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

Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo

FGV

DEZEMBRO DE 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/FGV

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.

87 p.

Em colaboração com: Ana Carolina Marinato Resende, André Portela Fernandes de Souza, Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón, Rafael Morrone Barbat Parfitt, Reynaldo Fernandes, Ronan Cunha, Vítor Augusto Possebom.

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 econômicos - Minas Gerais. 4. Barragens e açudes - Aspectos Econômicos - Espírito Santo I. Título.

CDD – 627.8

EQUIPE TÉCNICA

Ana Carolina Marinato Resende

André Portela Fernandes de Souza

Guillermo Roberto Tomás Málaga Butrón

Rafael Morrone Barbat Parfitt

Reynaldo Fernandes

Ronan Cunha

Vítor Augusto Possebom

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Resumo dos impactos estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES 17
Figura 2 — Fluxograma com as três óticas da renda agregada 19
Figura 3 — Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil 21
Figura 4 — PIB per capita do Brasil (R$ de 2016) 21
Figura 5 — Taxa de variação (%) do PIB dos estados brasileiros (a) Biênio 2012-2014 22
Figura 6 — PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (R$ de 2016) 23
Figura 7 — PIB per capita dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (R$ de 2016) 23
Figura 8 — Participação dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (%) 24
Figura 9 — Correlação entre as taxas de crescimento (%) do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo 25
Figura 10 — Correlação entre as taxas de crescimento (%) do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo e o Brasil 25
Figura 11 — Composição setorial da economia do Brasil, MG e ES em 2014 26
Figura 12 — Variação do PIB dos setores de Minas Gerais, 2014-2016 27
Figura 13 — Variação do PIB dos setores do Espírito Santo, 2014-2016 27
Figura 14 — Preço do minério de ferro (USD/Mton) 28
Figura 15 — Participação do setor extrativo — BR, MG e ES (%) 29
Figura 16 — Composição do PIB do Brasil, Minas Gerais e Espírito Santo em 2014 pela ótica da renda 30
Figura 17 — Variação dos componentes do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo pela ótica da renda 30
Figura 18 — Cenários para o impacto do desastre no longo prazo 34
Figura 19 — Definição de impacto 44
Figura 20 — PIB com rompimento e na ausência de ações reparadoras 45
Figura 21 — Controle sintético 48
Figura 22 — Correlação entre as taxas de crescimento (%) do PIB de MG e ES 54
Figura 23 — Comparação entre o PIB observado e ajustado 56
Figura 24 — Comparação entre o PIB per capita observado e ajustado 57
Figura 25 — PIB dos estados de MG e ES e do Estado Sintético 64
Figura 26 — Placebos 65
Figura 27 — Distribuição acumulada da razão pré/pós-RMSE 66

Figura 28 — Valor da variação do PIB de MG e ES atribuído ao rompimento da Barragem de Fundão 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Resumo dos trabalhos analisados na revisão da literatura..... 41
Tabela 2 — Variação do PIB brasileiro na ausência dos estados de MG e ES..... 47
Tabela 3 — Modelo de regressão para o ajuste do PIB aos choques do preço de minério de ferro..... 55
Tabela 4 — Estimativas do impacto no PIB dos estados de Minas Geras e Espirito Santos 63

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO 7
1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Conceitos 17
1.2 Contextualização 20
2 REVISÃO DA LITERATURA 32
3 METODOLOGIA 43
3.1 Avaliação de impacto 43
3.2 Construção de contrafactual 46
3.3 Controle sintético 47
3.4 Placebos 51
3.5 Variável dependente 53
3.6 Modelos e variáveis de controle 57
4 RESULTADOS 59
5 CONCLUSÕES 68
REFERÊNCIAS 69
APÊNDICE A 74
APÊNDICE B 76
APÊNDICE C 80
APÊNDICE D 81
APÊNDICE E 82

SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente estudo estima o impacto do rompimento da Barragem de Fundão em Minas Gerais, ocorrido em 2015, sobre o Produto Interno Bruto (PIB) ou renda agregada dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, conjuntamente.

Desastres tecnológicos ou naturais provocam perdas de fluxos de produção e renda. Essas perdas podem impactar a atividade econômica através de diferentes canais como: (i) interrupção de atividades produtivas diretamente afetadas (e.g., parada da produção mineral); (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); (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., 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.

O impacto nos fluxos de produção e renda em uma economia pode ser medido através do Produto Interno Bruto (PIB). 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.

