

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

**Sumário Executivo Principais Resultados
dos Estudos de Impacto na Renda
Agregada de MG e ES com Base
nos Dados Observados até 2018**



DEZEMBRO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/FGV

Fundação Getulio Vargas

Sumário Executivo Principais Resultados dos Estudos de Impacto na Renda Agregada de MG e ES com Base nos Dados Observados até 2018 / Fundação Getulio Vargas. – Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021.

28 p.

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

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

Inclui bibliografia.

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

CDD – 627.8

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

NOTA TÉCNICA

Sumário Executivo

**Principais Resultados dos Estudos de Impacto na Renda
Agregada de MG e ES com Base nos Dados Observados até
2018**

Dezembro – 2021

EQUIPE TÉCNICA

André Portela Fernandes de Souza

Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón

Heron Marcos Teixeira Rios

Lucas Gerez Foratto

Reynaldo Fernandes

SUMÁRIO

1	SÍNTESE DOS RESULTADOS	4
1.1	Decomposição do impacto total para os estados de MG e ES	15
1.2	Aplicação das taxas de juros reais nas perdas	16
2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
	REFERÊNCIAS	20
	APÊNDICE A	21
	APÊNDICE B	24

1 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A presente nota resume estudos anteriores que estimam as perdas totais do Produto Interno Bruto (PIB) que podem ser atribuídas ao rompimento da Barragem de Fundão em Minas Gerais, ocorrido em 2015. O PIB pode ser entendido como valor da produção agregada de bens e serviços finais em um determinado ano ou como a soma da renda dos proprietários dos fatores de produção como trabalhadores, proprietários de recursos, empresários e governo. As perdas estimadas aqui referem-se aos estados de Minas Gerais e Espírito Santo para o período de 2015 a 2018, devido ao momento do estudo e à disponibilidade de dados.

O rompimento da Barragem de Fundão pode ter impactado a atividade econômica por meio de diferentes mecanismos como: (i) interrupção de atividades produtivas diretamente afetadas (e.g., parada da produção mineral, proibição da pesca estuarina e no Rio Doce por autoridades sanitárias); (ii) perda de produção devido à perda de ativos (e.g., perda da produção agropecuária devido à destruição da terra produtiva ao longo da bacia e perdas em outras atividades pela degradação de outros recursos naturais, como a pesca e a caça, entre outros; mudanças dos fluxos de deslocamentos da população em idade ativa para fora da região etc.); (iii) perda de produção ao longo da cadeia produtiva (e.g., redução de produção e fornecimento de insumos para as atividades produtivas diretamente afetadas); (iv) efeitos macroeconômicos gerais (e.g., efeitos sobre preços de produtos e insumos; queda no nível da atividade econômica devido à queda na demanda agregada por perda de renda dos consumidores e/ou receitas tributárias dos governos); (v) efeitos negativos permanentes no crescimento econômico (e.g., mudanças nas percepções de riscos que levam à redução de investimentos nas áreas afetadas); e (vi) aumento na produção e renda devido aos esforços de reparação e reconstrução que podem estimular as atividades econômicas.

Define-se impacto como a diferença entre o PIB realizado e o PIB que teria existido na ausência do rompimento. O desafio na estimação do impacto é tentar obter qual teria sido a trajetória do PIB dos estados de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES) na ausência do rompimento. Esta trajetória alternativa será denominada trajetória contrafactual ou, simplesmente, PIB contrafactual. A fim de produzir uma estimativa do PIB contrafactual deve-se buscar métodos que sejam apropriados ao contexto do desastre analisado, bem como à disponibilidade de informações relevantes.

Como naturalmente não se observa o PIB contrafactual, utilizamos as informações do PIB dos demais estados para estimá-lo. O exercício mais simples para tentar capturar

o impacto do rompimento seria conjecturar que o PIB contrafactual seria bem descrito pela trajetória de crescimento da média do PIB das demais unidades federativas (ou seja, excluindo os estados de MG e ES) e que as demais unidades federativas não são impactadas pelo rompimento. A diferença entre o PIB observado de MG e ES (unidade atingida) e o PIB contrafactual – construído imputando à unidade atingida a taxa de crescimento da média do PIB entre os demais estados – produziria, então, uma estimativa do efeito do rompimento.

Note que as perdas relatadas aconteceram em um contexto em que a economia brasileira como um todo entrou em recessão, de maneira que a queda geral de demanda agregada se confunde com os impactos destrutivos do desastre. Ao comparar o desempenho econômico de MG e ES com a média dos demais estados, os quais não sofreram diretamente com a ruptura da barragem, subtrai-se o impacto da recessão no desempenho econômico dos estados atingidos. A lógica por trás é supor que se não tivesse existido o desastre, MG e ES teriam desempenhado como a média nacional. Assim, se retiramos do PIB nacional os estados de MG e ES, esse se converte em um desempenho contrafactual, e supomos que MG e ES desempenhariam nessa média.

No período pós-rompimento de 2015 a 2018, o PIB de MG e ES, a preços de 2020, apresentou uma taxa de crescimento acumulada negativa de -7,5%, enquanto o PIB do Brasil excluindo esses estados observou uma taxa de crescimento acumulada negativa de -3,3% no mesmo período. Também é possível ver esse impacto através da queda da participação desses estados no PIB nacional de 12,6% em 2014 para 11,6% em 2016 e 12,0% em 2018.

Ao considerar este contrafactual, MG e ES apresentam um desempenho inferior cuja diferença é da ordem de R\$ 201 bilhões em quatro anos observados, sendo que o pior ano é 2016 com uma diferença de R\$ 61 bilhões. Esta comparação fornece uma ordem de grandeza de referência. Como essas perdas aconteceram em diferentes anos anteriores, o valor acumulado de perdas anuais pode ser atualizado pelo custo de oportunidade dos recursos que deixaram de ser gerados. Ele pode ser representado pelos juros reais que o governo federal pratica nas suas captações de 5 anos, 3% ao ano. Assim obtemos uma estimativa de perda de R\$ 223 bilhões, a preços de 2020, para os anos de 2015 a 2018. Como discutido mais à frente, esta taxa reflete o custo de longo prazo dos recursos na economia brasileira e permite obter o valor acumulado das perdas em 2020, tendo um único valor para o período 2015 a 2018.

Entretanto, esse exercício simples pode não refletir devidamente a trajetória do PIB contrafactual da região atingida no período pós-rompimento. Uma estimativa mais

plausível do PIB contrafactual pode ser obtida utilizando informações de demais unidades federativas que melhor reflitam o comportamento de MG e ES no período pré-rompimento. Podemos dividir os anos dos dados disponíveis em um período pré-rompimento e um pós-rompimento e usar estados com características estruturalmente parecidas com MG e ES e selecionar pesos para esses demais estados que minimizem os desvios no desempenho observado entre os estados “parecidos” e o desempenho de MG e ES. Desse modo, podemos obter uma estimativa mais plausível se encontrarmos as trajetórias das demais unidades federativas (que em termos técnicos, compõem o grupo de “controle”) que melhor replicam a trajetória pregressa do PIB da unidade atingida a partir da proximidade em características (variáveis) observáveis. Esse é exatamente o fundamento da metodologia de Controle Sintético empregada.

