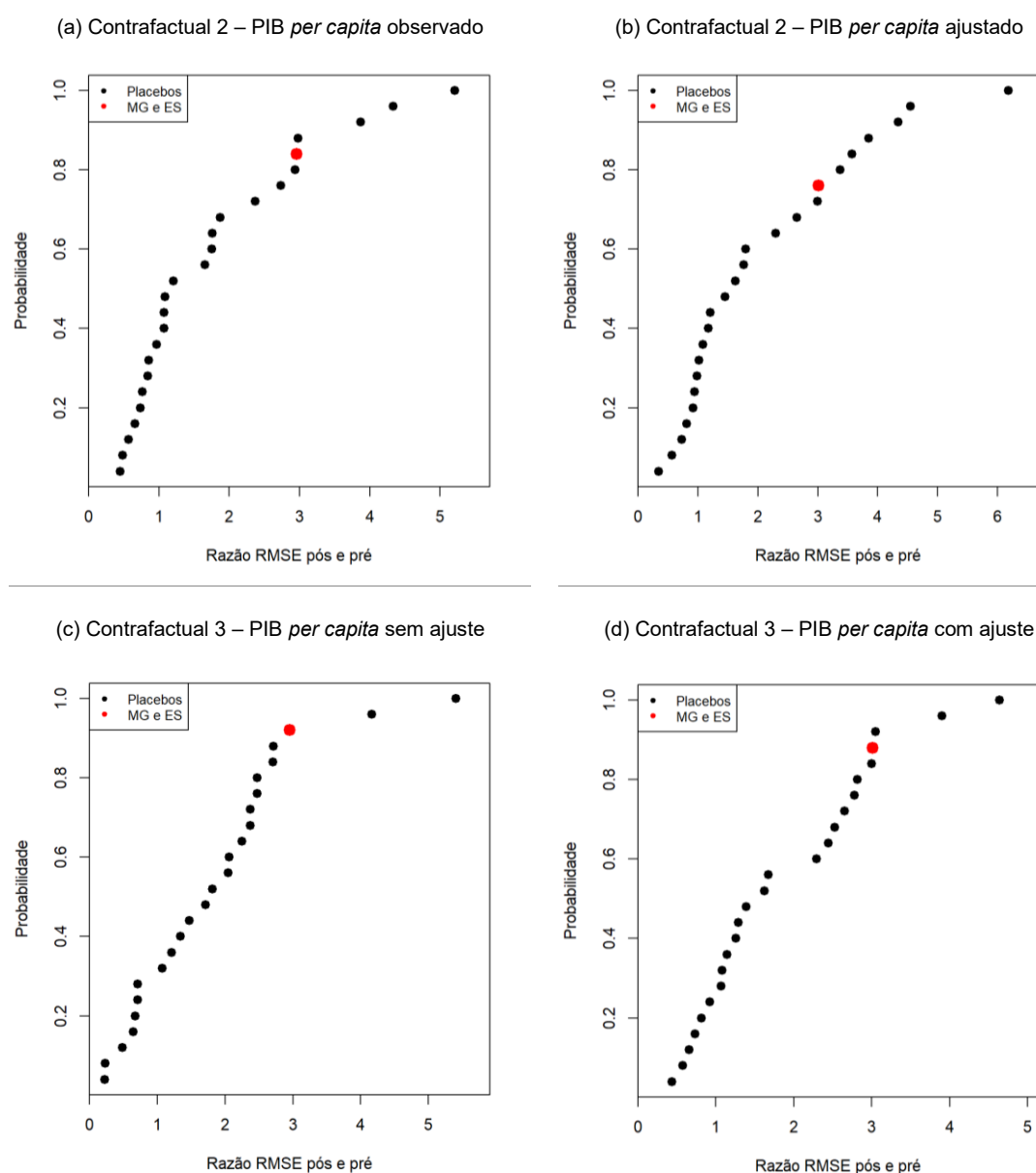
Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE

Figura 12 — MG e ES: placebos



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

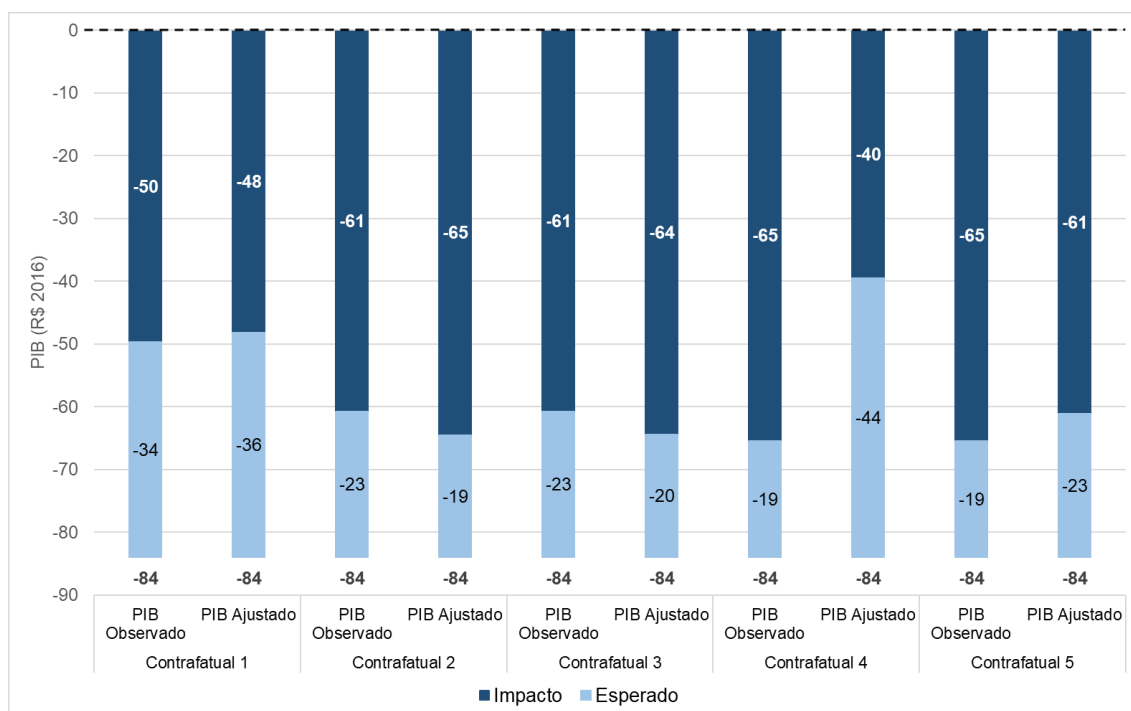
Figura 13 — Distribuição acumulada da razão pré e pós-RMSE



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

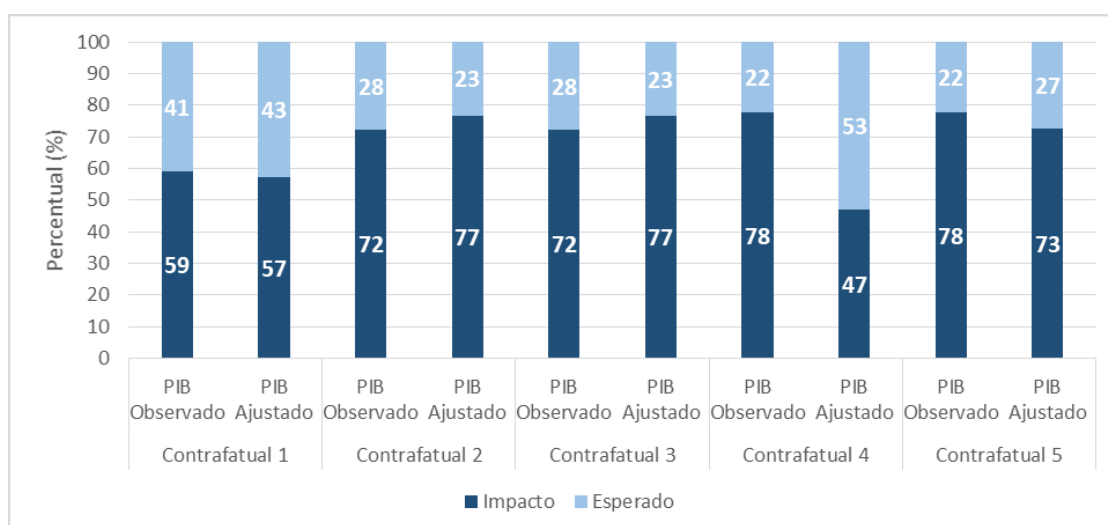
Por fim, analisando com uma perspectiva temporal, a variação do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo entre os anos de 2014 e 2017 foi de R\$ -84 bilhões, saindo de R\$ 749 bilhões para R\$ 666 bilhões. Desse valor, estima-se que o rompimento da barragem é responsável por, pelo menos, R\$ -61 bilhões, de acordo com o contrafactual 2 utilizando o PIB observado. Com o PIB ajustado, esse valor sobe para R\$ -65 bilhões. Esses valores representam entre 72% a 77% da variação total do PIB. Os valores estimados através dos outros contrafactuais para a parcela da variação do PIB entre 2014 e 2017 são apresentados na Figura 14 em valores monetários e na Figura 15, em percentuais da variação.

Figura 14 — Parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Figura 15 — Parcela da variação (%) do PIB 2014-2017 devido ao rompimento



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

4.2 Resultados para a sub-bacia do Rio Doce

Com o intuito de estimar o impacto na renda agregada em sub-regiões dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, utilizou-se a divisão regional em nível de sub-bacias hidrográficas do Brasil, como discutido na seção 3. Neste exercício a unidade

considerada atingida é constituída pelos 215 municípios pertencentes à sub-bacia do Rio Doce.

A estimação do impacto na renda agregada foi realizada com as mesmas estratégias adotadas controle sintético de Minas Gerais e Espírito Santo para os contrafactuais 2-5 apresentados na seção 2.2. Apresentam-se os valores dos impactos para a sub-bacia do Rio Doce na Tabela 7.

A partir do critério de escolha do menor RMSE pré-rompimento, utilizou-se o contrafactual 2 como o principal resultado para essa unidade geográfica. Esse será o resultado utilizado na consolidação dos impactos discutidos na subseção 4.5 de discussão dos resultados. Logo, tendo por base os resultados desse contrafactual apresentado na Tabela 7, pode-se observar que, em 2015, o impacto do rompimento da Barragem de Fundão nos municípios da bacia do Rio Doce situou-se em R\$ 6,99 bilhões a preços de 2016, o que representa 7,74% de queda, quando comparado com o resultado do PIB contrafactual. Essa análise pode ser estendida para os demais anos, 2016 e 2017, assim como para os demais cenários de estimação contrafactual. Uma análise do resultado acumulado indica que o impacto agregado (somado os três anos de acompanhamento) nos municípios da sub-bacia está entre R\$ 20,97 bilhões (contrafactual 2) e R\$ 31,13 bilhões (contrafactual 4).

Os p-valores reportados nas tabelas foram calculados de maneira análoga à apresentada na subseção 4.1 referentes aos resultados dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Supõe-se que cada sub-bacia foi atingida pelo rompimento e constrói-se uma sub-bacia sintética para ela e se calcula o impacto São os chamados placebos. Feito isso, observa-se em qual posição ordenada está o impacto da sub-bacia do Rio Doce.

Tabela 7 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB da sub-bacia do Rio Doce (R\$ bilhões de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
2015	R\$ bilhões	-6,99	-7,57	-6,68	-9,39
	% do PIB	-7,74	-8,33	-7,42	-10,13
	P-valor	0,18	0,14	0,28	0,13
2016	R\$ bilhões	-8,06	-8,41	-8,69	-11,46
	% do PIB	-9,46	-9,83	-10,12	-12,92
	P-valor	0,19	0,22	0,24	0,14
2017	R\$ bilhões	-5,92	-7,77	-15,75	-9,37
	% do PIB	-6,56	-8,45	-15,74	-10,00
	P-valor	0,31	0,24	0,10	0,19

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
Acumulado	R\$ bilhões	-20,97	-23,76	-31,13	-30,21
	% do PIB	-7,89	-8,85	-11,27	-10,99
	P-valor	0,17	0,13	0,46	0,03
RSME	Pré	0,45	0,56	2,19	0,68
	Pós	1,89	2,08	2,96	2,71

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Tabela 8, por sua vez, apresenta os resultados calculados para o PIB *per capita* sob os mesmos critérios de contrafactuais apresentados na Tabela 7. Nota-se que o impacto acumulado do rompimento resultou em uma diminuição do PIB *per capita* entre R\$ 5,61 mil (contrafactual 2) e R\$ 8,32 mil (contrafactual 4).

Tabela 8 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita da sub-bacia do Rio Doce (R\$ milhares de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
2015	R\$ mil	-1,88	-2,04	-1,80	-2,52
	% do PIB	-7,74	-8,33	-7,42	-10,13
	P-valor	0,18	0,14	0,28	0,13
2016	R\$ mil	-2,16	-2,25	-2,33	-3,07
	% do PIB	-9,46	-9,83	-10,12	-12,92
	P-valor	0,19	0,22	0,24	0,14
2017	R\$ mil	-1,58	-2,07	-4,20	-2,50
	% do PIB	-6,56	-8,45	-15,74	-10,00
	P-valor	0,31	0,24	0,10	0,19
Acumulado	R\$ mil	-5,61	-6,36	-8,32	-8,09
	% do PIB	-7,89	-8,85	-11,27	-10,99
	P-valor	0,17	0,13	0,46	0,03
RSME	Pré-rompimento	0,45	0,56	2,19	0,68
	Pós-rompimento	1,89	2,08	2,96	2,71

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A estimação da trajetória contrafactual em cada um dos cenários contrafactuais depende das escolhas das regiões que comporão a sub-bacia sintética, assim como seus respectivos pesos. A Tabela 9 apresenta as sub-bacias selecionadas em cada um dos contrafactuais. A título de exemplo, no cenário 2 foram utilizadas seis sub-bacias: (i) a sub-bacia do Amazonas, entre o lago Coari e o Rio Purus, com peso de 26,2%; (ii) a sub-bacia do Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz, com 20,2%; (iii) a sub-bacia do

Jequitinhonha,⁶ com peso de 15,6%; (iv) a de Xingu e Paru (13,7%); (v) a de São Francisco, a jusante do Pajeú, (13,6%); e (vi) a litorânea do Rio de Janeiro (10,8%).

A sub-bacia sintética, portanto, será a média ponderada dessas sub-bacias. Sob a mesma estratégia utilizada no caso dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, o cálculo do impacto é realizado a partir das séries de PIB *per capita* de cada sub-bacia, e, em sequência, utilizam-se os dados de população estimada do IBGE para a sub-bacia do Rio Doce para o cálculo do valor agregado. Utiliza-se a população do ano corrente, ou seja, supõe-se que a população da sub-bacia não foi afetada pelo rompimento de forma substancial.

Tabela 9 — Resultados dos pesos estimados em cada cenário contrafactual

Município	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
Alto Paraguai		0,1	0,1	
Amazonas, entre o Lago Coari e o Rio Purus	26,2	0,1	0,1	
Amazonas, entre o Rio Xingu e a foz			0,1	
Baixo Araguaia			0,1	
Cachoeira, São João e outros		12,9	0,1	11,5
Camaquã, Jacuí, Lagoa dos Patos e outros		0,2	0,1	
Grande		0,1	0,1	
Guamá e outros		0,1	0,1	20,2
Itajaí			0,1	
Itapicuru, Vaza Barris e outros		0,3	0,3	2,7
Jaguarão e Lagoa Mirim no Brasil e outros		0,1	0,1	
Jequiricá, Paraguaçu e outros		0,1	0,1	
Jequitinhonha	15,6	11,8		15,6
Litorâneas de Pernambuco e Alagoas		0,1		
Litorâneas de São Paulo		0,1	0,1	
Litorâneas do Ceará			26,9	19,8
Litorâneas do Espírito Santo		0,1		
Litorâneas do Rio De Janeiro	10,8	5,4		
Madeira		0,1	0,1	
Negro		0,1	9,6	
Oiapoque e outros		0,1	0,1	
Paraíba do Sul		0,2	0,1	
Paraná, Iguaçu		0,1	0,1	
Paraná, Tietê e outros		0,1		
Paraná, Verde, Peixe e outros			0,1	
Paranaíba		0,1		
Pardo, Cachoeira e outros			0,1	
Pelotas		0,1		
Piranhas, Açu e outros		46,9	20,4	
Ribeira do Iguaçu			0,1	
São Francisco, a jusante do Pajeú	13,6		0,1	
Taquari		0,1	0,1	
Tocantins, entre o Rio Araguaia e a foz	20,2	19,1	39,7	20,8
Tocantins, entre os rios do Sono e Araguaia		0,1	0,1	

⁶ A sub-bacia do Jequitinhonha contém apenas os municípios que estão fora de Minas Gerais e Espírito Santo.