O presente estudo apresenta uma análise sobre o impacto do rompimento através de uma perspectiva macroeconômica dos estados diretamente afetados — Minas Gerais e Espírito Santo. 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 mesmo, por ter perturbado toda a cadeia produtiva.

O impacto do rompimento da barragem no PIB e renda agregada dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo são estimados conjuntamente. Analisa-se os dois estados conjuntamente devido à próxima conexão econômica que existe entre eles, principalmente em setores importantes para ambos, como o setor de extração. Para atingir esse objetivo, elabora-se uma avaliação de impacto cuja abordagem se baseia na construção de um estado hipotético cuja trajetória de PIB e demais características econômicas são semelhantes àquelas observadas nos dois estados com a exceção de não ter sofrido o rompimento da barragem. Esse estado hipotético busca representar o que teria sido a trajetória do PIB e renda agregada caso não houvesse ocorrido o rompimento. Para isso, utiliza-se o método de controle sintético desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie et al. (2010). Esta metodologia é amplamente utilizada em estudos de impactos econômicos de desastres e consiste em obter pesos ótimos para os demais estados não afetados de modo a compor um estado hipotético que melhor ajuste a trajetória do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo no período anterior ao rompimento. Ao comparar o PIB ou renda agregada de Minas e Espírito Santo com o PIB ou renda agregada desse estado hipotético no período pós-rompimento, é possível mensurar o impacto no seu nível de produção e renda agregada.

Essa abordagem possui vários desafios. Por exemplo, i) as condições econômicas em 2015 eram adversas para o Brasil; ii) parte da variação do PIB dos estados foi devida à conjuntura econômica; e iii) outros estados também apresentaram contrações da atividade econômica. Essas dificuldades trazem incertezas em relação às estimações pontuais, portanto, constrói-se cenários alternativos dentro do qual os valores do impacto podem variar. Os cenários variam em função do grupo de estados e seus pesos relativos que entram na composição do estado hipotético. Isso, por sua vez, varia em função das variáveis consideradas (séries de PIB e demais variáveis relacionadas) e dos anos pré-rompimento considerados. Ademais, utilizam-se duas séries de PIBs, a série observada através dos dados das Contas Nacionais do IBGE e a série ajustada para os valores do PIB que eliminam os distúrbios causados pelas flutuações dos preços do minério de ferro.

A Tabela 1 a seguir apresenta os valores do impacto no PIB para os anos de 2015 e 2016 em valores de reais de 2016 para todos os cinco cenários ou situações contrafatuais consideradas no estudo. Levando-se em conta todos os cenários alternativos, os impactos negativos para os anos de 2015 estão no intervalo de R$ 31,71 bilhões a R$ 41,48 bilhões, que correspondem a uma perda de 4,36% e 5,63% no PIB contrafactual de 2015, respectivamente. Para 2016, estima-se de R$ 39,53 bilhões a R$ 56,46 bilhões, que correspondem a uma perda de 5,70% e 7,95% no PIB contrafactual

de 2016, respectivamente. No acumulado dos dois anos, estima-se que o impacto no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo varia de R$ 74,62 bilhões a R$ 97,38 bilhões.

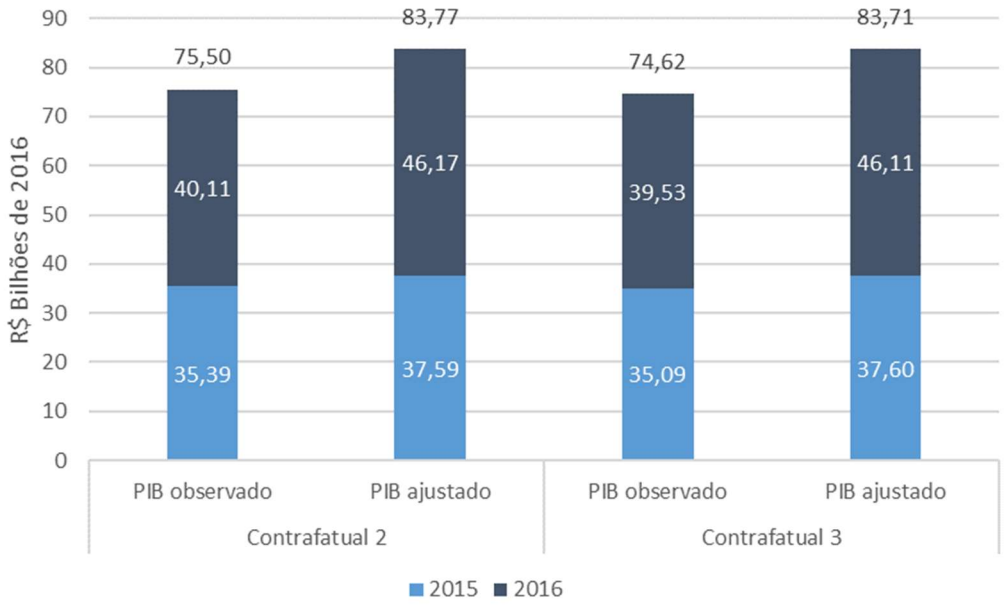
Tabela 1 — Resumo dos impactos estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES (R$ bilhões de 2016)