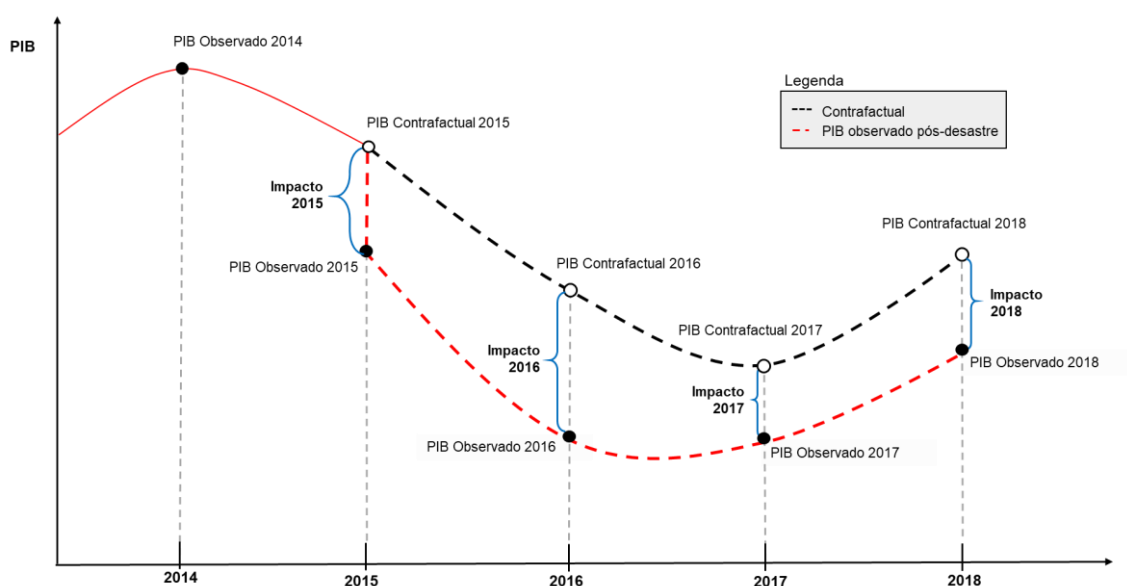
Em estudos anteriores foram apresentadas estimativas da perda do PIB ou renda agregada entre 2015-2017. Mais recentemente, a Nota Técnica elaborada pela Fundação Getulio Vargas (2021a) atualiza as perdas no curto prazo, incluindo as informações do PIB de 2018 disponibilizado pelo IBGE, além de utilizar o deflator implícito do PIB para obter valores a preços de 2020 e introduzir cenários com diferentes taxas de descontos aplicados sobre a perda, com base no custo de oportunidade entre o momento da perda até o ano de 2020.

A metodologia de Controle Sintético é comumente implementada em estudos sobre desastres, que incorpora essa otimização na construção de um contrafactual apropriado. Proposto por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie e colaboradores (2010), o método de Controle Sintético consiste em construir uma região hipotética (ou sintética), semelhante à unidade atingida, formada por uma média ponderada de regiões que não foram afetadas. Essa técnica econométrica permite estimar os valores do PIB de MG e ES, conjuntamente, em sua trajetória contrafactual construída mediante combinações lineares do PIB de estados parecidos com MG e ES. De outro modo, sob a hipótese de não ocorrência do rompimento, MG e ES poderiam ter se comportado assim e, com isso, estimar a diferença entre o PIB observado e o contrafactual, o que corresponde ao impacto do rompimento sobre a renda agregada. Em outras palavras, os impactos são calculados sob duas hipóteses: (i) o desastre não impacta os estados de controle; e (ii) todos os demais fatores que afetam a trajetória do PIB, impactam similarmente os estados atingidos e os de controle.

A fim de ilustrar, simplificada, as principais ideias subjacentes ao método, apresenta-se o Gráfico 1 a seguir que descreve uma série hipotética do PIB. Como se pode notar, o cálculo do impacto é realizado a partir da diferença entre o PIB observado (linha vermelha) e o PIB contrafactual (linha tracejada preta). A metodologia de Controle

Sintético consiste em estimar a trajetória contrafactual (o valor do PIB no contexto da inexistência do rompimento da Barragem de Fundão) a partir de informações relevantes (contidas em séries denominadas covariadas). O PIB contrafactual é então definido como a soma ponderada do PIB das unidades federativas no período pós-rompimento, onde os pesos são selecionados pelo método utilizando as informações das séries de PIB *per capita*.

Gráfico 1 — Diagrama teórico da metodologia de Controle Sintético



Fonte: Elaboração própria (2021).

No tocante à escolha dos potenciais controles incluídos no processo de obtenção dos pesos para o controle sintético, ressaltam-se quatro pontos:

1. Controles: para que se possa estimar o efeito do rompimento é necessário definir um grupo de controle apropriado, no sentido de que as unidades que compõem este grupo não foram afetadas pelo desastre ou por seus efeitos de transbordamentos. Na existência de razões indicativas de que alguma das unidades do grupo de controle esteja sujeita ao mesmo choque e seus transbordamentos pode-se restringir o grupo de controle excluindo a unidade em questão.
2. Choques macroeconômicos: caso afetem tanto a unidade atingida quanto o grupo de controle, então esses choques são levados em conta pela estimação. O impacto é estimado pela diferença entre o PIB observado e o PIB contrafactual, eliminando, assim, efeitos comuns à região atingida e sintética. A suposição é que esses choques afetem todos os estados similarmente.

3. Choques idiossincráticos no controle: quando presente nas unidades do grupo de controle também podem indicar a necessidade de exclusão, caso se considere que o choque não teria efeito sobre a trajetória contrafactual da unidade atingida.
4. Choque idiossincrático na região atingida: quando está presente na região atingida e é concomitante ao rompimento pode confundir o efeito do desastre no PIB. Estes efeitos podem ser filtrados como no caso na construção da série de PIB ajustada às variações do preço do minério de ferro explicada em sequência.

Sabe-se que durante o período em consideração houve variação do preço internacional do minério de ferro. Sob a hipótese de que esta variação afetou as trajetórias de PIB dos estados similarmente, podemos utilizar as séries de PIB observadas. Contudo, se for o caso que MG e ES são afetados diferentemente dos demais, devemos filtrar essa diferença nas trajetórias de PIB. Para tanto, construímos séries de PIB estaduais nas quais são filtradas as oscilações do PIB devido às variações do preço do minério. Isto é feito pelo fato de que uma variação brusca negativa do preço do minério de ferro ocorreu simultaneamente ao período do desastre e que, potencialmente, pode confundir os impactos estimados atribuídos ao rompimento. Por essa razão, em todos os estudos são apresentadas as estimativas de perda no PIB Total de MG e ES para a série diretamente observada (sem ajuste) e a série ajustada pela variação do preço do minério de ferro (com ajuste).

Para cada uma das séries (ajustadas para o preço do minério e não ajustada), estimaram-se quatro modelos contrafactuais (Contrafactual 2 ao 5)¹ com diferentes especificações, são elas:

- Contrafactual 2: Passado do PIB *per capita* de 2002 a 2014.
- Contrafactual 3: Média anual das covariadas de 2002 a 2014 e PIB *per capita* de 2002 a 2004 e de 2011 a 2014. Sendo as covariadas:
 - A média da proporção de terras utilizadas para agricultura, pecuária e área urbana fornecidas pela MapBiomas;
 - A média do estoque de capital humano;
 - A média da densidade populacional do IBGE (habitantes/km²);

¹ A numeração (Contrafactual 2 ao 5) foi mantida dos estudos anteriores para fins de comparabilidade, com a ressalva de que os resultados reportados neste presente estudo estão a preços de 2020, enquanto os anteriores estão a preços de 2016.

- A média da participação do setor de agricultura, da indústria, do setor extrativo e dos serviços no PIB;
- Contrafactual 4: mesmas covariadas do Contrafactual 3 e a média do PIB per capita de 2002 a 2014;
- Contrafactual 5: mesmas covariadas do Contrafactual 3 e PIB *per capita* de 2011 a 2014.