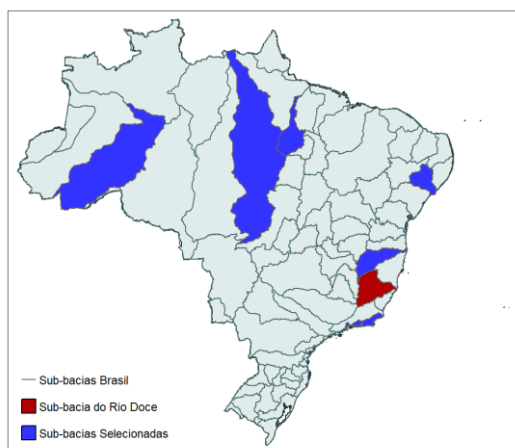
Município	Contrafactual 2	Contrafactual 3	Contrafactual 4	Contrafactual 5
Tocantins, entre os rios Paranã e do Sono			0,1	
Tocantins, entre os rios Preto e Paranã		0,4	0,1	9,3
Tubarão, Capivari e outros		0,1	0,1	
Xingu e Paru	13,7			

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

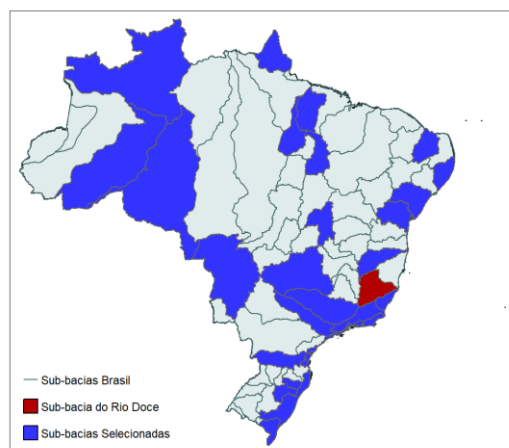
A fim de explorar as escolhas as sub-bacias que compõem o estado sintético em cada um dos contrafactuais, a Figura 16 apresenta geograficamente as sub-bacias selecionadas em cada uma das estratégias contrafactuais que foram apresentadas.

Figura 16 — Sub-bacia do Rio Doce e sub-bacias escolhidas nos controles sintéticos

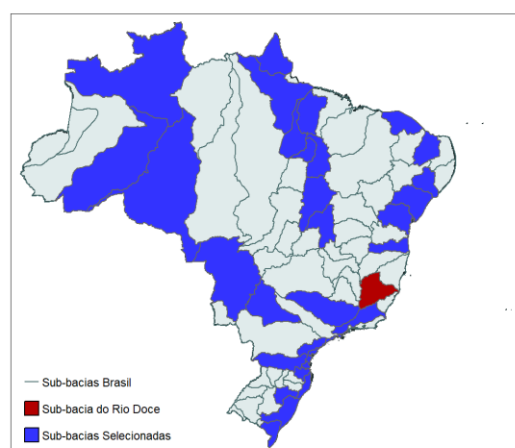
(a) Contrafactual 2



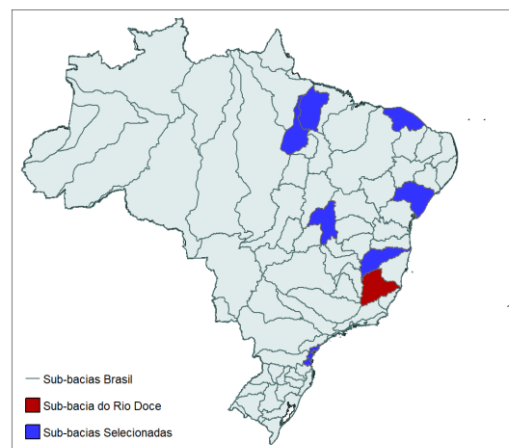
(b) Contrafactual 3



(c) Contrafactual 4



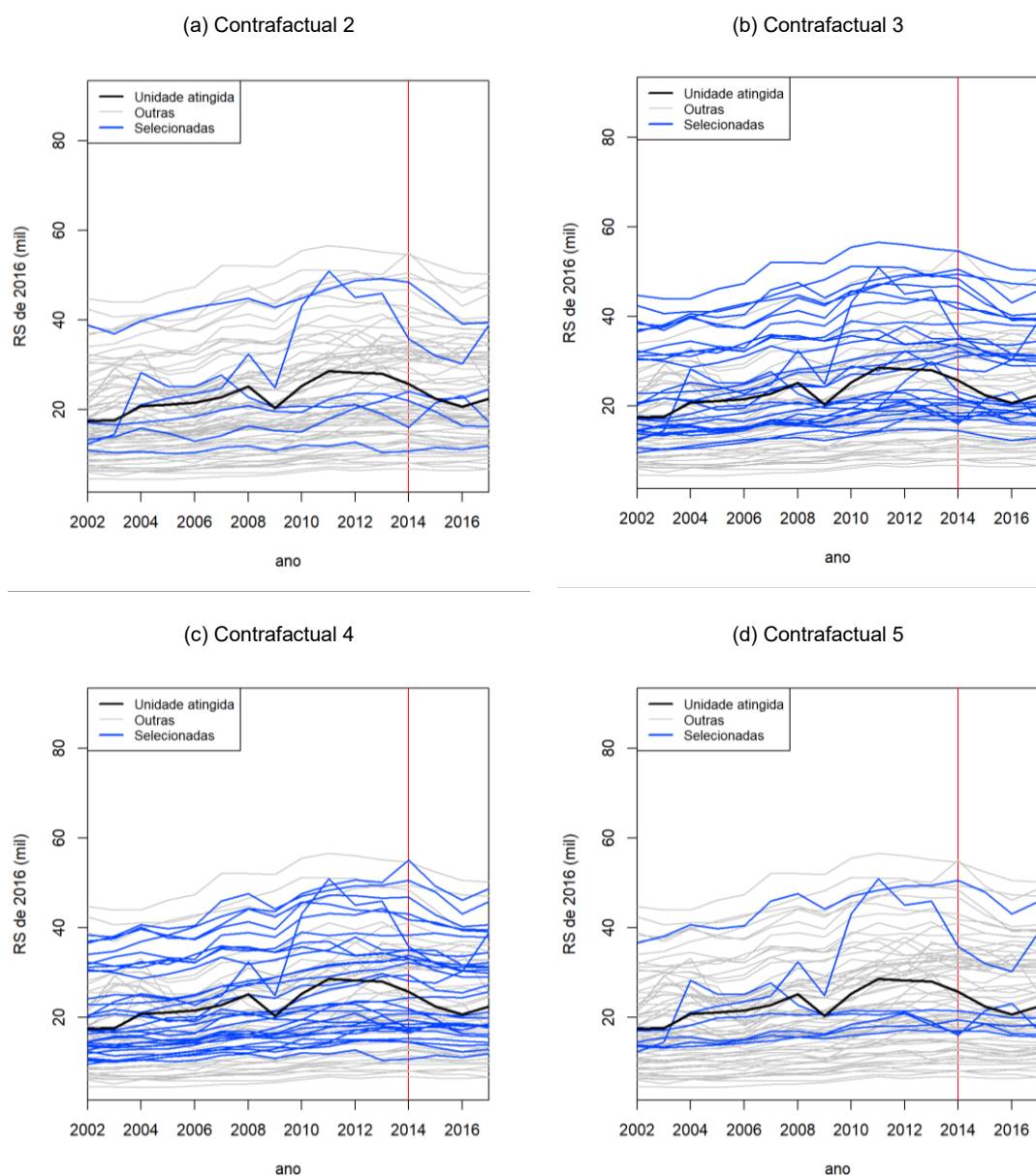
(d) Contrafactual 5



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

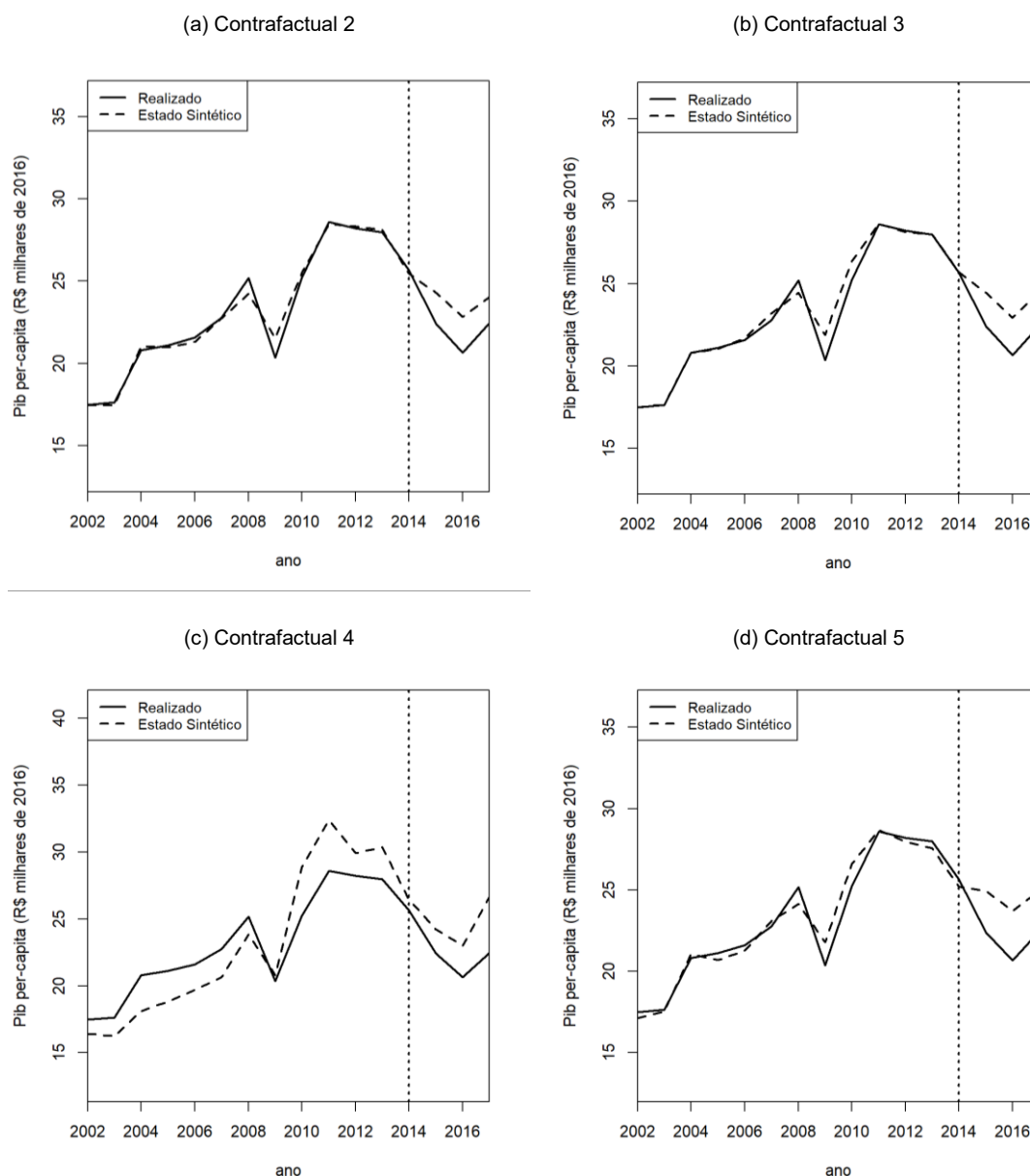
A Figura 17, por sua vez apresenta as dinâmicas dos PIBs *per capita* de todas as sub-bacias, com enfoque para as sub-bacias selecionadas e a do Rio Doce. É possível observar que os modelos contrafactuais 3 e 4 são os que utilizam conjuntos maiores de sub-bacias na construção do estado sintético. O contrafactual 2, por exemplo, utiliza seis sub-bacias para a estimação do controle sintético. Feito isso, a Figura 18 apresenta a dinâmica para as sub-bacias sintéticas construídas através de cada um dos contrafactuais estimados. Observa-se que a região sintética segue o nível e a dinâmica de forma próxima do PIB da sub-bacia, com exceção do contrafactual 4.

Figura 17 — PIB das sub-bacias selecionadas em cada controle sintético



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

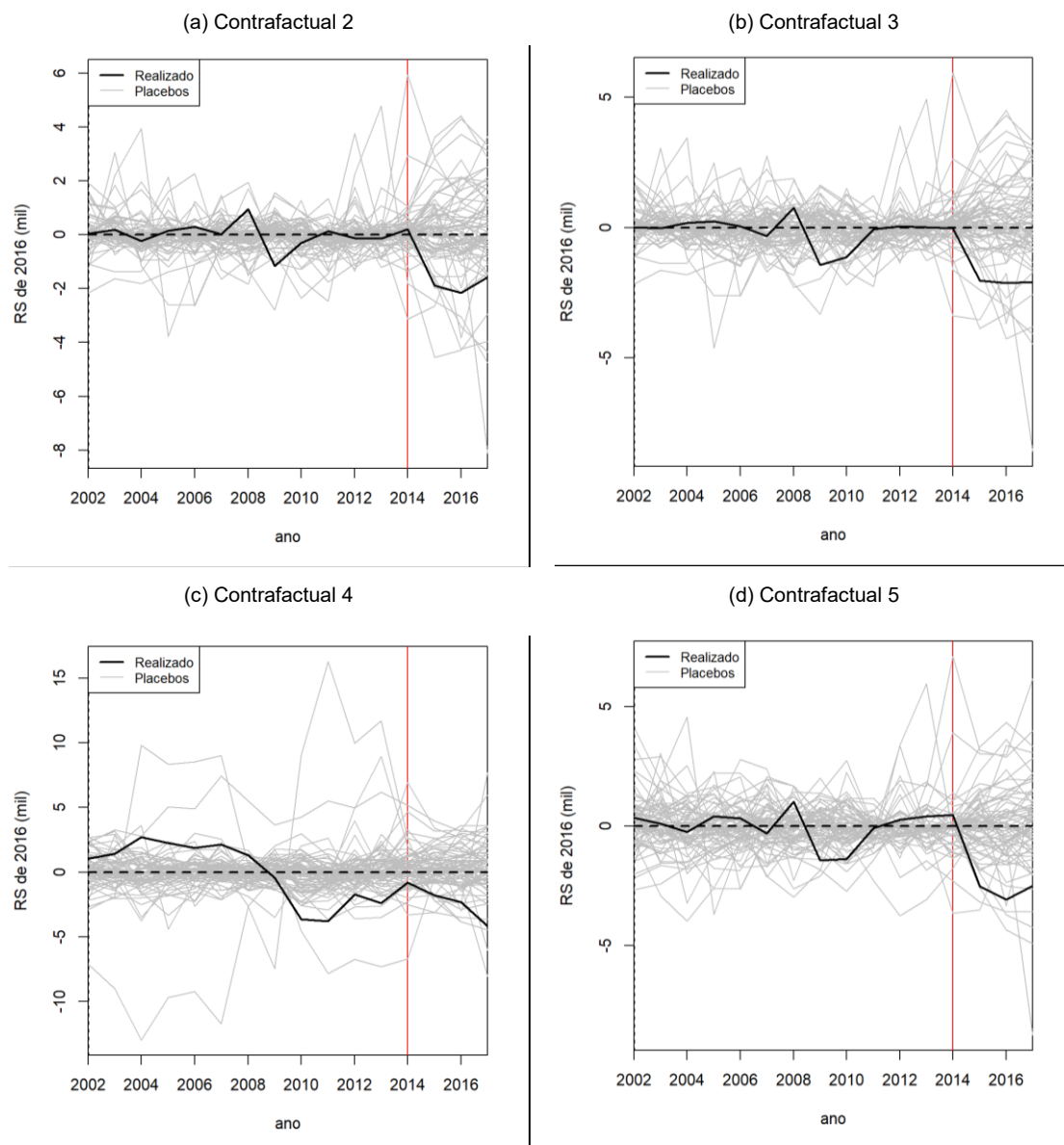
Figura 18 — PIB *per capita* da sub-bacia do Rio Doce e do estado sintético



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Figura 19 apresenta, de forma gráfica, a análise de significância estatística do impacto em cada ano através da estimação dos placebos. Observa-se que para todos os contrafactuais, o impacto na sub-bacia do Rio Doce está na cauda da distribuição, apesar de não ser um impacto estatisticamente significativo em níveis aceitáveis de significância como, por exemplo, 10%.

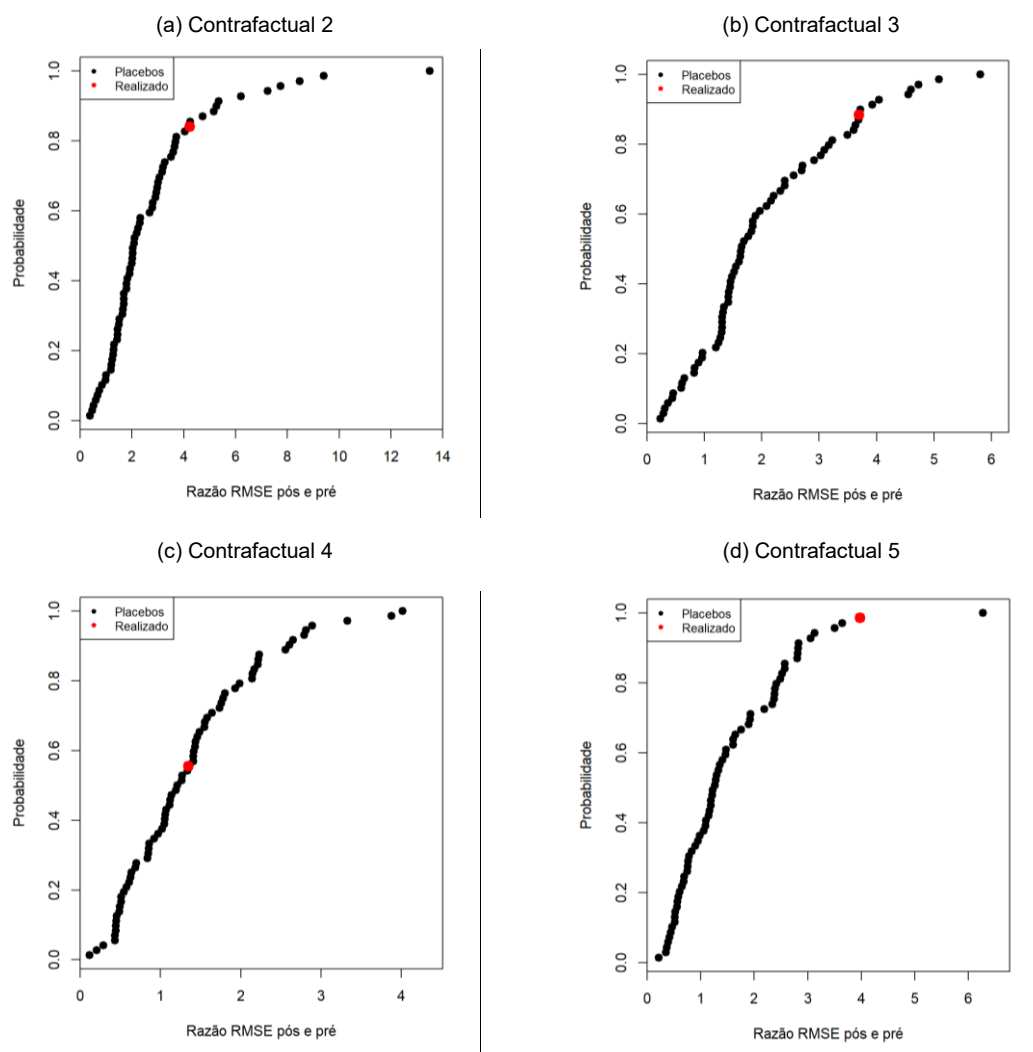
Figura 19 — Sub-bacias: placebos



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Figura 20 indica a distribuição acumulada das razões pré e pós-RMSE que é a estatística utilizada para testar a hipótese nula de que não houve impacto diferente de zero no acumulado entre os anos de 2015 e 2017. Novamente, os pontos aparecem próximo dos extremos, mas não são significativos. Especificamente, para o contrafactual 2, os p-valores são iguais a 0,18 e 0,19 e 0,31 para os anos de 2015 a 2017, respectivamente. A inferência estatística utilizando esse método não é conclusiva, mas analisando a distribuição da estatística de teste da sub-bacia do Rio Doce está próxima das caudas nos contrafactuais 2 e 3. Isso sugere, ainda que de forma fraca, um impacto negativo nas economias desses estados.