Ano		Contrafatual 1		Contrafatual 2		Contrafatual 3		Contrafatual 4		Contrafatual 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	-37,65	-35,39	-37,59	-35,09	-37,60	-32,68	-31,71	-33,16	-41,48
	% do PIB	-5,00	-5,14	-4,87	-5,13	-4,83	-5,13	-4,51	-4,36	-4,58	-5,63
2016	R$ bilhões	-51,88	-53,03	-40,11	-46,17	-39,53	-46,11	-55,79	-44,74	-56,46	-55,90
	% do PIB	-7,35	-7,47	-5,78	-6,57	-5,70	-6,56	-7,86	-6,38	-7,95	-7,84
Acumulado	R$ bilhões	-88,31	-90,68	-75,50	-83,77	-74,62	-83,71	-88,48	-76,45	-89,62	-97,38
	% do PIB	-6,16	-6,29	-5,31	-5,83	-5,25	-5,83	-6,16	-5,35	-6,24	-6,72
Composição do estado sintético											
UF											
Rondônia				23,4	29,4	23	28,9				
Pará				28,8		29,3		52,7		52,5	23,7
Pernambuco					24,2		24,6				
Bahia									16,7		
Rio de Janeiro				7,1	4,9	7,5	5				
São Paulo								30,7	14,1	30,5	15,6
Paraná											9,8
Santa Catarina				40,7	41,5	40,2	41,5				
Mato Grosso do Sul								16,5		17,1	
Goiás									69,2		50,9

Fonte: Elaboração própria (2019).

Entre todos os cenários considerados, o estudo considera os contrafactual 2 e contrafactual 3 aqueles que apresentam possivelmente as melhores estimativas haja visto que provém dos modelos que apresentaram os melhores ajustes. As perdas estimadas utilizando a série de PIB observada no contrafactual 2 são de R$ 35,39 bilhões e R$ 40,11 bilhões em 2015 e 2016, respectivamente. Essas perdas de renda correspondem a 4,87% e 5,78% dos PIBs contrafatuais de 2015 e 2016, respectivamente. A Figura 1 a seguir apresenta o resumo dos resultados selecionados.

Figura 1 — Impactos estimados selecionados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES (R$ bilhões de 2016)



Fonte: Elaboração própria (2019).

Ademais, utilizando os resultados dos PIBs contrafatuais, pode-se também estimar o impacto do rompimento sobre a variação do PIB observado no intervalo de anos antes e depois do rompimento. A queda do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo entre os anos de 2014 e 2016 foi de R$ 96,62 bilhões De acordo com os resultados do cenário contrafactual 2, estima-se que R$ 40,11 bilhões (41,51%) do valor dessa queda são atribuídos ao rompimento.

Por fim, é importante ressaltar que existem limitações no uso do Produto Interno Bruto como medida de perda de fluxo de produção e renda. Primeiro, existe uma delimitação espacial. O PIB é medido por regiões (e.g., estados) e os efeitos econômicos do rompimento podem ser diferentes para áreas distintas e que não correspondem necessariamente à divisão regional utilizada nas medidas de PIB. Segundo, a medida

do PIB não inclui a produção de bens e serviços que não é voltada ao mercado (e.g., produção para autoconsumo) nem produção domiciliar. Logo, não capta uma parte da produção de bens e serviços relevante para o bem-estar das pessoas. Terceiro, não capta inteiramente a perda do estoque de riquezas.