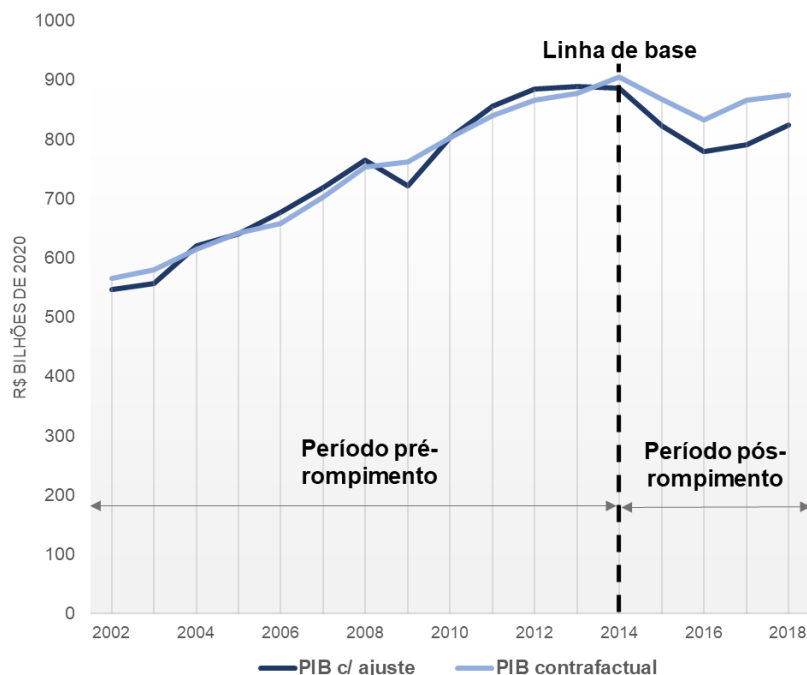
O critério de escolha para as trajetórias contrafactuais estimadas foi pautado pelos resultados com os menores RMSE (sigla em inglês: Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio) pré-rompimento² (de 2002 a 2014). Concentraremos a análise nas duas estratégias de contrafactuais mais apropriadas segundo este critério: os Contrafactuais 2 e 3. A Apêndice B apresenta os demais resultados.

O Gráfico 2 a seguir apresenta a trajetória do PIB de MG e ES e a respectiva trajetória do PIB contrafactual (PIB sintético)³ sob a especificação do Contrafactual 2, ambas com o ajuste pelo preço do minério de ferro.

² Utiliza-se o período a partir de 2002, pois é o período disponibilizado pelo IBGE para as séries de PIB estaduais.

³ Mais precisamente, a estimação do PIB contrafactual é feita utilizando a série de PIB *per capita*, de modo a permitir a comparação entre estados, e obtém-se o PIB multiplicando o PIB *per capita* pela respectiva população do ano corrente.

Gráfico 2 — PIB conjunto de MG e ES e da região sintética estimada via metodologia de Controle Sintético (Contrafactual 2 com ajuste)



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

Observação: Séries de PIB ajustados pelas oscilações no preço do minério de ferro.

O fato de o gráfico mostrar um ajuste melhor até 2014 é resultado da minimização de erros baseada no período pré-rompimento (2002-2014). Um segundo aspecto que vale a pena destacar é que, diferentemente de outras estimativas da literatura, a análise do rompimento se restringe a apenas 4 anos. Todavia, as perdas de PIB podem se estender ao longo de mais de quatro anos após o desastre. Isto porque os danos aos recursos naturais, percepção de risco e expectativas de investimento se prolongam por muito tempo. Em geral, a literatura aponta que os efeitos de desastres continuam a se observar por longos períodos mesmo na presença de ações compensatórias.

Apresentam-se a seguir os resultados do impacto no PIB de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente. Seguindo com os resultados reportados em Fundação Getúlio Vargas (2021a), a Tabela 1, a seguir, é construída a partir da multiplicação dos impactos no PIB *per capita* pelas respectivas populações dos estados de MG e ES, conjuntamente, em cada ano de análise. Utiliza-se a população do ano corrente, ou seja, supõe-se que a população dos estados não foi afetada pelo rompimento. Dado o tamanho físico e populacional desses estados, é razoável esperar que o rompimento não tenha efeitos significativos sobre migração para fora dos mesmos nos anos justamente subsequentes.

Além disso, para cada contrafactual há uma estimação para cada uma das duas séries do PIB com e sem ajuste pela variação do preço do minério de ferro. O objetivo deste ajuste é tentar mitigar os efeitos (potencialmente positivos ou negativos) das variações do preço do minério sobre as estimativas de impacto no PIB.

Tabela 1 — Impacto na renda agregada de MG e ES (R\$ bilhões de 2020)

Ano	Estatística	Contrafactual 2		Contrafactual 3	
		sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste
2015	R\$ bilhões	-41,90	-44,49	-41,87	-44,59
	% do PIB	-4,87	-5,13	-4,87	-5,14
	P-valor	0,15	0,19	0,19	0,15
2016	R\$ bilhões	-47,51	-54,67	-47,47	-54,69
	% do PIB	-5,78	-6,57	-5,78	-6,57
	P-valor	0,27	0,23	0,27	0,27
2017	R\$ bilhões	-71,79	-76,29	-71,75	-76,27
	% do PIB	-8,35	-8,81	-8,35	-8,81
	P-valor	0,15	0,19	0,15	0,19
2018	R\$ bilhões	-45,40	-49,84	-45,37	-49,77
	% do PIB	-5,24	-5,70	-5,23	-5,70
	P-valor	0,38	0,46	0,42	0,42
Acumulado	R\$ bilhões	-206,59	-225,29	-206,46	-225,32
	% do PIB	-6,05	-6,54	-6,05	-6,55
	P-valor	0,23	0,31	0,31	0,31
RSME	Pré	0,63	0,67	0,63	0,67
	Pós	1,79	1,94	1,79	1,94
Composição do estado sintético — pesos (%)					
UF		Contrafactual 2		Contrafactual 3	
		sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste
Pará		28,8		28,8	
Pernambuco			24,2		24,5
Rio de Janeiro		7,1	4,9	7,1	4,9
Rondônia		23,4	29,4	23,4	28,9
Santa Catarina		40,7	41,5	40,6	41,6

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

Observação: O P-valor é construído a partir dos 25 placebos, em cada simulação define-se um estado como atingido e calcula-se o impacto. O P-valor, portanto, é o ranque entre todas as simulações. RSME pré e pós se referem ao ajuste da região sintética com relação à observada.

Do ponto de vista do RMSE pré-rompimento, nota-se que os valores são muito próximos (iguais até a segunda casa decimal) entre os contrafactuais, comparando tanto os contrafactuais 2 e 3 sem ajuste quanto os mesmos ajustados. Uma interpretação para esse resultado é de que, no período pré-rompimento, ambas as regiões sintéticas construídas a partir dos seus respectivos contrafactuais (2 e 3) estão muito próximas ao PIB *per capita* observado de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente.

Desse modo, no Contrafactual 2, estima-se um impacto de magnitude acumulada entre os anos de 2015 e 2018 de R\$ -206,59 bilhões para o PIB observado e de R\$ -225,29 bilhões para o PIB ajustado a preços de 2020. Ainda sob a análise do Contrafactual 2 sem e com ajuste, respectivamente, para cada ano, o tamanho do impacto é estimado no intervalo de R\$ -41,9 bilhões a R\$ -44,49 bilhões em 2015, R\$ -47,51 bilhões a R\$ -54,67 bilhões em 2016, R\$ -71,79 bilhões a R\$ -76,29 bilhões em 2017, e R\$ -45,4 bilhões a R\$ -49,84 bilhões em 2018. Os intervalos são gerados por meio das estimativas utilizando os valores do PIB observados e ajustados. Esses valores representam, em média, uma redução de 6,05% a 6,54% no PIB em comparação ao PIB contrafactual.