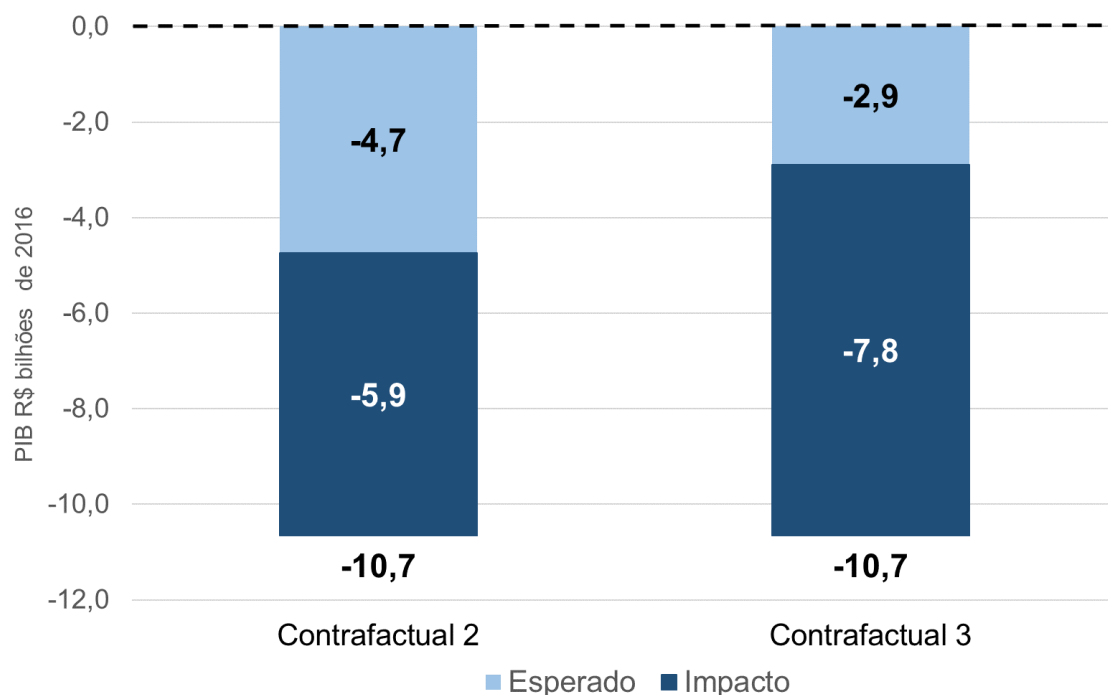
Figura 20 — Sub-bacia: distribuição acumulada da razão pré e pós-RMSE



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Pela mesma perspectiva de análise realizada para o exercício de Minas Gerais e Espírito Santo, elaborou-se a Figura 21. Na perspectiva temporal, a variação do PIB conjunto dos municípios da sub-bacia do Rio Doce entre os anos de 2014 e 2017 foi de R\$ -10,66 bilhões, saindo de R\$ 94,95 bilhões para R\$ 84,29 bilhões. Desse valor, estima-se que o rompimento da barragem está entre R\$ 5,9 bilhões (contrafactual 2) e R\$ 7,8 bilhões (contrafactual 3). Esses valores representam entre 56% e 73% da variação total do PIB. Aqui vale a ressalva de que, sob essa análise, o PIB real da região já teria uma retração entre 2014 e 2017. O que essa análise aponta é que essa diminuição estaria entre R\$ 2,9 bilhões (contrafactual 3) e R\$ 4,7 bilhões (contrafactual 2), e não uma retração de R\$ 10,7 bilhões, como foi observado.

Figura 21 — Sub-bacia: parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

4.3 Resultados para o litoral

Apresentados os resultados para a sub-bacia do Rio Doce, esta seção contém os impactos para um subgrupo de municípios diretamente afetados pelo rompimento da Barragem de Fundão que estão no litoral do Espírito Santo e se encontram fora da sub-bacia. Para simplificar, esses municípios serão chamados de municípios do litoral. São eles: Aracruz, Conceição da Barra, Fundão, São Mateus e Serra.

Os municípios do litoral diferem em diversos pontos quando comparados com os da sub-bacia do Rio Doce, a começar pelo tamanho da população, acima dos municípios da sub-bacia. A título de exemplo, a população média dos municípios da sub-bacia é de 17.208 habitantes, enquanto no caso do litoral é de 148.580 habitantes. Outra questão é o tamanho da economia: como o produto interno bruto municipal, os cinco municípios do litoral concentram 28,4% do PIB conjunto dos municípios da sub-bacia, com 215 municípios, e os do litoral.

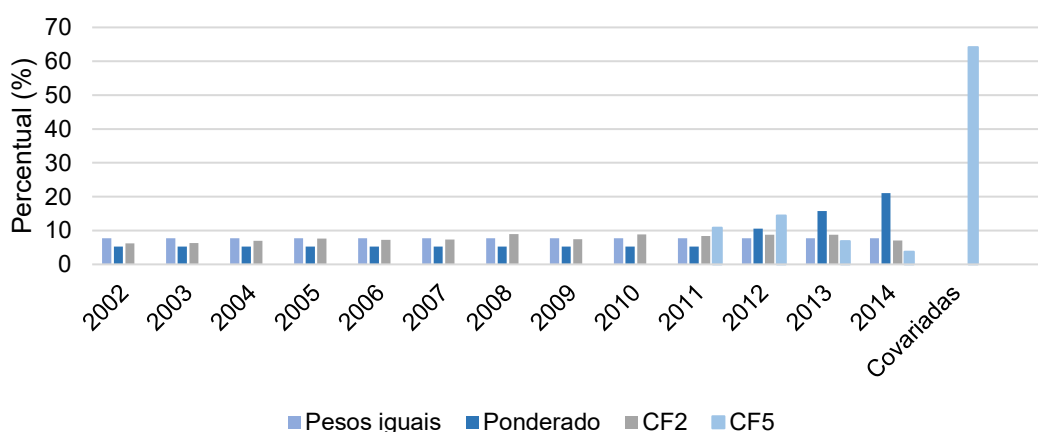
Tendo em vista a diferença na dinâmica econômica local, buscou-se uma estimativa do impacto agregado nos cinco municípios do litoral. Considerando o PIB agregado dos cinco municípios, optou-se por fazer um controle sintético a partir dos demais municípios do Brasil que não se encontram nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Dada a

possibilidade de muitos municípios para serem selecionados no controle sintético, o que pode incorrer em problemas como a alta dimensionalidade⁷ (ABADIE; L'HOUE, 2020), 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. Os detalhes desse procedimento se encontram no Apêndice C.

A partir dos municípios pré-selecionados, apresentados na Figura 1 do Apêndice C elaborou-se o controle sintético em nível de municípios, sendo os cinco municípios agregados em uma unidade de análise considerada atingida. Como critério de pré-seleção utilizaram-se as covariadas comumente empregadas nos contrafactuais apresentadas nas seções 4.1 e 4.2. Para o presente exercício, foram utilizadas apenas as estratégias do contrafactual 2, o qual utiliza todas as informações passadas do PIB *per capita*, uma variação da mesma especificação, intitulada como contrafactual 2 ponderada, na qual se atribui maior peso para os anos mais recentes pré-rompimento, e o contrafactual 5, com as informações passadas do PIB *per capita* de 2011 a 2014 e demais covariadas. As duas últimas especificações têm como intuito aproximar os valores do estado sintético construído e a série observada no ano de 2014.

A Figura 22 compara os valores dos pesos utilizados na estimação do contrafactual 2 (CF2), das sub-bacias, e no presente exercício do litoral com o contrafactual 2 ponderado (ponderado), no qual se atribui maior peso para os anos mais próximos ao rompimento e o contrafactual 5 (CF5).

Figura 22 — Pesos utilizados nos contrafactuais do litoral



Fonte: Elaboração própria (2020).

⁷ Esses problemas são a ausência de uma solução única para a construção do controle sintético e sobre-estimação com a seleção de um número excessivo de municípios para a unidade sintética.

A partir desses pesos elaborou-se a Tabela 10 com os resultados das duas especificações supracitadas de controle sintético para o caso do litoral, sendo eles: o contrafactual 2, com e sem ponderação, todos estimados de maneira análoga aos respectivos números de identificação no caso da sub-bacia do Rio Doce, mas agora em nível de município. Tendo por base o contrafactual 2, pode-se observar que, em 2015, o impacto do rompimento da Barragem de Fundão nos municípios da bacia do Rio Doce se situou em uma perda R\$ 4,96 bilhões a preços de 2016, o que representa 14,88% de queda, quando comparado com o resultado contrafactual. No mesmo ano de referência, nota-se que o contrafactual 5⁸ registrou uma perda R\$ 5,98 bilhões a preços de 2016, o que representa 17,40% de queda. Essa análise pode ser estendida para os demais anos, 2016 e 2017, assim como para cenário contrafactual 2 ponderado – litoral – com perda de R\$ 3,23 bilhões em 2015, 10,20% de queda, quando comparado com o resultado contrafactual.

Para os casos do contrafactual 2 e do contrafactual 5 do litoral, há uma diferença significativa entre a série observada e o estado sintético no ano imediatamente pré-rompimento (2014), como será apresentado na Figura 24. Por isso, optou-se por utilizar os valores encontrados no contrafactual 2 ponderado como os resultados para a análise final.

Dito isso, uma análise do resultado acumulado indica que o impacto agregado (somados os três anos de acompanhamento) nos municípios do litoral está entre R\$ 10,34 bilhões (contrafactual 2 ponderado) e R\$ 17,55 bilhões (contrafactual 5). Os pesos atribuídos a cada município na composição dos quatro estados sintéticos apresentados podem ser verificados na Tabela 12.

Os p-valores reportados nas tabelas foram calculados de maneira análoga à apresentada na subseção 4.1 e referentes aos resultados dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Supõe-se que cada unidade do controle e/ou o conjunto de municípios do litoral em questão foi atingida pelo rompimento, constrói-se uma região sintética para ela e se calcula o impacto. São os chamados placebos. Feito isso, observa-se em qual posição ordenada está o impacto os municípios do litoral.

⁸ Lembramos que os pesos dos PIBs defasados dos contrafactuais 2 e 5 foram selecionados de forma a minimizar o erro quadrático médio do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo e o estado sintético, enquanto que os pesos para o contrafactual 2 ponderado foi escolhido de forma exógena e estão apresentados na Figura 20. É importante ressaltar também que como as covariadas com informações socioeconômicas dos estados foram utilizadas para calcular a distância de Mahalanobis, o contrafactual 5 só inclui o passado do PIB de 2011 a 2014 nos exercícios apresentados nesta seção.

Tabela 10 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB dos municípios do litoral (R\$ bilhões de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 2 ponderado	Contrafactual 5
2015	R\$ bilhões	-4,96	-3,23	-5,98
	% do PIB	-14,88	-10,20	-17,40
	P-valor	0,21	0,21	0,14
2016	R\$ bilhões	-4,83	-3,27	-6,07
	% do PIB	-15,80	-11,27	-19,09
	P-valor	0,29	0,29	0,20
2017	R\$ bilhões	-5,76	-3,84	-5,49
	% do PIB	-18,24	-12,96	-17,55
	P-valor	0,32	0,32	0,27
Acumulado	R\$ bilhões	-15,55	-10,34	-17,55
	% do PIB	-16,27	-11,44	-18,00
	P-valor	0,63	0,63	0,29
RSME	Pré	2,92	3,07	3,20
	Pós	6,75	4,49	7,62

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Tabela 11, por sua vez, apresenta os resultados calculados para o PIB *per capita* sob os mesmos critérios de contrafactuais apresentados na Tabela 10 e na Tabela 7. No tocante ao acumulado, mantendo a análise nos contrafactuais 2, com e sem ponderação, nota-se que o impacto do rompimento resultou em uma diminuição do PIB *per capita* entre R\$ 13,44 mil (contrafactual 2 ponderado) e R\$ 22,84 mil (contrafactual 5) entre 2015 e 2017.

Tabela 11 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita nos municípios do litoral (R\$ milhares de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 2 ponderado	Contrafactual 5
2015	R\$ mil	-6,56	-4,27	-7,91
	% do PIB	-14,88	-10,20	-17,40
	P-valor	0,21	0,21	0,14
2016	R\$ mil	-6,28	-4,25	-7,90
	% do PIB	-15,80	-11,27	-19,09
	P-valor	0,29	0,29	0,20
2017	R\$ mil	-7,37	-4,91	-7,03
	% do PIB	-18,24	-12,96	-17,55
	P-valor	0,32	0,32	0,27
Acumulado	R\$ mil	-20,21	-13,44	-22,84
	% do PIB	-16,27	-11,44	-18,00
	P-valor	0,63	0,63	0,29
RSME	Pré-rompimento	2,92	3,07	3,20
	Pós-rompimento	6,75	4,49	7,62

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Tabela 12 indica os municípios selecionados em cada um dos contrafactuais entre o conjunto de potenciais municípios apresentados na Figura 1 do Apêndice C. O primeiro ponto a se constatar é a pluralidade regional dos municípios escolhidos, com as regiões Norte (Barcarena-PA e Marabá-PA), Nordeste (Itapetinga-BA e Macaíba-RN), Sudeste (Taubaté-SP e Macaé-RJ) e no Sul (Jaraguá do Sul-SC). Todos os municípios são selecionados em ambos os contrafactuais e a diferença está no peso atribuído em cada caso. Seguindo a mesma estratégia utilizada no caso dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, o cálculo do impacto é realizado a partir das séries de PIBs *per capita* de cada município e, em sequência, utilizando-se os dados de população estimada do IBGE para os municípios do litoral para o cálculo do valor agregado. Novamente, utiliza-se a população do ano corrente nesse cômputo.