1 INTRODUÇÃO

No dia 5 de novembro de 2015, um dos diques da barragem de rejeitos do Fundão no município de Mariana (MG), pertencente à mineradora Samarco Mineração S.A., se rompeu lançando uma onda de lama e rejeitos minerais sobre vilas, cidades e casas na bacia do Rio Doce. O volume do vazamento atingiu 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos liquefeitos sobre os rios Gualaxo do Norte e Carmo, antes atingir o Rio Doce. Percorreu 663 km de distância até atingir a foz do Rio Doce no litoral do Espírito Santo e invadir 80 km^2 no mar. Esse rompimento causou grandes danos materiais, ambientais e humanos: 19 vidas foram perdidas, 1.200 desabrigados e 1.469 hectares de terras foram cobertos de lama e 35 municípios entraram em situação de emergência ou calamidade pública (ANA, 2015; IBAMA, 2015). A Secretaria de Desenvolvimento Urbano de Minas Gerais (SEDRU, 2016) estima perdas da ordem de R$ 1.054.585.336,00 em infraestrutura e prejuízos nos negócios da região.

Além de todas essas perdas, o rompimento afetou as economias das regiões atingidas. Uma consequência imediata do rompimento da barragem é a destruição dos fatores de produção (máquinas, estradas, imóveis, recursos naturais, entre outros), que impacta diretamente a produção das regiões afetadas. O impacto pode afetar outros municípios e setores que não foram inicialmente atingidos através da conexão na cadeia produtiva (Pelling et al., 2002; Hallegate e Przyluski, 2010). Dessa forma, o efeito não fica localizado nas regiões imediatamente próximas ao rompimento.

Assim, pode-se distinguir entre perdas de estoques de ativos e perdas de fluxos de produção e renda (Hallegatte, 2015). Essas perdas de fluxos de produção e renda podem ser devidas a diferentes canais, como: (i) interrupção de atividades produtivas diretamente afetadas (e.g., parada da produção mineral); (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); (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 de ordens superiores (e.g., 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 a reduções 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.

O impacto nos fluxos de produção e renda em uma economia pode ser medido através do seu nível de produção, cujo indicador mais conhecido é o Produto Interno Bruto (PIB). 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 está intimamente relacionada ao nível de consumo das famílias e este último é considerado um importante determinante de bem-estar social.[1] Variações no PIB podem ser interpretadas como mudanças no estado geral da economia e variações do PIB *per capita* (PIB dividido pela população) indicam variação na renda média dos indivíduos daquela localidade.

Existem limitações no uso do Produto Interno Bruto como medida de perda de fluxo de produção e renda. Primeiro, existe uma delimitação espacial. O PIB é medido por regiões (e.g., estados) e os efeitos econômicos do rompimento podem ser diferentes para áreas distintas e que não correspondem necessariamente à divisão regional utilizada nas medidas de PIB. Segundo, a medida do PIB não inclui a produção de bens e serviços que não é voltada ao mercado (e.g., produção para autoconsumo) nem produção domiciliar. Logo, não capta uma parte da produção de bens e serviços relevante para o bem-estar das pessoas. Terceiro, não capta inteiramente a perda do estoque de riquezas.

Com essas ressalvas, o presente estudo inicia uma extensa análise sobre o impacto do rompimento através de uma perspectiva macroeconômica dos estados diretamente afetados — Minas Gerais e Espírito Santo. Nessa abordagem é possível capturar os impactos do rompimento da Barragem de Fundão nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo de forma que se consiga considerar a propagação do impacto entre os setores, municípios e pessoas que inicialmente não foram atingidos, mas que sentiram as consequências do mesmo, por ter perturbado toda a cadeia produtiva.

Inicia-se medindo o impacto do rompimento da barragem no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Analisa-se os dois estados conjuntamente devido à próxima conexão econômica que existe entre eles, principalmente em setores importantes para esses estados, como o setor de extração. Para atingir esse objetivo, elabora-se uma avaliação de impacto cuja abordagem se baseia na construção de um estado hipotético cujas características são semelhantes àquelas observadas nos dois estados, exceto que para ele não aconteceu o rompimento da barragem. Esse estado hipotético busca representar o que teria sido a trajetória do PIB e renda agregada caso não houvesse

[1] A definição de bem-estar social é mais ampla e envolve muitas outras dimensões. Deaton e Zaidi (2002) discutem algumas dessas dimensões e seus impactos na análise de bem-estar.

ocorrido o rompimento. Para isso, utiliza-se o método de controle sintético desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie et al. (2010). Ao comparar o PIB e renda agregada de Minas e Espírito Santo com o PIB e renda agregada desse estado hipotético, é possível mensurar o impacto do rompimento no seu nível de produção e renda agregada.