Em relação a esse resultado é importante mencionar o formato de U-invertido das perdas de PIB Total com o impacto máximo sendo alcançado em 2017. Como veremos mais à frente, o aumento da magnitude do impacto em 2017 é devido a uma maior recuperação da região sintética relativamente à região diretamente afetada pelo rompimento. Assim, os resultados sugerem que o desastre possa ter prejudicado a recuperação do PIB de MG e ES da recessão do período em relação à região sintética. Ademais, o resultado para o Contrafactual 3 é muito semelhante, como pode ser visto na Tabela 1. O Apêndice B contém os resultados do PIB *per capita* e dos demais contrafactuais apresentados nos estudos anteriores.

Aplica-se o exercício de inferência comum nessa literatura para investigar a plausibilidade de os resultados encontrados serem devidos ao desastre. A estratégia de inferência do impacto que utilizamos neste estudo, e em estudos anteriores da FGV relacionados ao tema, foi proposta por Abadie et. al (2010) e utilizada por DuPont e Noy (2015). A técnica de inferência proposta pelos autores baseia-se em um teste de placebo na linha de testes de permutação, para avaliar a significância dos resultados. Neste caso, supõe-se que todos os demais estados do Brasil, separadamente, foram atingidos por um desastre similar (e hipotético) no mesmo ano de comparação. Para cada estado estima-se um Controle Sintético incluindo todos os demais (inclusive a unidade conjunta de MG e ES) e computa-se o “desastre placebo”. A partir daí, é possível identificar em qual posição ordenada está o impacto sobre a unidade atingida analisada. Desse modo obtém-se o “p-valor” reportado na Tabela 1⁴ como a probabilidade (ou frequência) de se obter um impacto de magnitude similar ou superior entre os placebos. Por sua vez, a magnitude é mensurada através da razão do RMSE

⁴ Para o presente exercício construiu-se um p-valor a partir de um teste bicaudal, a saber, a hipótese alternativa é de que o valor é diferente de zero. Deste modo, o “p-valor” computado se mostra conservador, uma vez que o teste não difere variações positivas ou negativas do PIB dos placebos no momento de calcular o ordenamento.

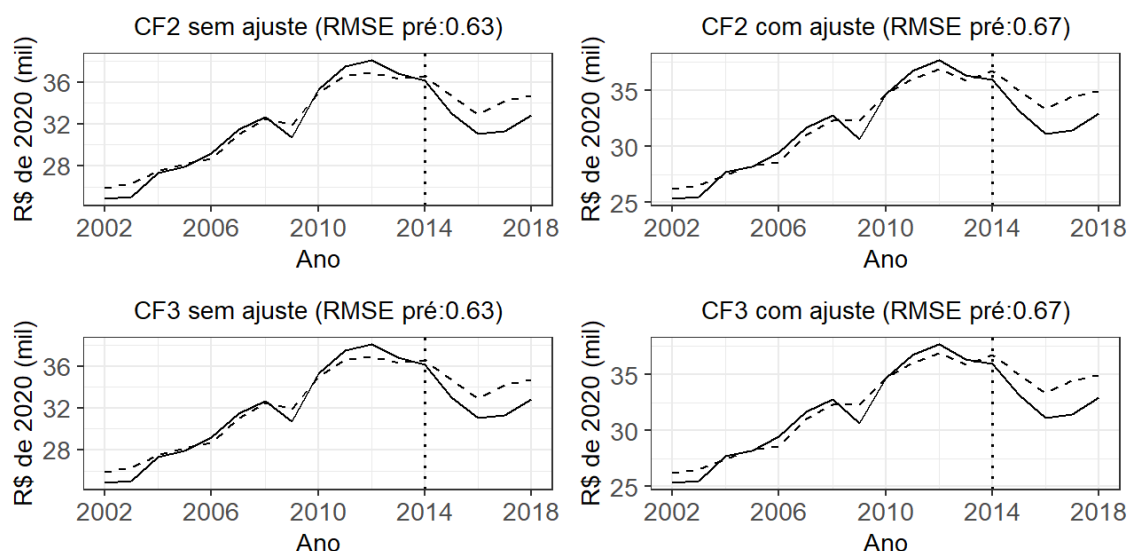
pós sobre o RMSE pré-rompimento. A razão de RMSE mede a distância relativa entre os ajustes pré e pós-rompimento de uma determinada unidade analisada (placebo ou atingida). Note que este “p-valor” difere daquele utilizado em inferência estatística usual.

Esse tipo de inferência é idêntico à inferência por aleatorização clássica, se a intervenção (desastre) fosse aleatoriamente distribuída. O que não é o caso em questão. Uma interpretação desta técnica de inferência neste contexto é a de que este exercício fornece uma comparação entre a magnitude estimada do impacto para a região atingida e as magnitudes dos impactos estimados entre todos os desastres placebos possíveis. Assim, este exercício de inferência permite comparar se o valor do impacto estimado para a região atingida é suficientemente alto em relação à distribuição do impacto placebo estimado para as regiões não atingidas.

Esse exercício, entretanto, deve ser analisado com cautela, pois só há 25 placebos; assim, junto com 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 0,038 (1/26), no mínimo. Uma análise complementar à do p-valor consiste em verificar graficamente a distribuição dos impactos dos placebos e da unidade Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente. Essa análise pode ser encontrada no Apêndice B deste documento.

Para ilustrar a comparação entre o PIB observado e a região sintética em cada uma das estratégias, o Gráfico 3 apresenta a trajetória temporal do PIB *per capita* dos estados de MG e ES observado e a trajetória dos estados de MG e ES sintético para os contrafactuais 2 e 3. Como se pode observar, em todos os casos, após 2014 (ano imediatamente pré-rompimento), os valores contrafactuais do PIB *per capita* são superiores aos valores observados do PIB *per capita* conjunto de Minas Gerais e Espírito Santo, indicando perda de renda agregada em todos os anos, o que já havia sido apresentado na Tabela 1. Além disso, em todos os contrafactuais apresentados é possível notar a recuperação da região sintética em 2017 relativamente à região impactada como descrito anteriormente, o que resulta na maior perda anual de PIB da região atingida.

Gráfico 3 — PIB per capita dos estados de MG e ES e da Região Sintética



Legenda: — Realizado --- Região Sintética

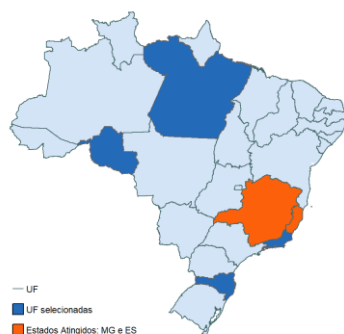
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

O painel inferior da Tabela 1 mostra a composição da região sintética em cada um dos contrafactuais, assim como foi realizado nos estudos relacionados. No Contrafactual 2 (sem ajuste), a região sintética é uma média ponderada dos valores do PIB do Pará (28,8%), Rio de Janeiro (7,1%), Rondônia (23,4%) e Santa Catarina (40,7%). Enquanto no Contrafactual 2 (com ajuste), a região sintética é uma média ponderada dos valores do PIB de Pernambuco (24,2%), Rio de Janeiro (4,9%), Rondônia (29,4%) e Santa Catarina (41,5%).