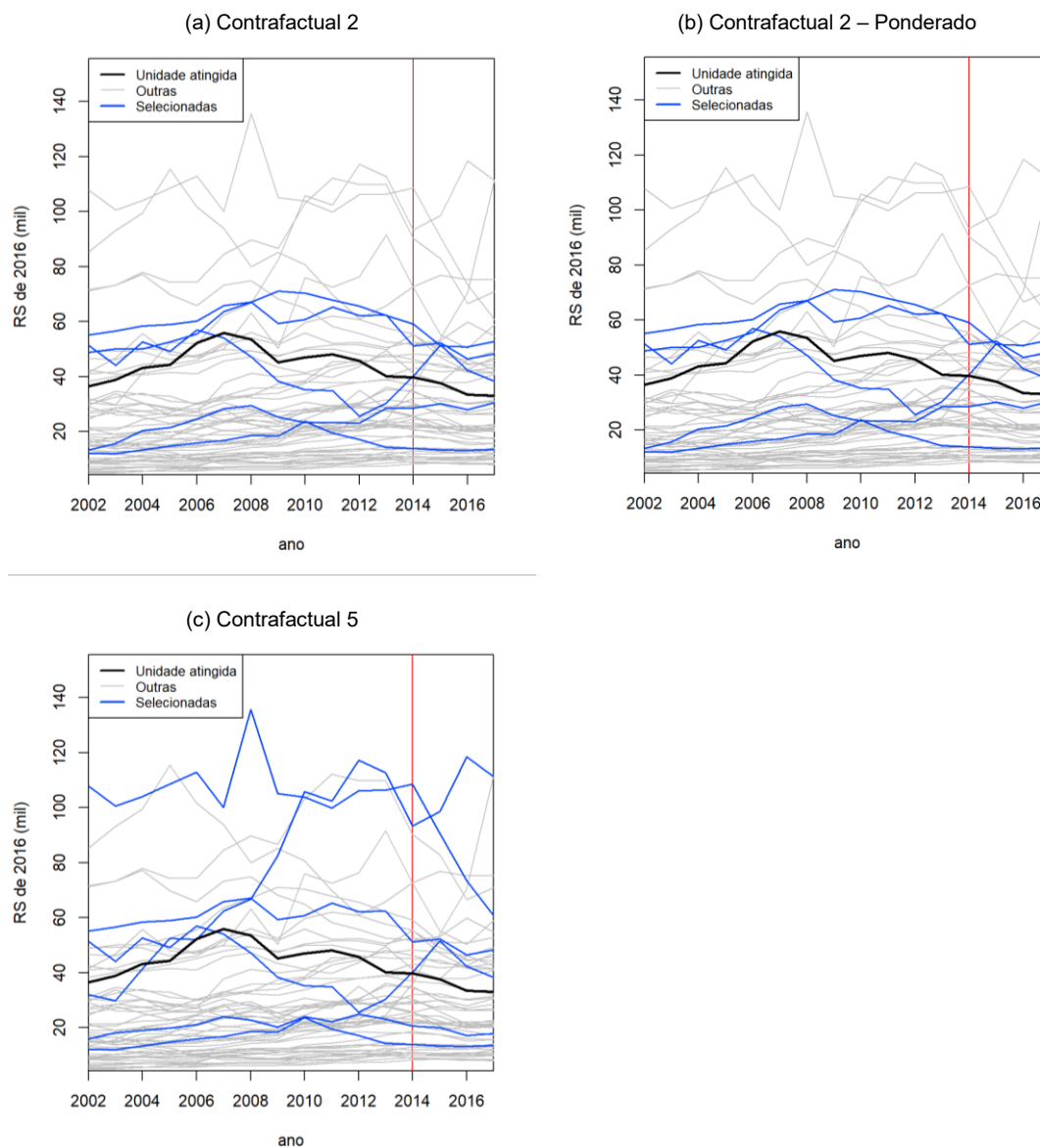
Tabela 12 — Resultados dos pesos estimados em cada cenário contrafactual

Composição do estado sintético – Pesos (%)			
Município	Contrafactual 2	Contrafactual 2 ponderado	Contrafactual 5
Barcarena (PA)	21,3	21,9	29,4
Ipojuca (PE)			6,2
Itapetinga (BA)	8,9	25,3	24,8
Jaraguá do Sul (SC)	32,9	33,7	32,6
Macaé (RJ)			3,4
Macaíba (RN)			3,4
Marabá (PA)	19,5	0,9	
Taubaté (SP)	17,3	18,1	

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

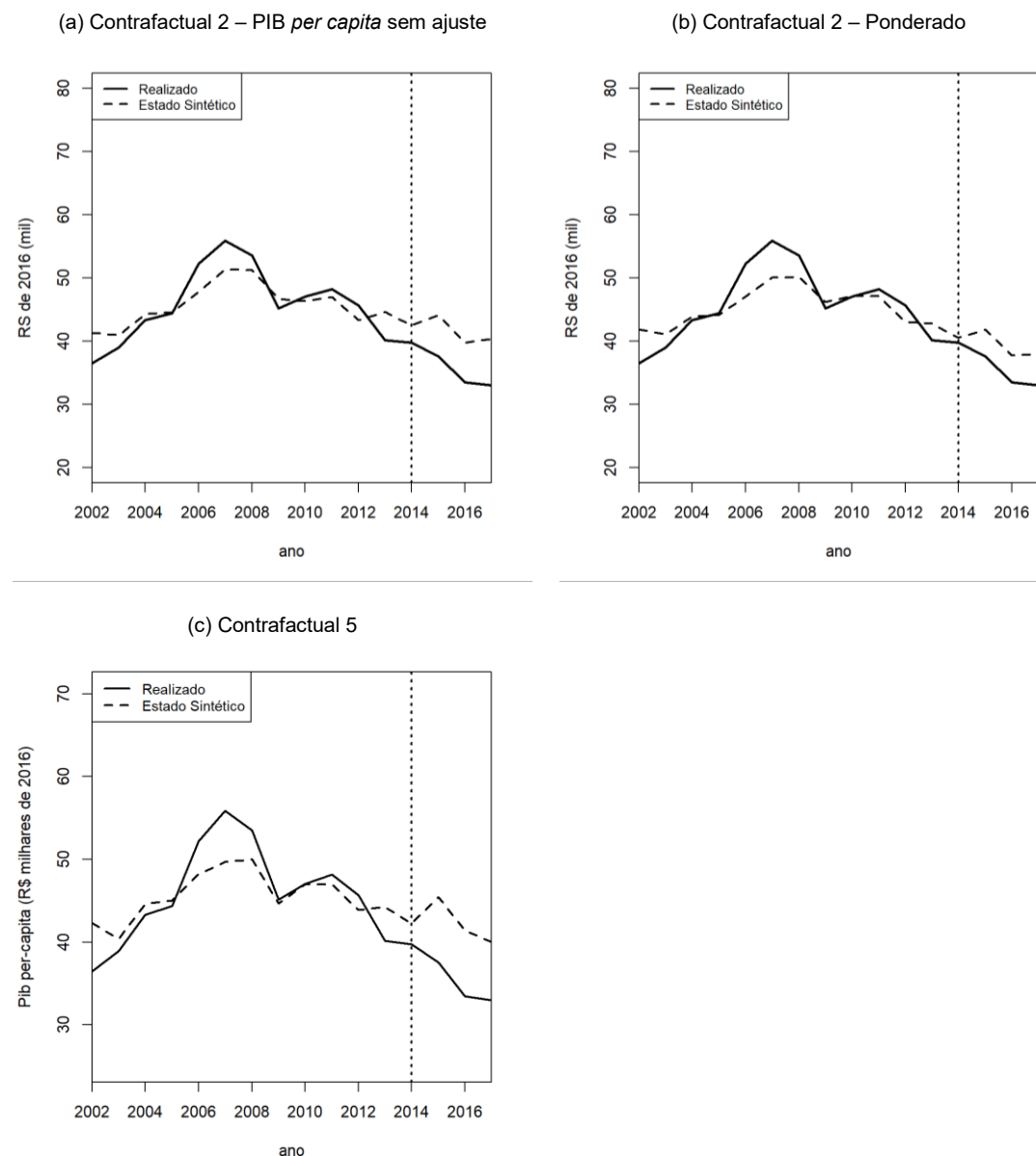
A Figura 23 apresenta as dinâmicas dos PIBs *per capita* de todos os municípios do potencial controle, com enfoque para os de cor azul, que correspondem aos selecionados na composição do estado sintético em cada caso, e para a linha preta, representando o PIB *per capita* agregado dos municípios do litoral. Feito isso, é possível computar a dinâmica do estado sintético em cada um dos casos, como mostra a Figura 24.

Figura 23 — Litoral: PIB *per capita* dos municípios em cada controle sintético



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Figura 24 — PIB *per capita* do litoral atingido e do estado sintético

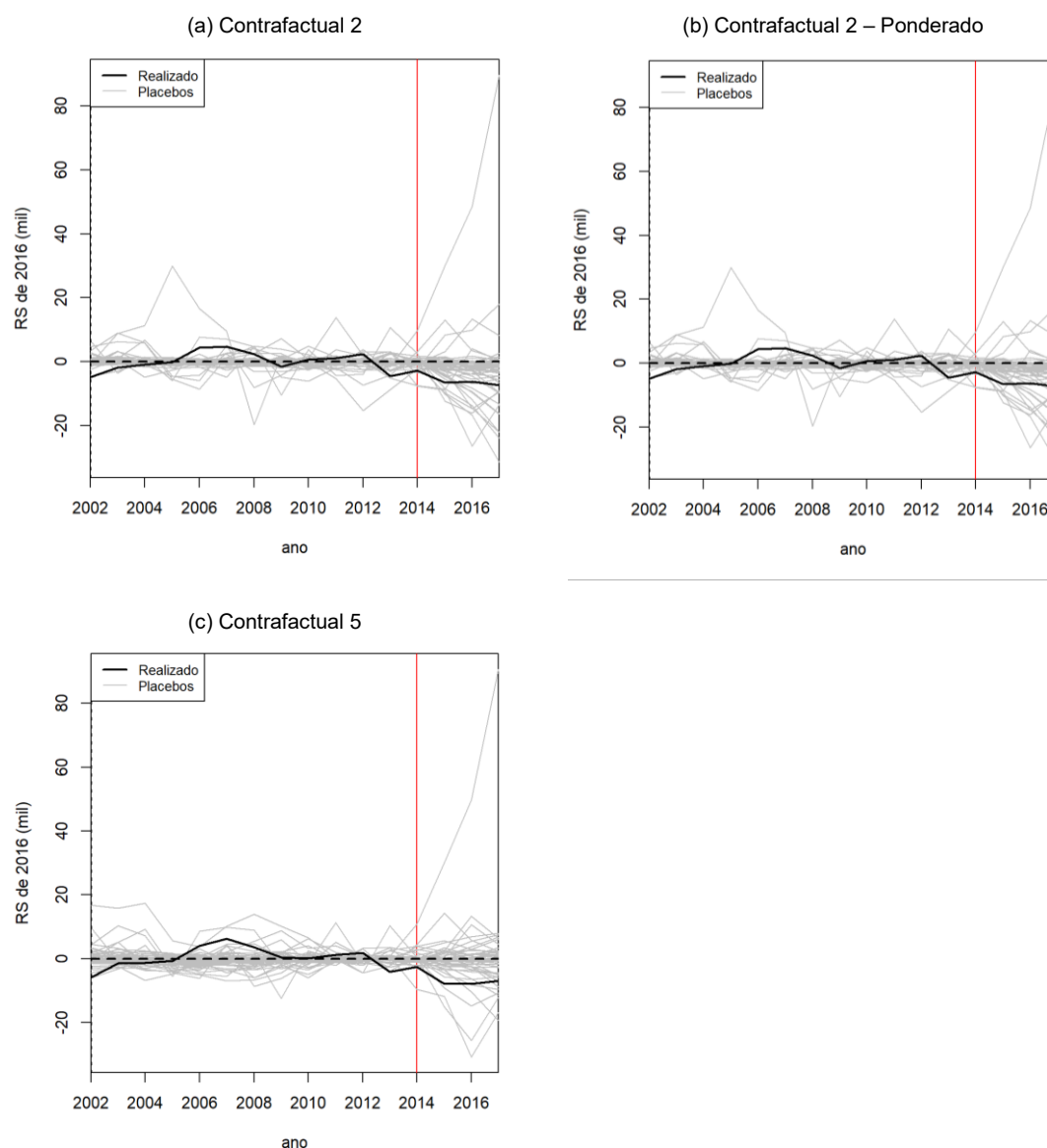


Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Figura 25 apresenta a análise dos placebos para o impacto em cada ano nos municípios do litoral. Testa-se a hipótese de que o impacto foi significativo em cada ano separadamente. Os resultados são semelhantes aos encontrados para outras regiões. O teste não é significativo, mas seus valores se encontram próximos à cauda das distribuições. O teste conjunto dos efeitos acumulados é apresentado na

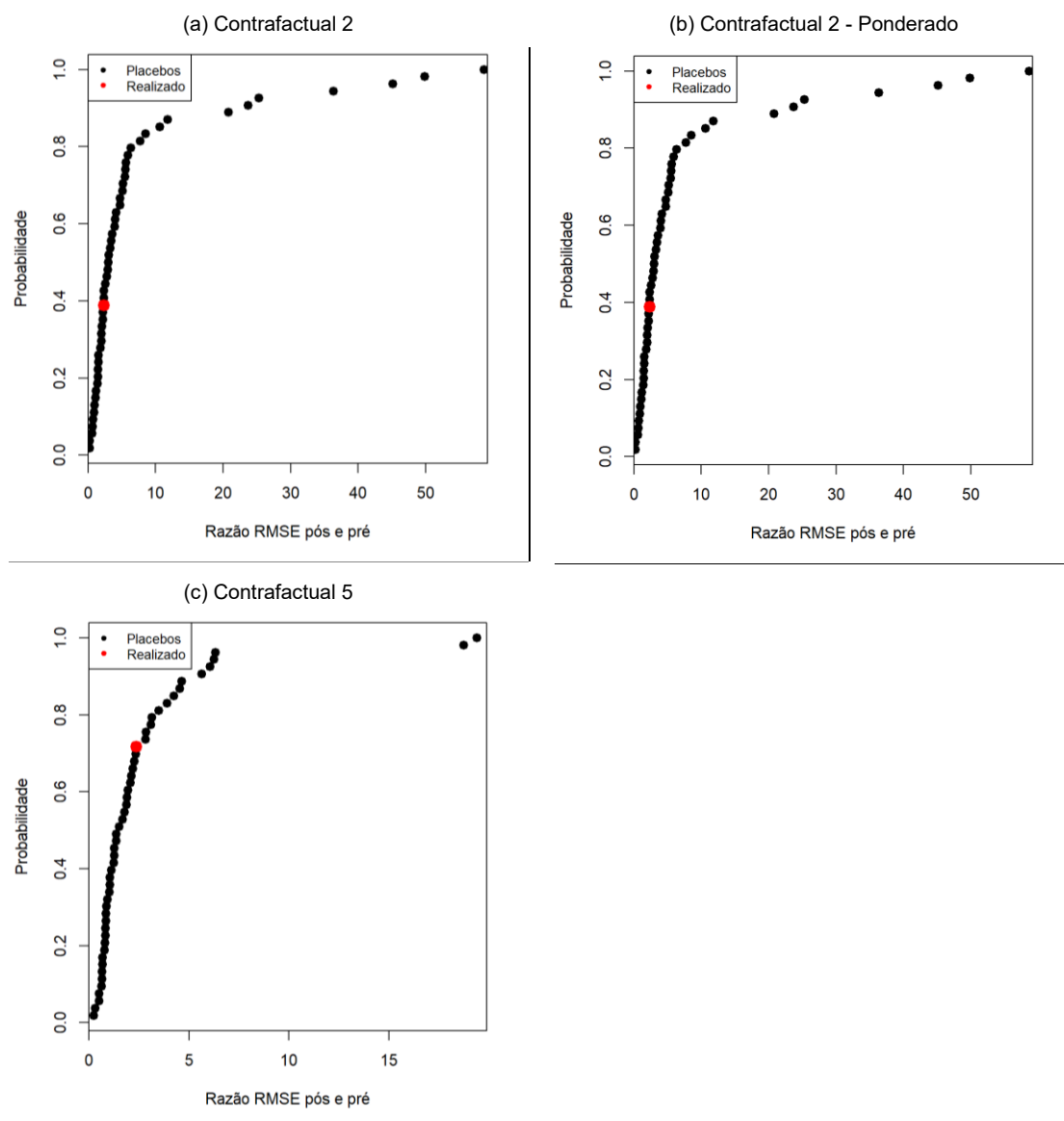
Figura 26. Esse teste indica a não rejeição da hipótese nula de ausência de efeito acumulado, já que a estatística de teste, o ponto em vermelho se encontra mais próximo do meio da distribuição de probabilidade acumulada. Novamente, ressalta-se que esse teste de hipótese deve ser analisado com cautela, devido ao número de placebos disponíveis.

Figura 25 — Litoral: placebos



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

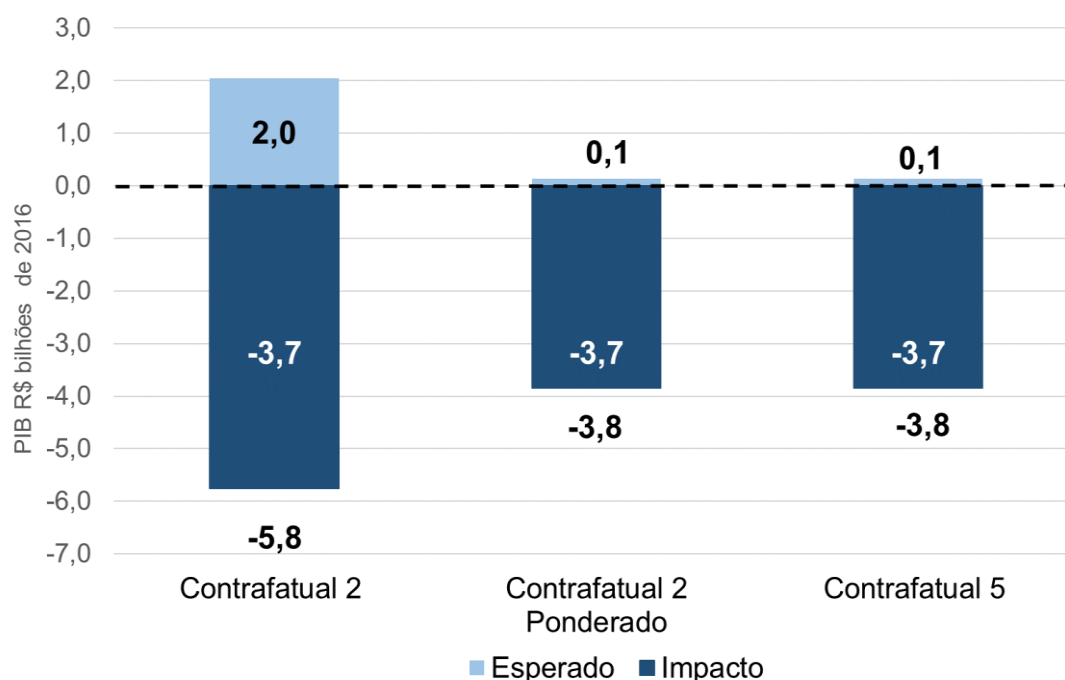
Figura 26 — Litoral: distribuição acumulada da razão pré/pós-RMSE



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Sob a mesma perspectiva de análise realizada para o exercício de Minas Gerais e Espírito Santo, elaborou-se a Figura 27. Na análise temporal, a variação do PIB conjunto dos municípios do litoral capixaba entre os anos de 2014 e 2017 foi de R\$ -3,71 bilhões, saindo de R\$ 29,51 bilhões para R\$ 25,80 bilhões. De acordo com os contrafactuais estimados, esperava-se que a economia da região registrasse um aumento real do PIB na comparação entre 2017 e 2014 entre R\$ 0,1 bilhão (contrafactual 2 ponderado e contrafactual 5) e R\$ 2,0 bilhões (contrafactual 2). Desse modo, o impacto na renda agregada devido ao o rompimento da barragem está entre R\$ 3,8 bilhões (contrafactual 2 ponderado e contrafactual 5) e R\$ 5,8 bilhões (contrafactual 2).