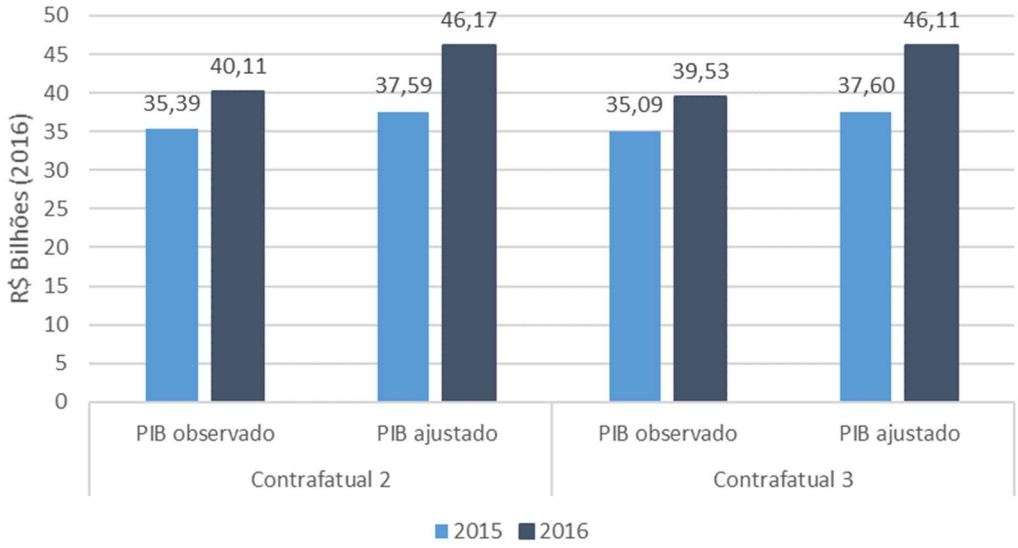
Essa abordagem possui vários desafios. Por exemplo, i) as condições econômicas em 2015 eram adversas para o Brasil; ii) parte da variação do PIB dos estados foi devido à conjuntura econômica; e iii) outros estados também apresentaram contrações da atividade econômica.

Essas dificuldades trazem incertezas em relação às estimações pontuais, portanto, constrói-se cenários dentro do quais os valores do impacto podem variar. A Figura 1 mostra os valores do impacto nas perdas do PIB para os anos de 2015 e 2016 em valores de reais de 2016. Os impactos são estimados comparando com os PIBs contrafatuais (os PIBs que se realizariam caso não houvesse o rompimento). Utilizam-se duas séries de PIBs: a série observada através dos dados das Contas Nacionais do IBGE e a série ajustada para os valores do PIB que eliminam os distúrbios causados pelas flutuações dos preços do minério de ferro.[2] Os valores para os anos de 2015 estão no intervalo de R$ 35,09 bilhões a R$ 35,39 bilhões, que correspondem a uma perda de 4,83% e 4,87% no PIB contrafactual de 2015, respectivamente. Para 2016, estima-se de R$ 40,11 bilhões a R$ 47,17 bilhões, que correspondem a uma perda de 6,56% e 6,57% no PIB contrafactual de 2016, respectivamente. No acumulado dos dois anos, estima-se que o impacto no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo varie de R$ 74,62 bilhões a R$ 83,76 bilhões. Em outras palavras, caso não houvesse o rompimento, o PIB de Minas Gerais e Espírito Santo poderia ser maior em R$ 74,62 a R$ 83,76 bilhões de reais em valores acumulados de 2015 e 2016.[3]

[2] Série de PIB ajustado às flutuações do preço de minério de ferro. Ver maiores detalhes e metodologia da criação dessa série na subseção 3.5.

[3] Em todas as nossas estimativas, os valores referentes ao ano de 2015 foram atualizados para valores reais de 2016, ajustando-se apenas pela inflação medida pelo deflator do PIB. A rigor, dever-se-ia atualizar esses valores adicionando os juros reais do período (e.g., SELIC deflacionada pelo deflator do PIB). Optamos por não o fazer para sermos mais conservadores nas nossas estimativas.

Figura 1 — Resumo dos impactos estimados do rompimento da Barragem de Fundão no PIB de MG e ES



Fonte: Elaboração própria (2019).