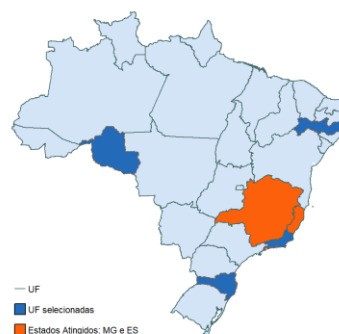
A fim de explorar as escolhas das unidades federativas (pelo Controle Sintético) que compõem a região sintética em cada um dos contrafactuais, a Figura 1 apresenta geograficamente as unidades federativas selecionadas para a composição do PIB *per capita* sintético de MG e ES em cada uma das composições contrafactuais apresentadas. Nota-se que a escolha dos estados difere com a utilização do PIB *per capita* ajustado ou sem ajuste. Em particular, o estado do Pará deixa de compor a região sintética no contrafactual com ajuste pela variação no preço do minério de ferro. Este resultado não apresenta surpresa uma vez que este estado também possui uma relevante atividade extrativa mineral. Entretanto, os Contrafactuais 2 e 3 selecionam os mesmos estados, em cada um desses casos.

Figura 1 — Estados escolhidos nos Controles Sintéticos

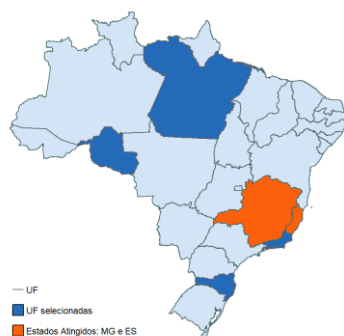
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita* sem ajuste



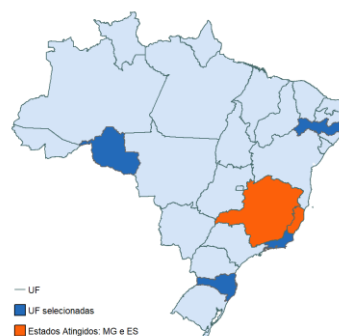
(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita* com ajuste



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



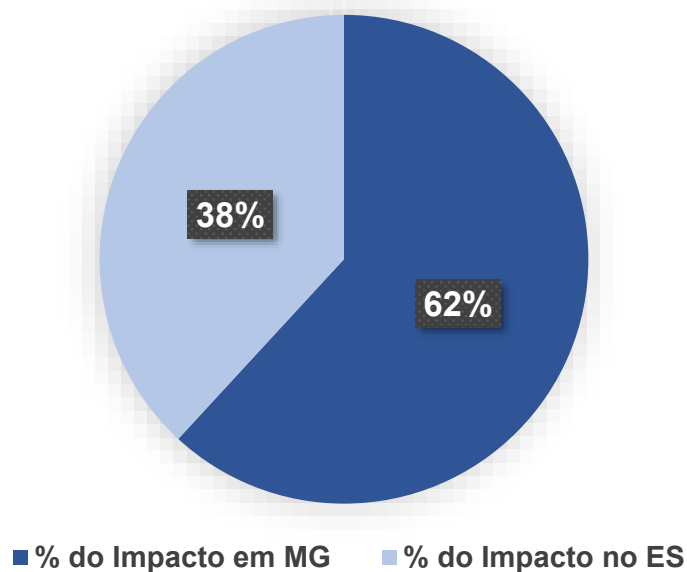
(d) Contrafactual 3 — PIB *per capita* com ajuste



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

1.1 Decomposição do impacto total para os estados de MG e ES

Em um estudo complementar, Fundação Getúlio Vargas (2021b), estimou-se a proporção do impacto total (entre 2015 e 2018) correspondente aos estados de MG e ES. O Gráfico 4 a seguir reporta o resultado. Como se pode observar, estima-se que 38% da perda da renda agregada total corresponde ao ES, enquanto 62% correspondem a MG.

Gráfico 4 — Proporção do impacto entre MG e ES na perda de PIB total

Fonte: Elaboração própria (2021), com base em IBGE.

1.2 Aplicação das taxas de juros reais nas perdas

Devido ao fato de as perdas econômicas terem ocorrido entre 2015 e 2018 e a necessidade de avaliar a soma da perda total nesses 4 anos em unidades comparáveis, adiciona-se à essa perda o custo de oportunidade desses fluxos equivalente aos juros que teriam sido auferidos caso não houvesse essa perda de renda. Para incluir esse custo de oportunidade, usamos aqui o custo das captações do Tesouro Nacional Brasileiro como representativo dessa perda de juros.

Com o propósito de oferecer a sensibilidade a esse custo de oportunidade, inclui-se o cálculo com três taxas de desconto: 0% a.a., 3% a.a. e 5% a.a. O caso da taxa de juros de 0% corresponde aos valores reais a preços de 2020. A taxa de juros de 3% a.a. era a taxa de juros de títulos do governo (*i.e.*, NTN-B 2026, comercializada em fevereiro de 2021 – ou Tesouro IPCA, na nova nomenclatura) que é representativa do custo de oportunidade do poupador no longo prazo para a economia brasileira. Esta taxa, por vezes, tem atingido valores de 5% a.a. ou mais. Assim, perdas ocorridas em 2016, por exemplo, precisam ser corrigidas pela taxa de juros por 4 anos e a inflação de 4 anos para obtenção do seu valor futuro a preços de 2020 e serem comparáveis a perdas ocorridas nesse ano.

Quadro 1 — Cenário de referência

Cenário de referência:

Impacto calculado a partir da série de PIB per capita contrafactual estimada via Controle Sintético, ajustada pela variação do preço do minério de ferro (especificação Contrafactual 2 com ajuste).

Computadas as perdas do PIB real a preços de 2020 (perda no PIB per capita vezes a população corrente), aplicou-se a taxa de desconto de 3% a.a.

Fonte: Elaboração própria (2021).

A Tabela 2, a seguir, mostra as estimativas de perda acumulada do PIB de MG e ES entre 2015 e 2018, na especificação de referência, supracitada no box anterior, que possui o melhor ajuste pré-rompimento em relação à série observada⁵.

Tabela 2 — Perdas estimadas no PIB Total de 2015 a 2018 via método do Controle Sintético (R\$ bilhões de 2020)

Unidade atingida	Proporção do impacto	Variação no PIB 2015-2018		
		Taxa de desconto: 0%	Taxa de desconto: 3%	Taxa de desconto: 5%
PIB ES	38%	-86	-95	-101
PIB MG	62%	-140	-154	-166
PIB Total (MG+ES)	100%	-225	-249	-267
% do PIB Contrafactual		-6,54	-6,53	-6,54

Fonte: Elaboração própria (2021).

Observação: Resultados calculados a partir do Contrafactual 2 com ajuste (FGV, 2021a).
Cenário de referência destacado em cinza.

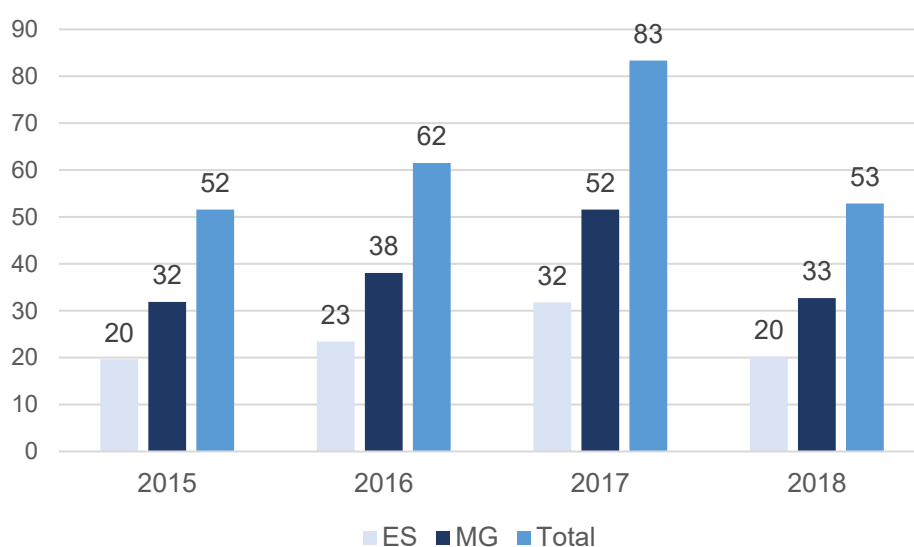
Na comparação entre os resultados, a perda estimada do PIB Total de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente, está entre R\$ 225 bilhões (taxa de 0%) e R\$ 267 bilhões (taxa de 5%) em valores de bilhões de reais de 2020. Essa perda representa 6,54% do PIB contrafactual sob a taxa de 0%, 6,53% sob a taxa de 3% e 6,54% em 5% de desconto. Desse total, a perda estimada do estado do ES está entre R\$ 86 bilhões (taxa

⁵ O critério de decisão do melhor ajuste é feito a partir do cálculo da Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE, da sigla em inglês) no período pré-rompimento (2002-2014), utilizado para comparar os resultados contrafactuais estimados.

de 0%) e R\$ 101 bilhões (taxa de 5%), enquanto a perda estimada do estado de MG está entre R\$ 140 bilhões (taxa de 0%) e R\$ 166 bilhões (taxa de 5%).