Figura 27 — Litoral: parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento



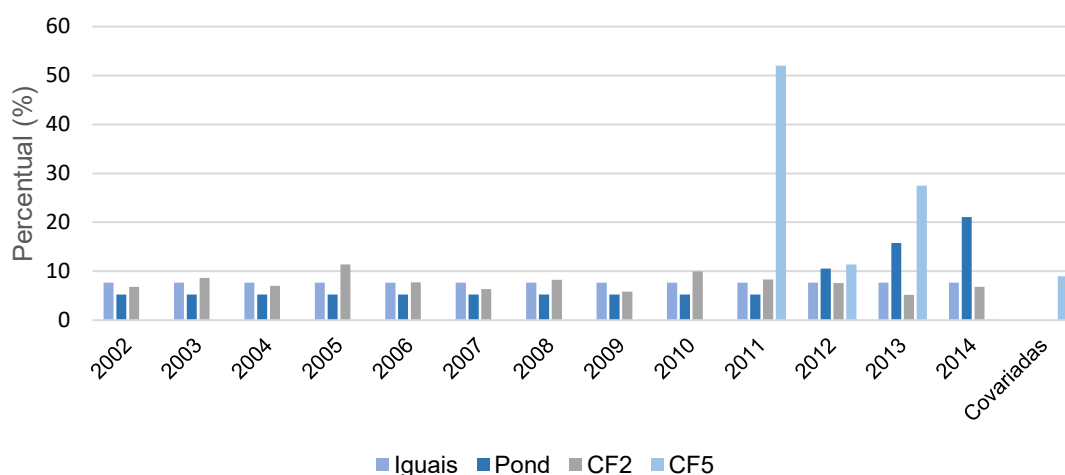
4.4 Resultados para Anchieta (ES)

Além dos resultados das unidades federativas de Minas Gerais e Espírito Santo, os da sub-bacia do Rio Doce e dos municípios do litoral que estão entre os 45 municípios considerados atingidos, esta seção apresenta o impacto na renda agregada no município litorâneo de Anchieta (ES), marcado pela importância econômica da pelotização dos minérios de ferro da Mineradora Samarco assim como pelo escoamento do produto no porto Samarco. Esta seção apresenta um controle sintético especificamente para esse município, que possui uma dinâmica diferente das demais localidades analisadas até aqui.

Assim como no caso dos municípios do litoral, seção 4.3, utilizou-se neste exercício a pré-seleção dos potenciais controles a partir do critério da distância de Mahalanobis, que pode ser verificada em detalhes no apêndice C. Nesse caso, utilizou-se um conjunto de 55 municípios como potenciais controles e estimou-se novamente os contrafactuais 2, 2 ponderado e contrafactual 5, mas agora com o município de Anchieta como unidade tratada. É importante ressaltar que os municípios incluídos como potenciais controles neste exercício não são os mesmos utilizados no caso do litoral, pois a seleção pela distância de Mahalanobis foi feita com base apenas no município de Anchieta.

A Tabela 13 contém os resultados das duas especificações de controle sintético para o caso de Anchieta: o contrafactual 2, o contrafactual 2 ponderado e o contrafactual 5, tal como no caso do litoral. É importante destacar que os pesos dos PIBs defasados dos contrafactuais 2 e 5 foram selecionados de forma a minimizar o erro quadrático médio do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo e o estado sintético, enquanto que os pesos para o contrafactual 2 ponderado foi escolhido de forma exógena e estão apresentados na Figura 28. Ressalta-se também que como as covariadas com informações socioeconômicas dos estados foram utilizadas para calcular a distância de Mahalanobis, o contrafactual 5 só inclui o passado do PIB de 2011 a 2014 nos exercícios apresentados nesta seção.

Figura 28 — Pesos utilizados nos contrafactuais de Anchieta



Fonte: Elaboração própria (2020).

Tendo por base o contrafactual 2, pode-se observar que, em 2015, o impacto do rompimento da Barragem de Fundão em Anchieta (ES) situou-se em R\$ 2,39 bilhões a preços de 2016, o que representa 44,87% de queda quando comparado com o resultado contrafactual. Essa análise pode ser estendida para os demais anos, 2016 e 2017, assim como para o contrafactual 2 ponderado e contrafactual 5.

Sob o mesmo critério de escolha do caso dos municípios do litoral, ou seja, melhor ajustamento para anos próximos e anteriores ao rompimento, destaca-se que os resultados para o caso de Anchieta correspondem ao contrafactual 2 ponderado. O resultado acumulado nos três anos de ocorrência após o rompimento indica que o impacto acumulado (somado os três anos de acompanhamento) no município de Anchieta (ES) está entre R\$ 4,95 bilhões (contrafactual 2 ponderado) e R\$ 7,98 bilhões (contrafactual 2). Os pesos atribuídos a cada município na composição dos quatro

estados sintéticos apresentados podem ser verificados na Tabela 15. Os p-valores reportados nas tabelas foram calculados de maneira análoga à apresentada na subseção 4.1 referentes aos resultados dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Tabela 13 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB no município de Anchieta (ES) (R\$ bilhões de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 2 ponderado	Contrafactual 5
2015	R\$ bilhões	-2,39	-1,42	-1,65
	% do PIB	-44,87	-32,66	-36,00
	P-valor	0,09	0,09	0,11
2016	R\$ bilhões	-2,56	-1,56	-1,62
	% do PIB	-78,22	-68,67	-69,45
	P-valor	0,07	0,07	0,07
2017	R\$ bilhões	-3,03	-1,97	-2,03
	% do PIB	-79,58	-71,66	-72,34
	P-valor	0,07	0,07	0,09
Acumulado	R\$ bilhões	-7,98	-4,95	-5,31
	% do PIB	-64,12	-52,57	-54,30
	P-valor	0,45	0,45	0,29
RSME	Pré	29,02	31,50	30,47
	Pós	95,00	59,16	63,21

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Tabela 14, por sua vez, apresenta os resultados calculados para o PIB *per capita* sob os mesmos critérios de contrafactuais apresentados na Tabela 13. No tocante ao acumulado, mantendo a análise no contrafactual 2, contrafactual 2 ponderado, e contrafactual 5, nota-se que o impacto do rompimento resultou em uma diminuição do PIB *per capita* entre R\$ 176,09 mil (contrafactual 2 ponderado) e R\$ 283,89 mil (contrafactual 2) entre 2015 e 2017.

Tabela 14 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB per capita no município de Anchieta (ES) (R\$ milhares de 2016)

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 2 ponderado	Contrafactual 5
2015	R\$ mil	-86,47	-51,53	-59,78
	% do PIB	-44,87	-32,66	-36,00
	P-valor	0,09	0,09	0,11
2016	R\$ mil	-91,23	-55,66	-57,74
	% do PIB	-78,22	-68,67	-69,45
	P-valor	0,07	0,07	0,07
2017	R\$ mil	-106,19	-68,90	-71,28

Ano	Estatística	Contrafactual 2	Contrafactual 2 ponderado	Contrafactual 5
	% do PIB	-79,58	-71,66	-72,34
	P-valor	0,07	0,07	0,09
Acumulado	R\$ mil	-283,89	-176,09	-188,80
	% do PIB	-64,12	-52,57	-54,30
	P-valor	0,45	0,45	0,29
RSME	Pré	29,02	31,50	30,47
	Pós	95,00	59,16	63,21

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Tabela 15 indica os municípios selecionados nos dois contrafactuais apresentados entre o conjunto de potenciais municípios apresentados na Figura 1 (b) do apêndice C. Pode-se constatar que os municípios selecionados em ambos os contrafactuais são os mesmos, exceto o município Casimiro de Abreu (RJ) que é selecionado apenas no contrafactual 2 e Triunfo (RS) que não é selecionado no contrafactual 5. Em cada caso, o estado sintético será a média ponderada desses estados. Sob a mesma estratégia utilizada no caso dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, o cálculo dos impactos é realizado a partir das séries de PIBs *per capita* de cada município, e em sequência, utiliza-se os dados de população estimada do IBGE para Anchieta-ES para o cálculo do valor agregado. Novamente, utiliza-se a população do ano corrente esse cômputo.

Tabela 15 — Resultados dos pesos estimados em cada cenário contrafactual

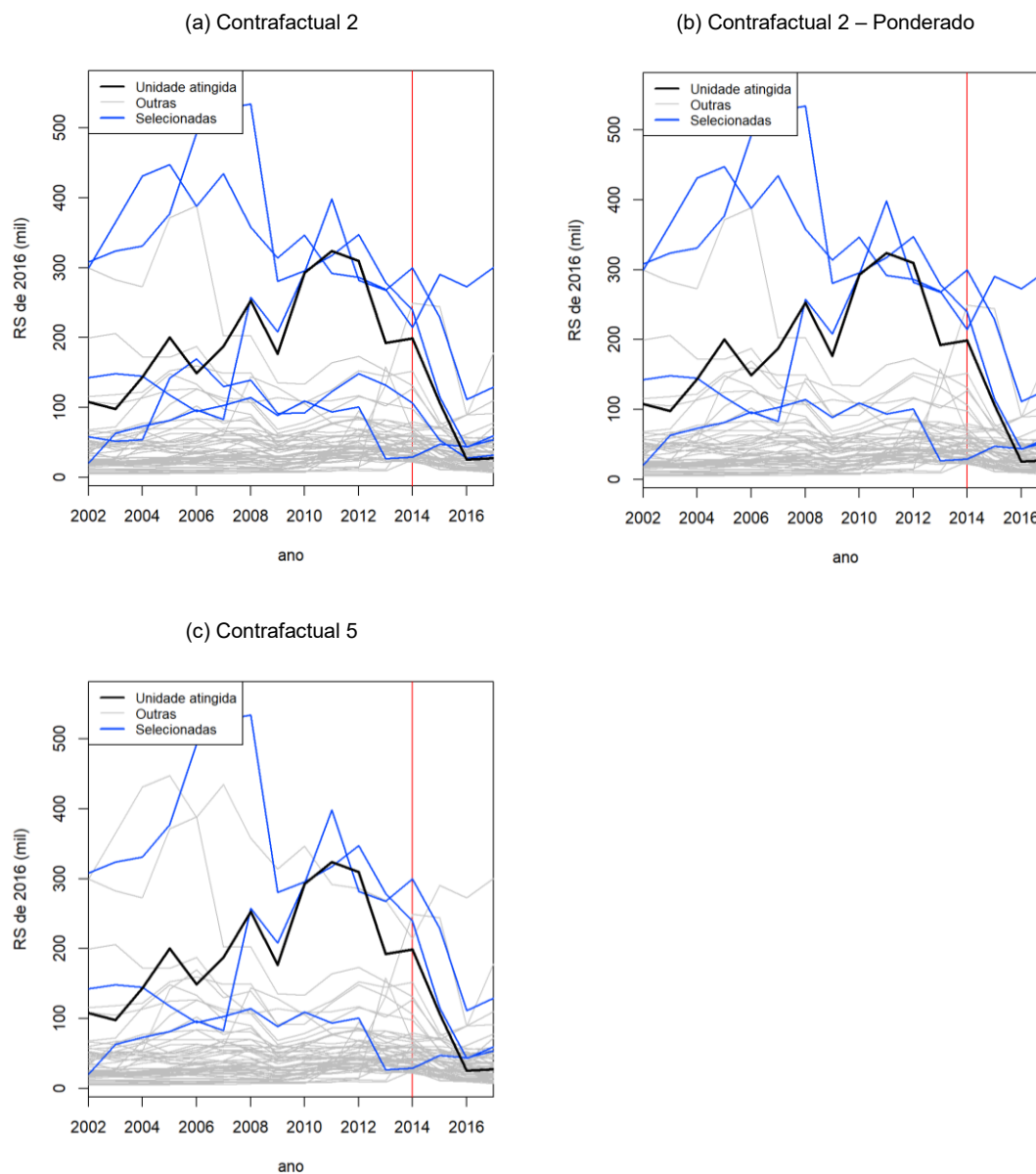
Composição do estado sintético – Pesos (%)			
Município	Contrafactual 2	Contrafactual 2 ponderado	Contrafactual 5
Canindé de São Francisco (SE)	13,6	26,9	22,2
Casimiro de Abreu (RJ)	8,0		
Quissamã (RJ)	5,9	19,6	19,6
São João da Barra (RJ)	57,0	52,8	58,2
Triunfo (RS)	15,5	0,7	

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

A Figura 25, apresenta as dinâmicas dos PIBs *per capita* de todos os municípios do potencial controle, com enfoque para os selecionados na composição do estado sintético em cada caso e a o PIB *per capita* agregado dos municípios do litoral. É possível observar que os modelos contrafactuais 2, 2 ponderado e 5 utilizam conjuntos menores de municípios na construção do estado sintético. O contrafactual 2, por exemplo, utiliza cinco municípios para a estimação dos controles sintéticos. Feito isso,

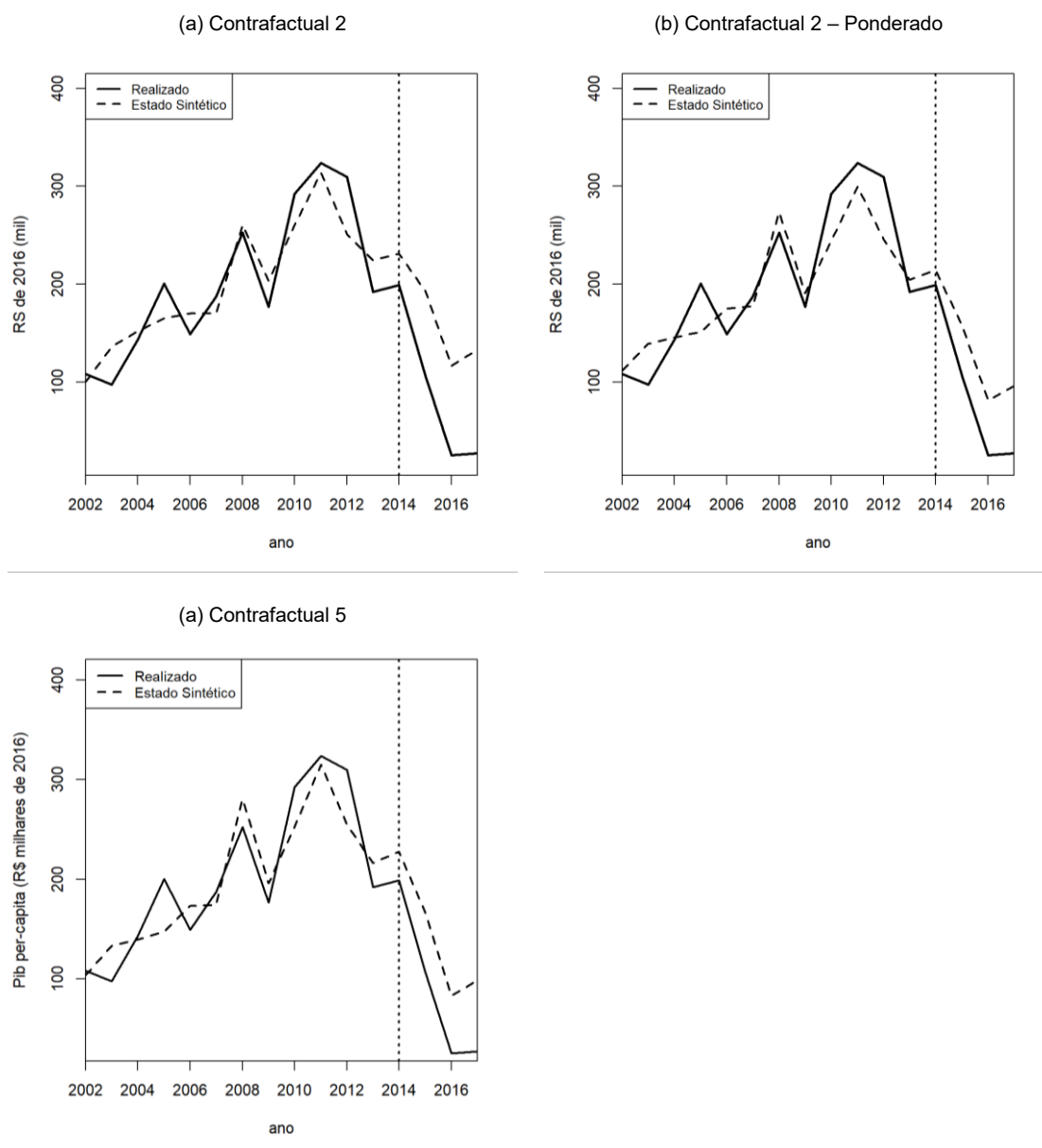
é possível computar a dinâmica do estado sintético em cada um dos casos, como mostra a Figura 30.