Uma análise ano a ano pode ser verificada, a seguir, no Gráfico 5 que mostra a perda estimada de PIB anual dos estados do ES e MG e a perda total sob a taxa de juros de 3%. É necessário ter em conta a taxa de juros uma vez que as perdas estimadas são economicamente maiores que o simples cômputo das perdas contábeis quando se leva em consideração os custos de alocação de recursos ao longo do tempo.

Gráfico 5 — Perda estimada do PIB anual de MG e ES 2015-2018 – Taxa de juros de 3% a.a. (R\$ bilhões de 2020)



Fonte: Elaboração própria (2021).

Observação: Resultados calculados a partir do Contrafactual 2 com ajuste (FGV, 2021a).

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta nota resume alguns dos principais resultados sobre o impacto que o rompimento da Barragem de Fundão, em novembro de 2015, causou para a economia dos Estados de MG e ES obtidos em estudos anteriores. Especificamente, estimam-se ordens de grandezas de perdas do PIB conjunto dos dois estados atingidos. A opção metodológica para determinar o tamanho da perda do PIB foi pela comparação com um PIB contrafactual obtido pela metodologia do Controle Sintético. A ordem de grandeza da perda acumulada em 4 anos é obtida por vários contrafactuais alternativos, desde uma comparação simples com o resto do Brasil, como através do controle de variáveis como o preço do minério de ferro e variáveis características de vários estados que não foram afetados pelo derramamento e que os torna similares à economia de MG e ES. O cenário de referência é o que utiliza a série pregressa do PIB ajustada à variação do preço do minério de ferro (Contrafactual 2 com ajuste) com a aplicação da taxa de desconto de 3% a.a. Para esse cenário estima-se uma perda acumulada de R\$ 249 bilhões para os anos de 2015 a 2018 a preços de 2020. A ordem de grandeza da perda de renda agregada sugere que o custo do desastre, em termos de renda, foi maior que simplesmente somar as perdas nos municípios que margeiam o Rio Doce e a costa marítima capixaba.

REFERÊNCIAS

ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of American statistical Association**, 2010, p. 493-505.

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

DUPONT IV, W. A. I. N. What happened to Kobe? A reassessment of the impact of the 1995 earthquake in Japan. **Economic Development and Cultural Change**, 2015, p. 777-812.

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

_____. **Rompimento da Barragem de Fundão: Estimativas da Perda Acumulada da Arrecadação Pública dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo para o Período de Dados Observados**. São Paulo; Rio de Janeiro: FGV, 2021b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema de Contas Nacionais**, 2020. <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>>.

APÊNDICE A — Memória de cálculo

Uma vez estimados os pesos no controle sintético (tabela a seguir), a etapa seguinte consiste em calcular o PIB *per capita* contrafactual.

Tabela 1 — Unidades Federativas selecionadas e respectivos pesos obtidos via método do Controle Sintético

UF	Peso	Id	UF	Peso	Id
Acre	0	w_1	Paraná	0	w_{14}
Alagoas	0	w_2	Pernambuco	0,242	w_{15}
Amapá	0	w_3	Piauí	0	w_{16}
Amazonas	0	w_4	Rio de Janeiro	0,049	w_{17}
Bahia	0	w_5	Rio Grande do Norte	0	w_{18}
Ceará	0	w_6	Rio Grande do Sul	0	w_{19}
Distrito Federal	0	w_7	Rondônia	0,294	w_{20}
Goiás	0	w_8	Roraima	0	w_{21}
Maranhão	0	w_9	Santa Catarina	0,415	w_{22}
Mato Grosso	0	w_{10}	São Paulo	0	w_{23}
Mato Grosso do Sul	0	w_{11}	Sergipe	0	w_{24}
Pará	0	w_{12}	Tocantins	0	w_{25}
Paraíba	0	w_{13}			

Fonte: Elaboração própria (2021).

Observação: Resultados calculados a partir do Contrafactual 2 com ajuste.

Para um dado ano, a construção do PIB *per capita* contrafactual será:

$$PIBpc^{cf} = w_{15} * PIBpc^{PE} + w_{17} * PIBpc^{RJ} + w_{20} * PIBpc^{RO} + w_{22} * PIBpc^{SC}$$

Aplicando essa fórmula para o ano de 2015:

$$\begin{aligned}
 PIBpc^{cf} &= 0,242 * PIBpc^{PE} + 0,049 * PIBpc^{RJ} + 0,294 * PIBpc^{RO} + 0,415 * PIBpc^{SC} \\
 &= 0,242 * 21,503 + 0,049 * 51,521 + 0,294 * 26,602 + 0,415 * 46,783 \\
 &\cong 34,967
 \end{aligned}$$

Valores aproximados para 3 casas decimais (na estimação do controle sintético 12 casas decimais).

$$\begin{aligned}
 \text{Impacto per capita} &= PIBpc - PIBpc^{cf} \\
 &= 33,173 - 34,967 \\
 &= -1,794
 \end{aligned}$$

Sabemos que o PIB per capita de MGES ajustado em 2015 é de R\$ 33.173/ano. O impacto per capita neste exercício é de –R\$ 1.794/ano. Para calcular a perda da renda agregada (PIB) multiplica-se o impacto per capita pela população, totalizando:

$$\begin{aligned}\text{Impacto PIB} &= -1,794 * 24,799 \\ &= -44,49\end{aligned}$$

Como se pode observar, na tabela de resultados o impacto é de R\$ 44,49 bilhões, essa diferença se dá pelos arredondamentos aqui apresentados para fins de simplificação. Esse procedimento é análogo para todos os anos pós-rompimento sob análise no controle sintético (2015 a 2018). É importante ressaltar que a matriz (ou vector ou simplesmente os pesos) de peso $w = w_1, \dots, w_4$ é constante para todo o período, a diferença está nos valores dos PIB per capita de cada estado do controle sintético, e a população de MG e ES (conjunta) que multiplica o impacto per capita.

Esse valor corresponde à perda da renda agregada de MG e ES conjuntamente para o ano de 2015 sob uma taxa de juros de 0% a.a., quando se aplica um custo de oportunidade nesse montante com juros positivos faz-se necessário o cálculo do valor presente da perda para o ano de 2020 como base. Para um dado ano, pode-se calcular o valor presente (base 2020) da seguinte maneira:

$$\text{Impacto PIB (com desconto)} = (\text{Impacto PIB}) * (1 + i)^t$$

Sendo i a taxa de juros aplicada e t o número de anos entre o impacto e 2020, ano base para o cômputo da perda agregada. Vamos manter o impacto de 2015 sob análise. Sob uma taxa de juros de 3% – taxa de referência dos estudos da FGV nesse caso – teremos:

$$\begin{aligned}\text{Impacto PIB (com desconto)} &= (\text{Impacto PIB}) * (1 + i)^t \\ &= (-44,49) * (1 + 0,03)^{(2020-2015)} \\ &= -51,58\end{aligned}$$

Lembrando que os valores estão aproximados por conta do número de casas decimais utilizadas. Desta maneira, chegamos no valor de –R\$ 51,58 bilhões ($\cong$ –R\$ 52 bilhões reportado na tabela com zero casas decimais), que corresponde ao impacto para o ano de 2015 sob uma taxa de juros de 3% em valor presente de 2020. Esse é o valor que está representado no Gráfico 6. O procedimento é análogo para os demais anos com informações disponíveis (2016, 2017 e 2018).