Figura 29 — Anchieta: PIB *per capita* dos municípios selecionados nos controles sintéticos



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

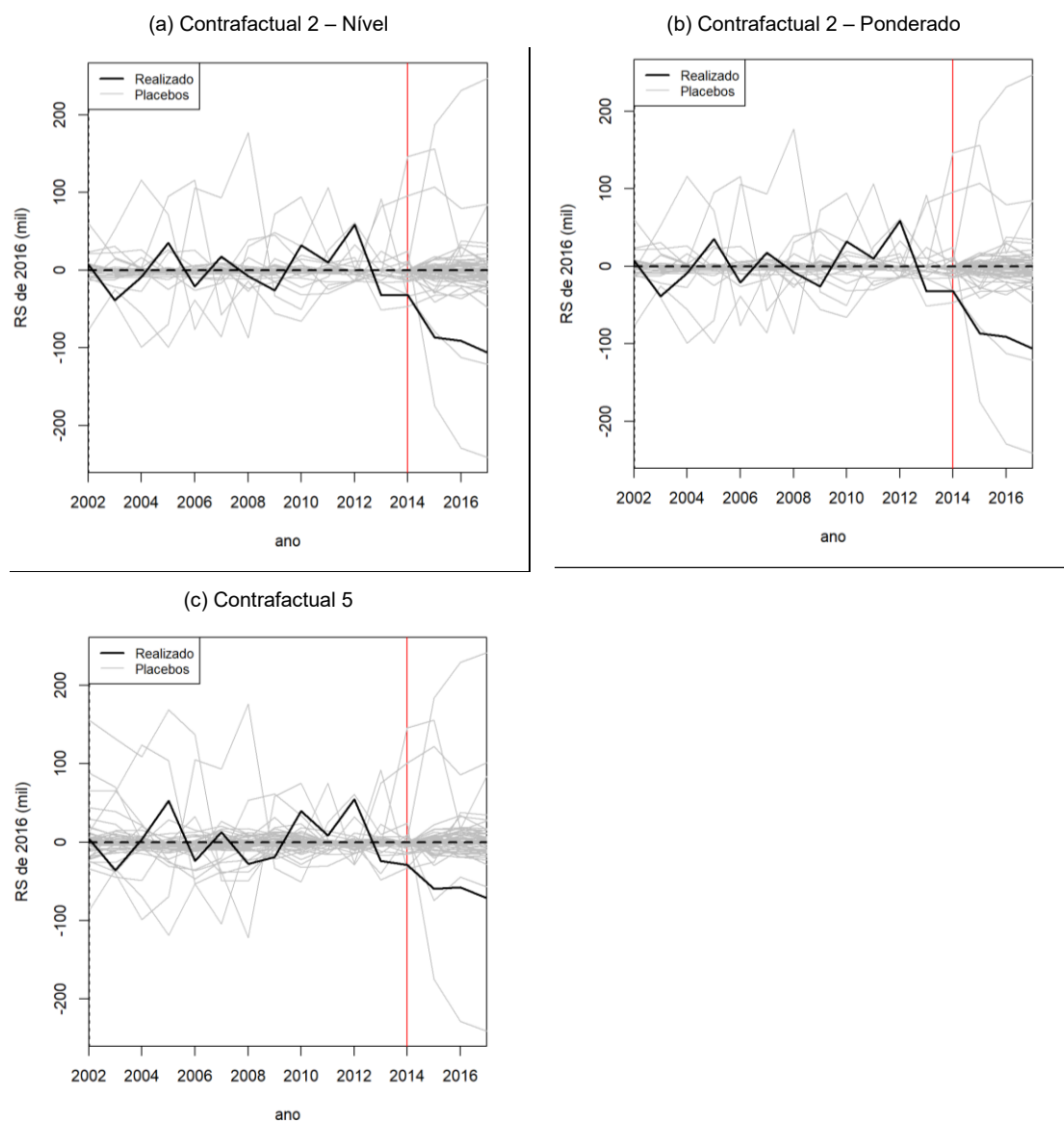
Figura 30 — PIB *per capita* de Anchieta e do estado sintético



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

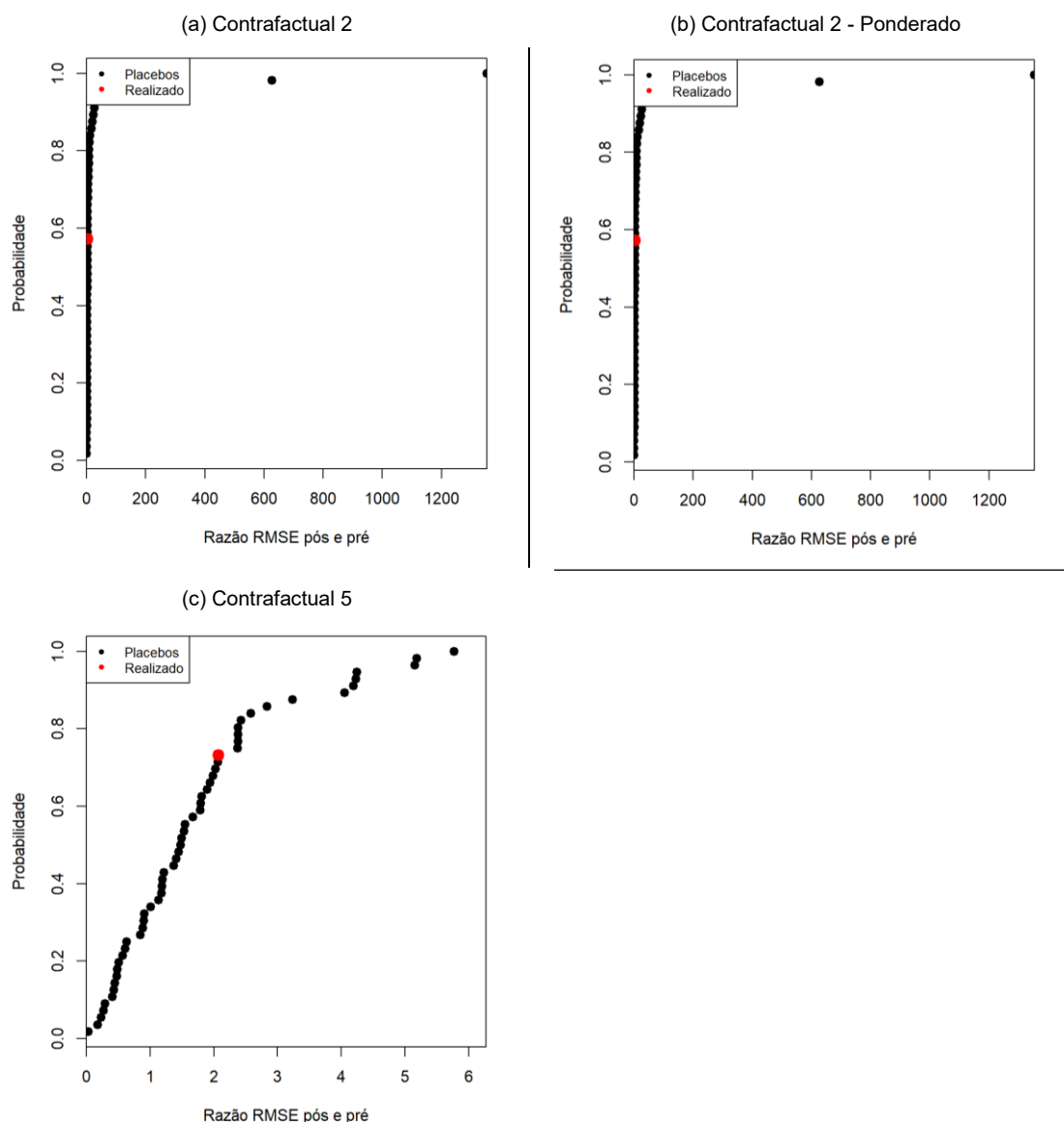
A Figura 31 apresentam os resultados para a análise sobre a inferência dos impactos de forma individual em cada ano. Os resultados mostram que o impacto em cada ano isoladamente é significativo a 10% de nível de significância, como apresentado na Tabela 14. No teste conjunto para o efeito acumulado nos três anos, apresentado na Figura 32, não se rejeita a hipótese nula de ausência de efeito acumulado.

Figura 31 — Anchieta: Placebos



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Figura 32 — Anchieta: distribuição acumulada da razão pré/pós-RMSE

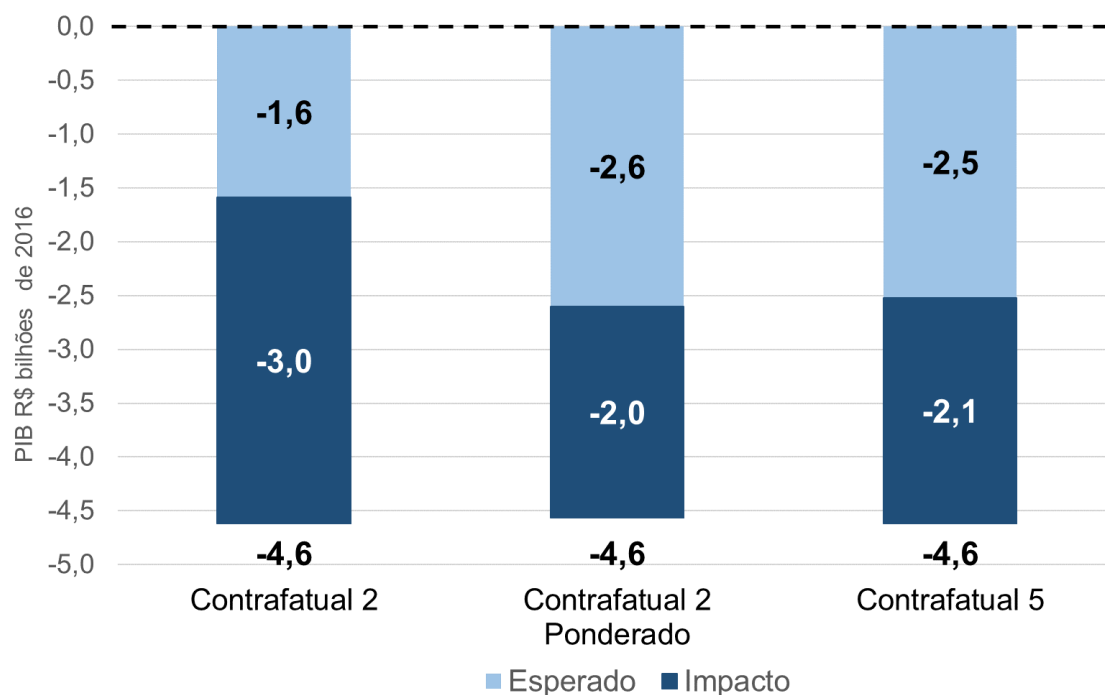


Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Pela mesma perspectiva de análise realizada para o exercício de Minas Gerais e Espírito Santo, elaborou-se a Figura 33. Na perspectiva temporal, a variação do PIB de Anchieta (ES) entre os anos de 2014 e 2017 foi de R\$ -4,6 bilhões, saindo de R\$ 5,4 bilhões para R\$ 0,8 bilhão (note que isso representa uma queda de 85,6% no PIB). Desse valor, estima-se que o impacto acumulado do rompimento da barragem está entre R\$ 2 bilhões (contrafactual 2 ponderado) e R\$ 3 bilhões (contrafactual 2). Esses valores representam entre 43% e 66% da variação total do PIB. Aqui vale a ressalva de que o PIB real da região já teria uma retração entre 2014 e 2017, o que esta análise aponta é de que essa diminuição estaria entre R\$ 1,6 bilhão (contrafactual 2) e R\$ 2,6

bilhões (contrafactual 2 ponderado), e não uma retração de R\$ 4,62 bilhões, como foi observado.

Figura 33 — Anchieta: parcela da variação do PIB 2014-2017 devido ao rompimento



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

4.5 Discussão dos resultados

Esta seção consolida os principais resultados do impacto do rompimento na renda agregada em diferentes unidades regionais. A Tabela 16 sintetiza os resultados para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, para a sub-bacia do Rio Doce, para os municípios do litoral capixaba e para Anchieta (ES), respectivamente. Utilizou-se a especificação do contrafactual 2 no caso das unidades federativas e para a região da sub-bacia do Rio Doce. Para os municípios do litoral capixaba e para Anchieta (ES), utilizou-se a especificação do contrafactual 2 ponderado para a consolidação dos resultados apresentados nesta seção.

Além disso, podem ser observados, na Tabela 16, os impactos nas demais regiões de Minas Gerais e Espírito Santo. O cômputo desse resultado se deu a partir da diferença entre o impacto total das unidades federativas e a soma das três regiões supracitadas. Esse resultado se mostra importante para a mensuração do transbordamento do impacto nas demais localidades dos estados.

Para o ano de 2015, o impacto total para Minas Gerais e Espírito Santo foi de R\$ 35,39 bilhões a preços de 2016, o que equivale a uma perda de 4,87% do PIB contrafactual. Para o presente exercício, assume-se que a perda estadual corresponde a 100% do impacto na renda agregada. Desse total, encontra-se que R\$ 6,99 bilhões equivalem ao impacto diretamente ocorrido na sub-bacia do Rio Doce, ou 7,74% de perda do PIB contrafactual da região, sendo 19,76% do impacto total. Soma-se a isso a perda de R\$ 3,23 bilhões para os cinco municípios do litoral de Espírito Santo, o que corresponde a 10,20% de perda do PIB contrafactual da região e 9,12% do impacto total. Para o município de Anchieta (ES), contabilizou-se um impacto de R\$ 1,42 bilhão, 32,66% de queda com relação ao PIB contrafactual do município e 4,02% do Impacto total. Portanto, impacto nas demais regiões de Minas Gerais e Espírito Santo foi de R\$ 23,74 bilhões, 3,95% de queda com relação ao PIB contrafactual, sendo 67,10% do impacto total.

O ano de 2016 apresentou um impacto total para Minas Gerais e Espírito Santo de R\$ 40,12 bilhões a preços de 2016, 5,78% de perda do PIB contrafactual. Desse total, encontra-se que R\$ 8,06 bilhões equivalem ao impacto diretamente ocorrido na sub-bacia do Rio Doce, ou 9,46% de perda do PIB contrafactual da região, sendo 20,10% do impacto total. O litoral registrou uma perda de R\$ 3,27 bilhões, o que corresponde a 11,27% de perda do PIB contrafactual da região e 8,15% do impacto total. Para o município de Anchieta (ES), contabilizou-se um impacto de R\$ 1,56 bilhão, 68,67% de queda com relação ao PIB contrafactual do município e 3,90% do Impacto total. No caso das demais regiões de Minas Gerais e Espírito Santo, o impacto foi de R\$ 27,23 bilhões, 4,71% de queda com relação ao PIB contrafactual, sendo 67,85% do impacto total.

A interpretação para 2017 é análoga aos anos anteriores, o impacto total para Minas Gerais e Espírito Santo foi de R\$ 60,77 bilhões a preços de 2016, 8,36% de perda do PIB contrafactual. Desse total, encontra-se que R\$ 5,92 bilhões foram do impacto na sub-bacia do Rio Doce, ou 6,56% de perda do PIB contrafactual da região, sendo 9,74% do impacto total. O litoral registrou uma perda de R\$ 3,84 bilhões, o que corresponde a 12,96% de perda do PIB contrafactual da região e 6,32% do impacto total. Para o município de Anchieta (ES) contabilizou-se um impacto de R\$ 1,97 bilhão, 71,66% de queda com relação ao PIB contrafactual do município e 3,24% do Impacto total. Nas demais regiões de Minas Gerais e Espírito Santo, o impacto foi de R\$ 49,04 bilhões, 8,11% de queda com relação ao PIB contrafactual, sendo 80,7% do impacto total.

A soma dos três anos para os respectivos impactos em cada região forma o impacto acumulado, o qual se pode interpretar de maneira análoga aos resultados anuais. O resultado do impacto acumulado para os três anos de análise aponta que, entre os R\$

136,28 bilhões perdidos na renda agregada conjunta de Minas Gerais e Espírito Santo, R\$ 20,97 bilhões situaram-se na sub-bacia do Rio Doce (15,39% do impacto), R\$ 10,44 bilhões deveram-se à perda da renda agregada dos municípios do litoral (11,44%), e R\$ 4,95 bilhões foram perdidos no município de Anchieta (ES). Somando essas três agregações, constata-se que 26,61% do impacto se deram nessas localidades.

Esse resultado também chama a atenção para propagação do impacto negativo de um município a outros que não foram inicialmente atingidos pelo rompimento e localizados nas demais regiões dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Afinal, 73,39% do impacto se encontram nas regiões fora das analisadas diretamente neste estudo, o que corresponde a R\$ 100,01 bilhões.

É importante discutir os meios pelos quais essa propagação ocorre. Inicia-se a explicação por meio da ligação produtiva que o município de Anchieta (ES) tem com o município de Mariana (MG). A extração de minério de ferro acontece em Mariana e ele é escoado até o município de Anchieta para o processo de pelotização e, posteriormente, exportação através do porto desse município. Devido ao rompimento e à restrição a extração da Mineradora Samarco S/A em Mariana, parou-se a pelotização no município de Anchieta. Dessa forma, a produção dos dois municípios foi reduzida e conseqüentemente, a renda agregada. Essa explicação pode ser estendida para outras ligações econômicas como, por exemplo, o setor de hospedagem, que foi comprometido devido à redução de negócios na região, turismo etc. (Lopes, 2016).

Existem outros canais em que propagação do impacto negativo afetou outras regiões dos estados, como a arrecadação tributária, o que compromete a capacidade de oferta de serviços públicos e outras demandas governamentais dos estados. Esse canal é importante e mais detalhes sobre esse canal de propagação do impacto do rompimento serão objeto de estudos futuros.

Tabela 16 — Resultados consolidados por regiões a preços de 2016

Ano	Estatística	Resultado para MG e ES	Resultado para a sub-bacia do Rio Doce	Resultado para o litoral	Resultado para Anchieta (ES)	Demais regiões de MG e ES
2015	R\$ bilhões	-35,39	-6,99	-3,23	-1,42	-23,74
	% do PIB _{CS} da região	-4,87	-7,74	-10,20	-32,66	-3,95
	% do Impacto total	100,00	19,76	9,12	4,02	67,10
2016	R\$ bilhões	-40,12	-8,06	-3,27	-1,56	-27,23
	% do PIB _{CS} da região	-5,78	-9,46	-11,27	-68,67	-4,71
	% do Impacto total	100,00	20,10	8,15	3,90	67,85
2017	R\$ bilhões	-60,77	-5,92	-3,84	-1,97	-49,04

Ano	Estatística	Resultado para MG e ES	Resultado para a sub-bacia do Rio Doce	Resultado para o litoral	Resultado para Anchieta (ES)	Demais regiões de MG e ES
	% do PIB _{CS} da região	-8,36	-6,56	-12,96	-71,66	-8,11
	% do Impacto total	100,00	9,74	6,32	3,24	80,70
	R\$ bilhões	-136,28	-20,97	-10,34	-4,95	-100,01
Acumulado	% do PIB _{CS} da região	-6,34	-7,89	-11,44	-52,57	-5,60
	% do Impacto total	100,00	15,39	7,59	3,63	73,39

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Observação: PIB_{CS} corresponde ao PIB estimados pelo controle sintético.

5 CONCLUSÕES

Este estudo visa complementar o Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a), que tinha o objetivo mensurar o impacto do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de Minas Gerais e do Espírito Santo. Essa complementação adiciona, à análise anterior, o impacto para o ano de 2017, informação que só foi disponibilizada pelo IBGE ao final do ano de 2019. Neste trabalho, além do impacto para 2017, também se apresentam exercícios adicionais para regiões internas dos estados atingidos a fim de verificar como se deram esses impactos em diferentes lugares, tais como os municípios que compõem a sub-bacia do Rio Doce, os municípios do litoral e o município de Anchieta (ES).

Segue-se a mesma metodologia utilizada no Relatório 4 do EDT 2 (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2019a). Utiliza-se o método de controle sintético proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015) para a construção de um estado hipotético com características similares aos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, com exceção de que esse estado não teve o impacto do rompimento da Barragem de Fundão em 2015.

Os resultados relacionados às unidades federativas mostram que para os anos de 2015 e 2016 não houve diferença nos impactos estimados no Relatório 4 do EDT 2. Os impactos estimados para esses anos variam de R\$ -35,39 bilhões a R\$ -37,57 bilhões em 2015 e de R\$ -40,12 bilhões a R\$ -46,16 bilhões em 2016. Para o ano de 2017, o impacto estimado varia de R\$ -60,72 bilhões a R\$ -64,56 bilhões. No acumulado dos três anos, o impacto do rompimento da Barragem de Fundão é estimado no intervalo de R\$ -136,28 bilhões e R\$ -148,30 bilhões.

Os resultados também mostram que, da variação do PIB total dos estados entre 2014 e 2017 (R\$ -84 bilhões), a parcela devida ao impacto representa entre 72,34% e 76,86%, com base no contrafactual 2. Em valores monetários, dos R\$ 84 bilhões de redução no PIB, de R\$ 60 bilhões a R\$ 65 bilhões são devidos ao rompimento da Barragem do Fundão.

A análise da composição dos impactos nas regiões se deu a partir das especificações mais adequadas para cada caso. Utilizou-se a especificação do contrafactual 2 no caso das unidades federativas e para a região da sub-bacia do Rio Doce. Para os municípios do litoral capixaba e para o exercício de Anchieta (ES) utilizou-se a especificação do contrafactual 2 ponderado para a consolidação dos resultados apresentados.

A soma dos três anos para os respectivos impactos para cada região representa o impacto acumulado, o qual se pode interpretar de maneira análoga aos resultados anuais. O resultado do impacto acumulado para os três anos de análise aponta que, dos R\$ 136,28 bilhões perdidos na renda agregada conjunta de Minas Gerais e Espírito Santo, R\$ 20,97 bilhões se situaram na sub-bacia do Rio Doce (15,39% do impacto), R\$ 10,44 bilhões se deveram à perda da renda agregada dos municípios do litoral (11,44%), e R\$ 4,95 bilhões foram perdidos no município de Anchieta (ES). Somando essas três agregações, constata-se que 26,61% do impacto se deram nessas localidades.

De forma complementar, estima-se que 73,39% do impacto ocorreram fora das regiões analisadas neste estudo. Dessa forma, há uma forte propagação do impacto para outros municípios e regiões dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Um dos canais dessa propagação ocorre devido à ligação produtiva, como é o case de Anchieta (ES) com os municípios onde ocorre a extração de minério de ferro pela Mineradora Samarco S/A em Minas Gerais (Mariana e Ouro Preto). Essa ideia pode ser estendida para outros setores e empresas, de modo que a propagação não ficou limitada ao setor extrativo. Para a análise da propagação entre os setores da economia, ver Fundação Getúlio Vargas (2020). Entretanto, ainda há outros canais a serem explorados. Um deles é o impacto na arrecadação dos municípios e do estado como um todo. O impacto nessa variável implica o comprometimento da capacidade dos governos em proverem serviços públicos e demandarem serviços que aumentariam a renda agregada da população. Para o próximo ano, pretende-se analisar este canal: o impacto nas finanças públicas.

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. **Work. Pap., Mass. Inst. Technol.**, Cambridge: MA, 2020.

_____.; 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.

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

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. Disponível em: <www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/07/TTACFINAL.pdf>. Acesso em: 24 nov. 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.

_____. 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.

CAVALLO, E. et al. Catastrophic natural disasters and economic growth. **Review of Economics and Statistics**, v. 95, n. 5, p. 1549-1561, 2013.

COMITÊ INTERFEDERATIVO (CIF). **Deliberação nº 58/2017**. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impactos-sobre-educacao-basica-a-partir-de-dados-secundarios>. Acesso em dez. 2020.

DOMINGUES, E. P.; CARDOSO, A. S.; SIMONATO, D. F. **Efeitos econômicos da paralisação de parte da produção em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2019.

FERMAN, B.; PINTO, C. **Revisiting the synthetic control estimator**. Munich: Personal RePEc Archive, 2016.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Impacto do rompimento da Barragem de Fundão sobre a renda agregada de Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro, São Paulo: FGV, 2019a.

_____. **Impactos sobre educação básica a partir de dados secundários**. Rio de Janeiro, São Paulo: FGV, 2019b.

_____. **Impactos sobre assistência social a partir de dados secundários**. Rio de Janeiro, São Paulo: FGV, 2019c.

_____. **Impactos sobre segurança pública a partir de dados secundários.** Rio de Janeiro, São Paulo: FGV, 2019d.

_____. **Impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre a renda agregada de Minas Gerais e Espírito Santo:** análise de determinantes e canais a partir do modelo de equilíbrio geral. Rio de Janeiro, São Paulo: FGV, 2020.

HOLLAND, M.; MARÇAL, E.; PRINCE, D. D. Is fiscal policy effective in Brazil? An empirical analysis. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Política de revisão de dados divulgados das operações estatísticas do IBGE.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95286.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

_____. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

_____. COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO (Concla). **CNAE-domiciliar 2.0.** Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/atividades-economicas/cnae-domiciliar-2-0.html>>. Acesso em: 23 jul. 2020.

LOPES, L. M. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, p. 1-1, 2016.

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

APÊNDICE A — Análise de robustez

Em virtude da natureza dos dados comumente analisados na metodologia de controle sintético, existe uma discussão em curso sobre os aspectos não estacionários das séries de tempo utilizadas e as influências disso nos resultados encontrados (FERMAN; PINTO, 2016). A proposta adotada no presente estudo para avaliar os possíveis vieses nos resultados em decorrência da não estacionariedade é estimar o controle sintético com as variáveis estacionarizadas e verificar se os efeitos permanecem com os mesmos sinais.

A hipótese cerne para este tratamento é de que as séries não estacionárias são integradas de primeira ordem, de modo que a primeira diferença é suficiente para remover o componente da tendência. Nessa perspectiva, computaram-se os resultados do controle sintético a partir da primeira diferença, a saber, para uma dada variável de interesse, como o PIB *per capita* (y_{it}) do estado i no período t . Tem-se:

$$\Delta y_{it} = y_{it} - y_{it-1} \quad \forall t \in [1; T]$$

Deste modo, Δy_{it} corresponde à primeira diferença da variável y_{it} sem a presença da raiz unitária, ou seja, supondo que são integradas de ordem um. Como os resultados serão estimados na primeira diferença, perde-se o ano de 2002, uma vez que não existem os dados para 2001; portanto, para comparar os resultados na primeira diferença e os resultados no nível, estimaram-se os efeitos no horizonte temporal de 2003 a 2017.

A primeira análise sobre a estacionariedade tem como objetivo avaliar a presença de raiz unitária nas séries de PIB (HOLLAND; MARÇAL; PRINCE, 2020). Portanto, sob a hipótese de a série de PIB *per capita* de MG e ES ser integrada de ordem 1, calcula-se a diferença entre os anos para a elaboração do controle sintético.

Uma vez que em alguns cenários do controle sintético como nos contrafactuais 3, com e sem ajuste, utilizam-se covariadas tais como proporção da área produtiva, porcentagem do valor adicionados do PIB da agropecuária, dos serviços e da indústria, a Figura 1 apresenta a dinâmica temporal de cada uma dessas covariadas no período pré-rompimento (2002-2014).

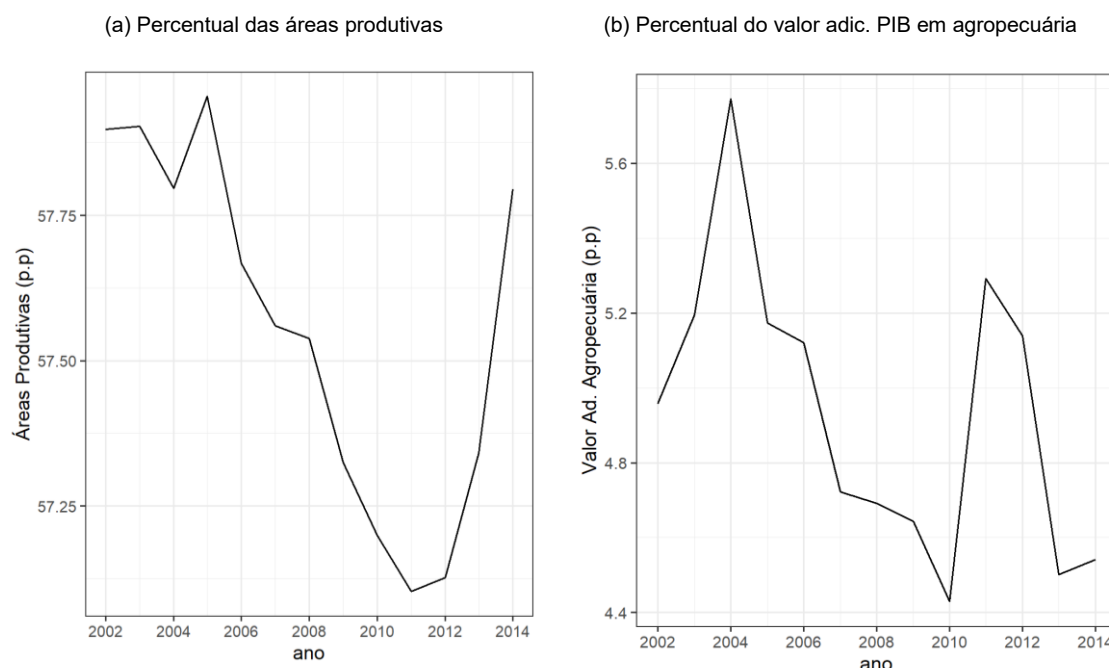
Dado que o número de observações é insuficiente para a realização de um teste de raiz unitária, foram diferenciadas quatro variáveis supracitadas na estimação do controle sintético com séries de PIB em primeira diferença. Novamente supondo que as covariadas são integradas de ordem 1. A Figura 2 apresenta as séries de tempo dos estados sintéticos construídos a partir dos valores em níveis para o período de 2003 a

2014, linhas vermelhas de cada gráfico, as séries construídas com base no controle sintético das séries diferenciadas, linhas em azul, e os valores do PIB *per capita*, com e sem ajuste, representados pelas linhas verdes, a depender de cada gráfico.

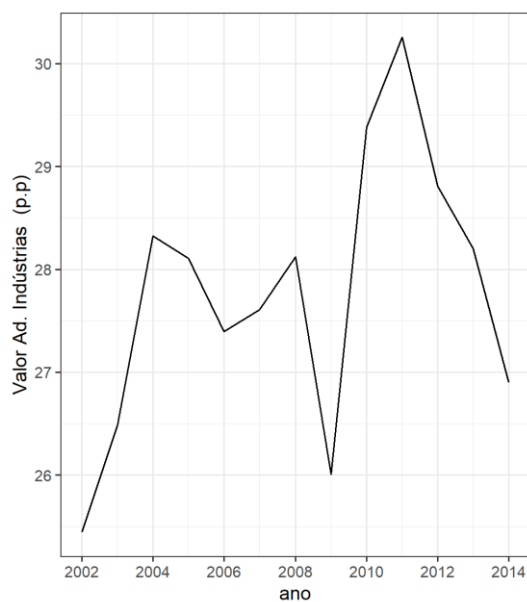
Como se pode observar nos quatro cenários apresentados, o estado sintético calculado pelas variáveis em nível está muito mais próximo da série de PIB *per capita* observada, seja ela com ou sem ajuste, quando comparada com a série reconstruída do controle sintético das séries diferenciadas, resultado que corrobora para a manutenção das estimações dos impactos nas variáveis em nível *vis-à-vis* as séries diferenciadas.

Por fim, a tabela 1 apresenta os pesos utilizados na composição de cada um dos estados sintéticos com base nas séries em nível, de 2003 a 2014, e nas séries diferenciadas (com o indicativo Diff). É importante ressaltar que os pesos utilizados no modelo base foram apresentados na seção 4.1 de resultados, os valores presentes na tabela 1 não utilizaram as informações de 2002 e estão aqui presentes para fins de análise de robustez.

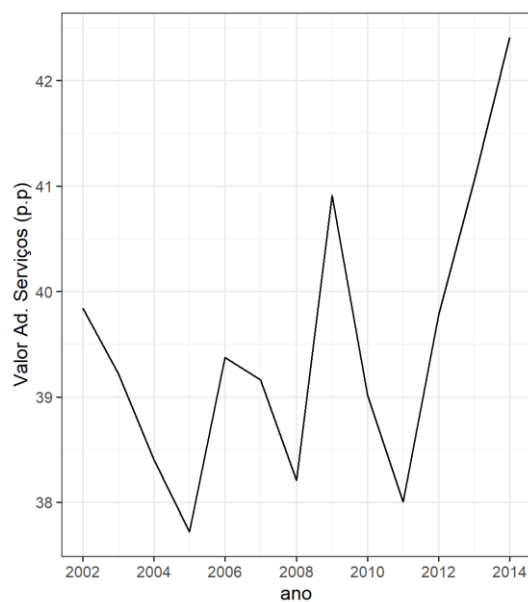
Figura 1 — Análise temporal das covariadas



(c) Percentual do valor adic. PIB em Indústria



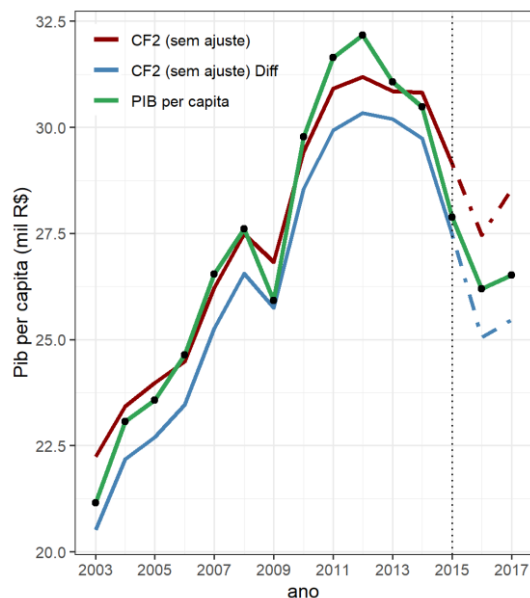
(d) Percentual do valor adic. PIB em serviços



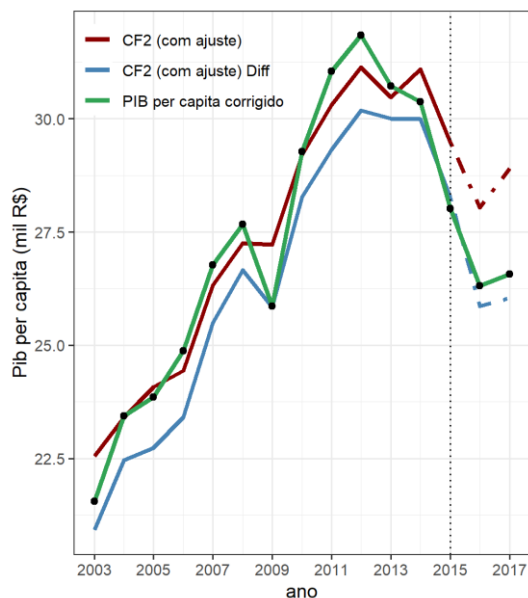
Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Figura 2 — PIB MG e ES e dos estados sintéticos a partir do nível e da primeira diferença

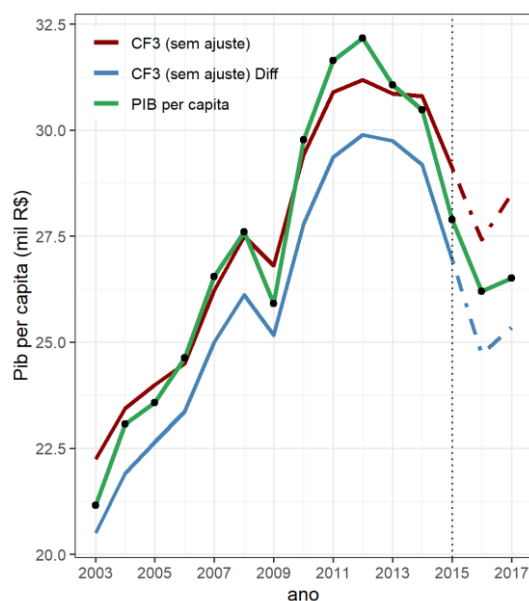
(a) Contrafactual 2 – PIB *per capita* sem ajuste