Por fim, a tabela a seguir resume as principais informações necessárias para se calcular as perdas do PIB de MGES (conjuntamente) para cada ano de 2015 a 2018:

Tabela 2 — Tabela com as informações necessárias para se obter os resultados anuais

Ano	População (milhões)		PIB per capita em R\$ milhares de 2020/ano			
	MGES	MGES	Rondônia	Pernambuco	Rio de Janeiro	Santa Catarina
2015	24,799	33,173	26,602	21,503	51,521	46,783
2016	24,971	31,157	26,264	21,060	46,080	44,019
2017	25,136	31,411	27,582	21,897	46,122	45,244
2018	25,013	32,942	28,006	21,451	48,631	46,085

Fonte: Elaboração própria (2021).

APÊNDICE B — Demais resultados do controle sintético

O presente apêndice contém as principais informações dos resultados do controle sintético incluindo o ano de 2018, assim como as atualizações do IBGE apresentadas no apêndice anterior.

A Tabela 1 apresenta os resultados de todas as especificações de contrafactuais dos estudos anteriores, incorporando o ano de 2018 e agora com os resultados a preços de 2020, calculados a partir do deflator do PIB no período. A Tabela 2, por sua vez, indica os resultados estimados para o PIB *per capita* de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente.

O Gráfico 1, por sua vez, apresenta as dinâmicas dos PIBs *per capita* de todas as unidades federativas, com enfoque para as selecionadas e a de Minas Gerais e Espírito Santo. Em todos os casos utilizaram-se 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.

Uma análise complementar à do p-valor pode ser vista nos painéis (a) e (b) do Gráfico 2 e do Gráfico 3 que mostram a distribuição dos impactos dos placebos e do estado de Minas Gerais e Espírito Santo, linha vermelha, para o PIB sem e com ajuste respectivamente, do Contrafactual 2.

Tabela 1 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES (R\$ bilhões de 2020)

Ano	Estatística	Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste
2015	R\$ bilhões	-41,90	-44,49	-41,87	-44,59	-29,99	-40,62	-38,99	-52,19
	% do PIB	-4,87	-5,13	-4,87	-5,14	-3,53	-4,71	-4,55	-5,97
	P-valor	0,15	0,19	0,19	0,15	0,38	0,23	0,19	0,12
2016	R\$ bilhões	-47,51	-54,67	-47,47	-54,69	-51,51	-55,43	-66,48	-70,30
	% do PIB	-5,78	-6,57	-5,78	-6,57	-6,24	-6,65	-7,91	-8,29
	P-valor	0,27	0,23	0,27	0,27	0,31	0,38	0,15	0,15
2017	R\$ bilhões	-71,79	-76,29	-71,75	-76,27	-63,92	-56,20	-76,81	-72,91
	% do PIB	-8,35	-8,81	-8,35	-8,81	-7,51	-6,64	-8,88	-8,45
	P-valor	0,15	0,19	0,15	0,19	0,23	0,31	0,12	0,19
2018	R\$ bilhões	-45,40	-49,84	-45,37	-49,77	-13,27	10,18	-35,55	-12,70
	% do PIB	-5,24	-5,70	-5,23	-5,70	-1,59	1,25	-4,15	-1,52
	P-valor	0,38	0,46	0,42	0,42	0,77	0,85	0,54	0,77
Acumulado	R\$ bilhões	-206,59	-225,29	-206,46	-225,32	-158,69	-142,06	-217,83	-208,09
	% do PIB	-6,05	-6,54	-6,05	-6,55	-4,72	-4,23	-6,36	-6,08
	P-valor	0,23	0,31	0,31	0,31	0,58	0,58	0,42	0,54
RSME	Pré	0,63	0,67	0,63	0,67	0,97	1,22	0,93	1,28
	Pós	1,79	1,94	1,79	1,94	1,49	1,51	1,93	1,94
Composição do Estado sintético – Pesos (%)									
UF	Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5		
	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	
Goiás						65,5		45,2	
Mato Grosso do Sul							16,8	0,2	
Pará	28,8		28,8		57,4	18,9	52,6	25,6	
Paraná					10,5			13,5	
Pernambuco		24,2		24,5					
Rio de Janeiro	7,1	4,9	7,1	4,9					
Rondônia	23,4	29,4	23,4	28,9					
Santa Catarina	40,7	41,5	40,6	41,6					
São Paulo					32,2	15,5	30,6	15,5	

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

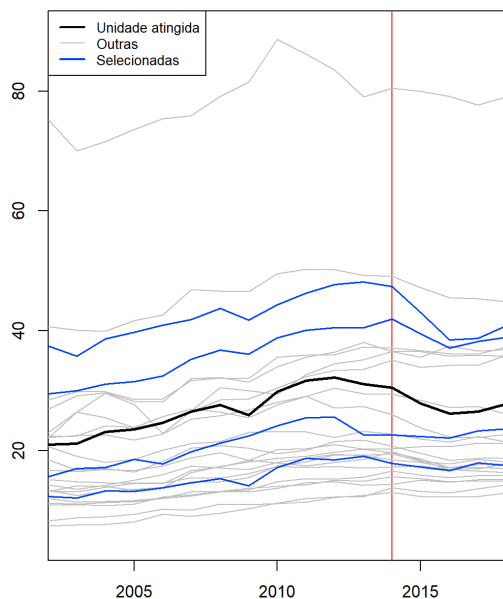
Tabela 2 — Resultados estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB *per capita* de MG e ES (R\$ milhares de 2020)

Ano	Estatística	Contrafactual 2		Contrafactual 3		Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste	com ajuste	sem ajuste
2015	R\$ mil	-1,69	-1,79	-1,69	-1,80	-1,21	-1,64	-1,57	-2,10
	% do PIB	-4,87	-5,13	-4,87	-5,14	-3,53	-4,71	-4,55	-5,97
	P-valor	0,15	0,19	0,19	0,15	0,38	0,23	0,19	0,12
2016	R\$ mil	-1,90	-2,19	-1,90	-2,19	-2,06	-2,22	-2,66	-2,82
	% do PIB	-5,78	-6,57	-5,78	-6,57	-6,24	-6,65	-7,91	-8,29
	P-valor	0,27	0,23	0,27	0,27	0,31	0,38	0,15	0,15
2017	R\$ mil	-2,86	-3,04	-2,85	-3,03	-2,54	-2,24	-3,06	-2,90
	% do PIB	-8,35	-8,81	-8,35	-8,81	-7,51	-6,64	-8,88	-8,45
	P-valor	0,15	0,19	0,15	0,19	0,23	0,31	0,12	0,19
2018	R\$ mil	-1,82	-1,99	-1,81	-1,99	-0,53	0,41	-1,42	-0,51
	% do PIB	-5,24	-5,70	-5,23	-5,70	-1,59	1,25	-4,15	-1,52
	P-valor	0,38	0,46	0,42	0,42	0,77	0,85	0,54	0,77
Acumulado	R\$ mil	-8,26	-9,01	-8,26	-9,01	-6,35	-5,69	-8,71	-8,33
	% do PIB	-6,05	-6,54	-6,05	-6,55	-4,72	-4,23	-6,36	-6,08
	P-valor	0,23	0,31	0,31	0,31	0,58	0,58	0,42	0,54
RSME	Pré-rompimento	0,63	0,67	0,63	0,67	0,97	1,22	0,93	1,28
	Pós-rompimento	1,79	1,94	1,79	1,94	1,49	1,51	1,93	1,94