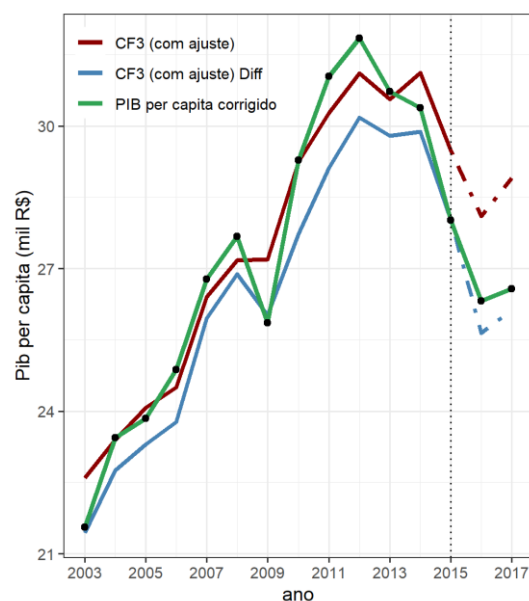
(b) Contrafactual 2 – PIB *per capita* com ajuste



(c) Contrafactual 3 – PIB per capita sem ajuste



(d) Contrafactual 3 – PIB per capita com ajuste



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

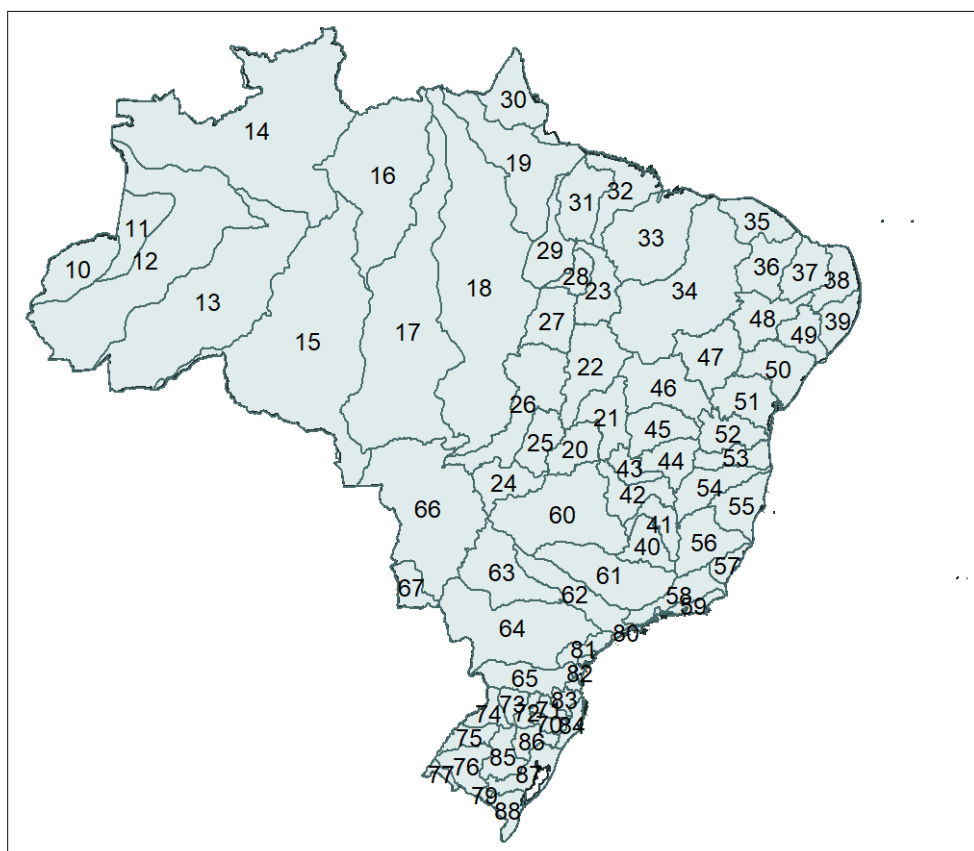
Tabela 1 — Pesos utilizados nos cálculos dos controles sintéticos nas séries em nível e diferenciadas no PIB per capita de MG e ES

UF	Composição do estado sintético – Pesos (%)							
	Contrafactual 2				Contrafactual 3			
	Sem ajuste	Sem ajuste Diff	Com ajuste	Com ajuste Diff	Sem ajuste	Sem ajuste Diff	Com ajuste	Com ajuste Diff
Rondônia	0,20	0,11	0,22	0,07	0,20	0,11	0,16	0,22
Amazonas	0,00	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
Pará	0,34	0,08	0,00	0,00	0,34	0,30	0,00	0,00
Pernambuco	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00
Rio de Janeiro	0,15	0,39	0,09	0,37	0,15	0,38	0,08	0,35
São Paulo	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,16	0,08	0,08
Paraná	0,00	0,17	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,14
Santa Catarina	0,32	0,11	0,34	0,14	0,31	0,00	0,30	0,17
Mato Grosso Do Sul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Distrito Federal	0,00	0,07	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

APÊNDICE B — Localização das sub-bacias do Brasil

Figura 1 — Sub-bacias nomenclaturas



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Quadro 1 — Nomenclatura das sub-bacias do Brasil

Indicador	Nome	Indicador	Nome
1	Alto Araguaia e rio Claro	41	Oiapoque e outros
2	Alto Jacuí	42	Pajeú e outros - São Francisco
3	Alto Paraguai	43	Paracatu e outros - São Francisco
4	Alto São Francisco, até Três Marias	44	Paraguai, Nabileque e outros
5	Alto Tocantins e rio Preto	45	Paraíba do Sul
6	Amazonas, entre a nascente e o Rio Javari	46	Paraíba e outros
7	Amazonas, entre o Lago Coari e o Rio Purus	47	Paraná, Iguaçu
8	Amazonas, entre o Rio Auati-Paraná e o Lago Coari	48	Paraná, Paranapanema, Amambai e outros
9	Amazonas, entre o Rio Xingu e a foz	49	Paraná, Tietê e outros
10	Amazonas, entre os rios Javari e Auati-Paraná	50	Paraná, Verde, Peixe e outros
11	Amazonas, entre os rios Madeira e Trombetas	51	Paranaíba
12	Araguaia, a jusante da ilha do Bananal	52	Pardo, Cachoeira e outros
13	Araguaia, a montante da ilha do Bananal	53	Parnaíba
14	Araguaia, trecho da Ilha do Bananal	54	Pelotas
15	Baixo Araguaia	55	Pindaré, Itapecuru, Mearim e outros
16	Cachoeira, São João e outros	56	Piranhas, Açu e outros

Indicador	Nome	Indicador	Nome
17	Camaquã, Jacuí, Lagoa dos Patos e outros	57	Ribeira do Iguaçu
18	Canoas	58	Salitre e outros - São Francisco
19	Contas	59	São Francisco, a jusante do Pajeú
20	Corrente e outros - São Francisco	60	São Mateus, Itanhém e outros
21	Das Velhas - São Francisco	61	Tapajós
22	Doce	62	Taquari
23	Grande	63	Tocantins, entre o Rio Araguaia e a foz
24	Grande e outros - São Francisco	64	Tocantins, entre os rios do Sono e Araguaia
25	Guamá e outros	65	Tocantins, entre os rios Paranã e do Sono
26	Ibicuí	66	Tocantins, entre os rios Preto e Paranã
27	Itajaí	67	Tubarão, Capivari e outros
28	Itapicuru, Vaza Barris e outros	68	Urucuia - São Francisco
29	Jaguarão e lagoa Mirim no Brasil e outros	69	Uruguai e Negro
30	Jaguaribe	70	Uruguai, Chapecó, Passo Fundo e outros
31	Jequiriçá, Paraguaçu e outros	71	Uruguai, Ijuí, Piratinim e outros
32	Jequitinhonha	72	Uruguai, Inhanduva, Peixe e outros
33	Litorâneas de Pernambuco e Alagoas	73	Uruguai, Quaraí (M. D.) e outros
34	Litorâneas de São Paulo	74	Uruguai, Várzea, Turvo e outros
35	Litorâneas do Ceará	75	Verde Grande - São Francisco
36	Litorâneas do Espírito Santo	76	Xingu e Paru
37	Litorâneas do Pará e Maranhão		
38	Litorâneas do Rio de Janeiro		
39	Madeira		
40	Negro		

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

APÊNDICE C — Pré-seleção dos municípios do litoral e de Anchieta a partir das distâncias 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, para o caso dos municípios do litoral, definiu-se com as covariadas $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$ as variáveis agregadas que formam a unidade tratada do litoral. O caso é análogo para o controle sintético estimado para Anchieta (ES). 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;
- o logaritmo neperiano da distância do centroide do município ao mar.⁹

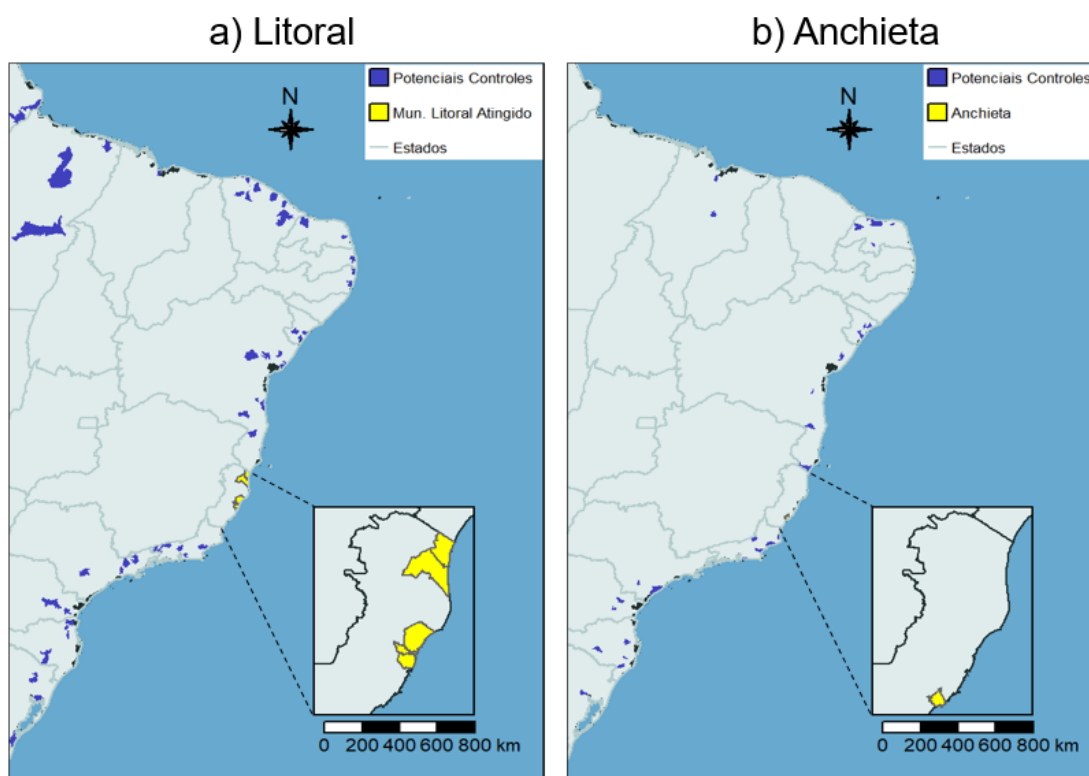
É importante ressaltar que a utilização da função logarítmica nas últimas três variáveis tem como intuito reduzir a escala, assim como a variabilidade dessas variáveis, o que torna a mensuração da distância de Mahalanobis com pesos mais homogêneos entre as covariadas utilizadas. Tanto no caso dos municípios do litoral quanto na análise específica do município de Anchieta (ES) calcularam-se as distâncias para todos os

⁹ Para o caso da agregação dos municípios do litoral optou-se por computar a média das distâncias dos municípios ao mar.

municípios fora de Minas Gerais e Espírito Santo e selecionaram-se os que estavam até o 1,2 percentil da distribuição, ranqueada em ordem decrescente, sendo os mais próximos os primeiros, o que corresponde aos 55 municípios mais próximos como potenciais controles. Outra ressalva importante é que as unidades tratadas foram incluídas na matriz de covariância para se calcular a distância de Mahalanobis.

A figura 1 apresenta o conjunto de municípios selecionados para o caso do litoral (a), e para o município de Anchieta (b). A partir desses municípios, realizaram-se os respectivos controles sintéticos em cada caso. Os municípios em azul escuro são os escolhidos com base no critério da distância de Mahalanobis com base nas características geográficas e demográficas. Os municípios em amarelo claro na Figura 1a constituem os cinco municípios do litoral citados anteriormente que pertencem aos 45 municípios atingidos, porém não fazem parte da sub-bacia do Rio Doce, e na Figura 1b o município de Anchieta (ES), profundamente afetado pela interrupção da pelotização.

Figura 1 — Potenciais controles para o litoral e para Anchieta (ES)



Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Para os resultados apresentados na seção 4.3, os cinco municípios destacados em amarelo foram consolidados em uma unidade de tratamento considerada atingida. Entre

os potenciais controles estão 55 municípios em diferentes estados brasileiros. Os principais critérios para seleção dos escolhidos foram a proporção do valor agregado na indústria do município com relação ao PIB total e a distância do município ao mar. A partir desse conjunto de potenciais controles, destacados em azul escuro na Figura 1, foram elaboradas as mesmas estratégias de estimação de controle sintético apresentadas na seção 4.2 para o caso da sub-bacia.

APÊNDICE D — Análise de sensibilidade dos resultados dos municípios do litoral e Anchieta (ES)

Este apêndice apresenta os resultados consolidados dos municípios do litoral e de Anchieta-ES, separadamente, com diferentes seleções dos conjuntos de potenciais controles com base nas distâncias de Mahalanobis, apresentadas no Apêndice C. A Tabela 1 indica os resultados para os municípios do litoral e a Tabela 2 apresenta a mesma análise para o município de Anchieta (ES), ambos os casos reportam os resultados na variável de PIB *per capita*, sendo o resultado com 55 potenciais controles utilizado como resultado final.

Tabela 1 — Análise de sensibilidade dos impactos nos municípios do litoral

Ano	Estatística	Potenciais controles: 37	Potenciais controles: 46	Potenciais controles: 55	Potenciais controles: 64	Potenciais controles: 74
2015	R\$ bilhões	-3,18	-3,70	-3,23	-2,78	-2,80
	% do PIB da região	-10,08	-11,52	-10,20	-8,92	-8,98
2016	R\$ bilhões	-3,40	-3,32	-3,27	-2,84	-2,86
	% do PIB da região	-11,66	-11,43	-11,27	-9,92	-9,98
2017	R\$ bilhões	-4,06	-3,85	-3,84	-3,19	-3,21
	% do PIB da região	-13,59	-12,99	-12,96	-11,00	-11,07
Acumulado	R\$ bilhões	-10,64	-10,87	-10,34	-8,80	-8,87
	% do PIB da região	-11,72	-11,96	-11,44	-9,91	-9,97
RMSE pré		3,17	3,13	3,07	3,05	3,04
RMSE pós		4,62	4,72	4,49	3,82	3,85
Pesos dos municípios selecionados em cada estimação (%)						
Barcarena (PA)		20,7	23,6	21,9	22,4	22,4
Itapetinga (BA)				25,3	26,6	26,3
Jaraguá do Sul (SC)		32,7	27,7	33,7	26,4	26,2
Macaíba (RN)			27,4			
Marabá (PA)				0,9	3,4	3,7
Maranguape (CE)		23,9	1,5			
São Bernardo do Campo (SP)					10,8	10,9
Taubaté (SP)		22,6	19,8	18,1	10,4	10,4

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

Tabela 2 — Análise de sensibilidade dos impactos no município de Anchieta-ES

Ano	Estatística	Potenciais controles: 37	Potenciais controles: 46	Potenciais controles: 55	Potenciais controles: 64	Potenciais controles: 74
2015	R\$ bilhões	-1,83	-1,84	-1,42	-1,81	-1,78
	% do PIB	-38,38	-38,55	-32,66	-38,13	-37,80
2016	R\$ bilhões	-2,33	-2,34	-1,56	-2,24	-2,23
	% do PIB	-76,57	-76,65	-68,67	-75,85	-75,76
2017	R\$ bilhões	-2,84	-2,85	-1,97	-2,39	-2,37
	% do PIB	-78,47	-78,54	-71,66	-75,43	-75,30
Acumulado	R\$ bilhões	-6,99	-7,03	-4,95	-6,44	-6,39
	% do PIB	-61,00	-61,11	-52,57	-59,03	-58,83
	RMSE pré	33,18	33,07	31,50	29,86	29,83
	RMSE pós	83,92	84,32	59,16	76,69	76,10
Pesos dos municípios selecionados em cada estimação (%)						
Aratiba (RS)						2,1
Canindé de São Francisco (SE)				26,9	14,6	14,1
Parazinho (RN)		24,6	24,4			
Pinhal da Serra (RS)					21,7	20,7
Quissamã (RJ)		17,2	17,0	19,6	21,2	21,5
São João da Barra (RJ)		45,3	45,5	52,8	40,9	40,3
Triunfo (RS)		13,0	13,1	0,7	1,6	1,3

Fonte: Elaboração própria (2020) a partir de dados do IBGE.

APÊNDICE E — Errata referente ao Relatório 4 do EDT 2

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo/Fundação Getulio Vargas. – Rio de Janeiro, São Paulo: FGV, 2019.

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
55	5	Através desses gráficos é possível ver que a variação do PIB é menor para a variável ajustada, apesar de ter ficado mais errática, o que pode dificultar ajustar o modelo para o controle sintético dessa série.	Através desses gráficos é possível ver que a variação do PIB é menor para a variável ajustada.