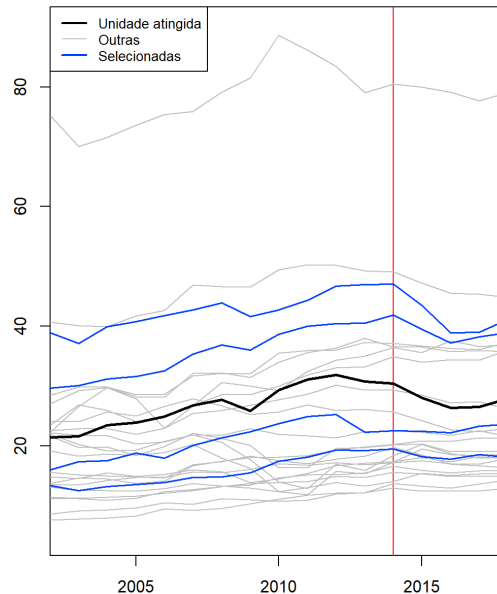
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Gráfico 1 — PIB *per capita* dos estados selecionados nos controles sintéticos

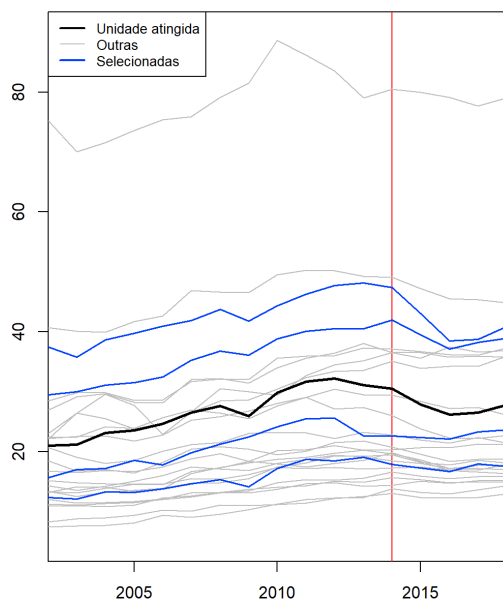
(a) Contrafactual 2 – PIB *per capita* sem ajuste



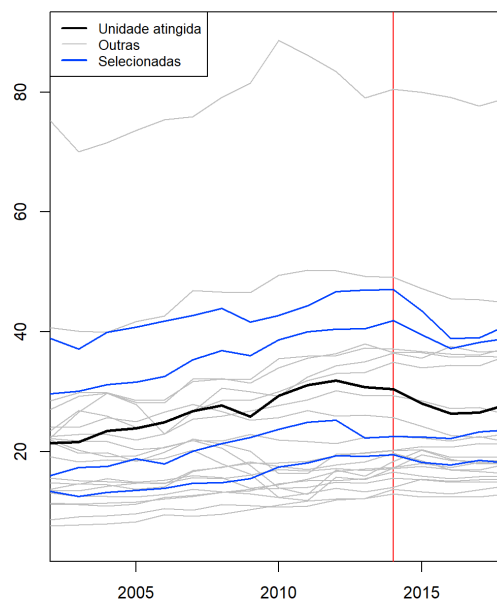
(b) Contrafactual 2 – PIB *per capita* com ajuste



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



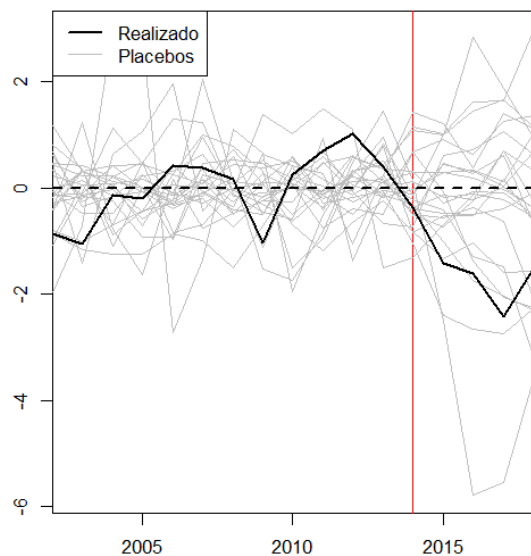
(d) Contrafactual 3 – PIB *per capita* com ajuste



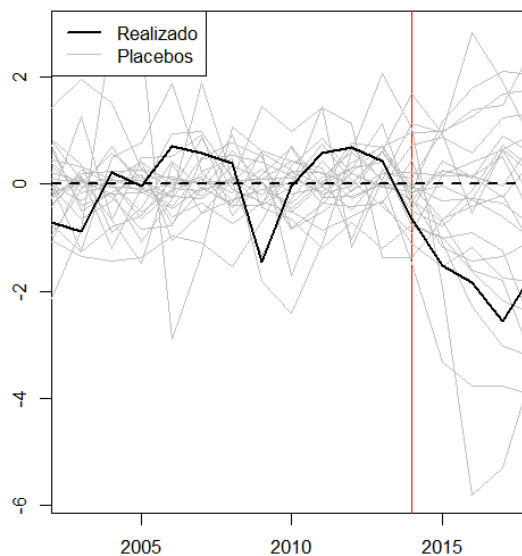
Fonte: Elaboração própria (2021), a partir de dados do IBGE.

Gráfico 2 — MG e ES: placebos

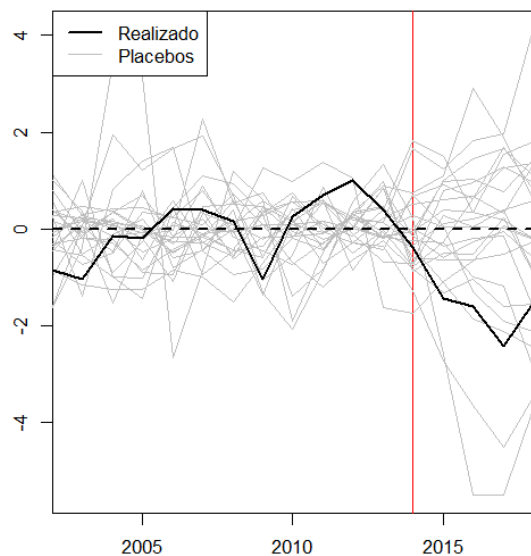
(a) Contrafactual 2 – PIB *per capita* sem ajuste



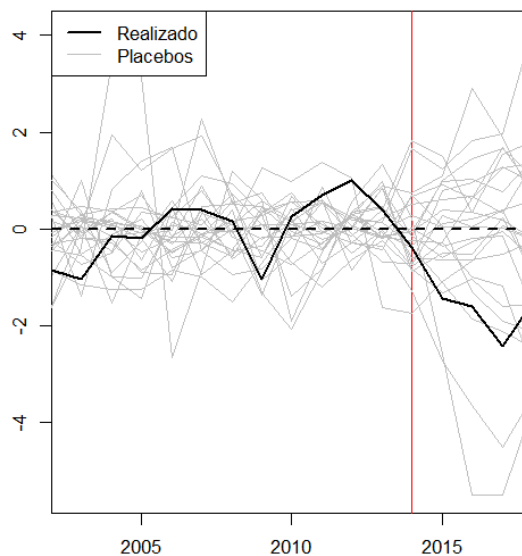
(b) Contrafactual 2 – PIB *per capita* com ajuste



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



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



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