Utilizando os resultados dos PIBs contrafatuais, pode-se também estimar o impacto do rompimento da Barragem de Fundão sobre a variação do PIB no intervalo de anos antes e depois do rompimento. A diminuição do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo entre os anos de 2014 e 2016 foi de R$ 96,62 bilhões de reais. Desses, estima-se que de R$ 40,11 bilhões (41,51%) a R$ 51,88 bilhões (53,69%) no valor dessa queda são atribuídos ao rompimento.

Esse trabalho está dividido em cinco seções. A primeira seção corresponde a essa introdução que inclui os conceitos de PIB e suas óticas de cálculo e o panorama das economias nacional e estaduais no Brasil. Em seguida, na segunda seção, faz-se uma revisão da literatura, que é a base para a definição da metodologia utilizada e permite também comparar a severidade e intensidade do rompimento da Barragem de Fundão com outros desastres ocorridos no mundo. Na seção três, descreve-se a metodologia e a base de dados utilizada. A quarta seção mostra os resultados desse estudo. Ela apresenta o impacto do rompimento no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Por fim, a última seção conclui esse estudo e define os próximos passos.

1.1 Conceitos

O Produto Interno Bruto, segundo o IBGE (2015, p. 4), é uma medida do

> Total dos bens e serviços produzidos pelas unidades produtoras residentes destinados aos usos finais sendo, portanto, equivalente à soma dos valores adicionados pelas diversas atividades econômicas acrescida dos impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos.

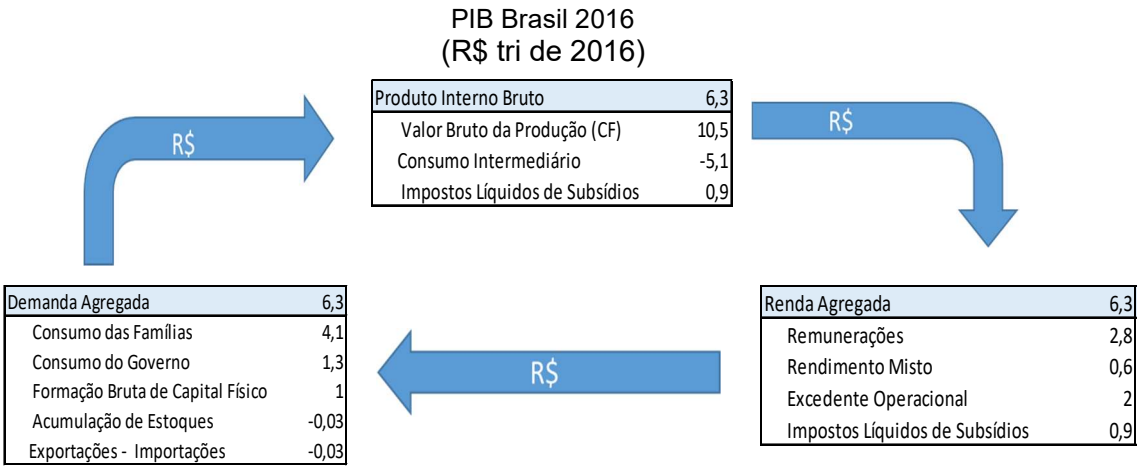
Posto de outra forma, o PIB é equivalente à soma dos usos finais de bens e serviços valorados a preço de mercado sendo, também, equivalente à soma das rendas dos fatores de produção, incluindo trabalho e bens de capital. Pode, portanto, ser expresso por três óticas: a) da produção — o produto interno bruto é igual ao valor bruto da produção, a preços básicos, menos o consumo intermediário, a preços de consumidor, mais os impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos; b) da despesa — a despesa total é igual às somas das despesas das famílias, investimentos, gastos dos governos e exportações líquidas (exportações — importações); c) da renda — a renda total é igual à remuneração paga a todos os fatores de produção, por exemplo, salários aos trabalhadores, juros aos bens de capital produzido, remuneração dos recursos naturais etc. Por essa razão, utiliza-se nesse estudo indistintamente os termos PIB e renda agregada.

O Sistema de Contas Nacionais calcula o PIB nacional pelas três óticas. Para os estados, o cálculo é feito pela ótica da renda e produção; para os municípios, ele é realizado somente pela ótica da produção. A Figura 2 apresenta o fluxograma com as três óticas do PIB, utilizando os valores do PIB Nacional em 2016 para exemplificar. Iniciando pelo quadro superior, apresenta-se os valores do PIB pela ótica da produção, no valor de R$ 6,3 trilhões. Calcula-se esse valor subtraindo o consumo intermediário (R$ 5,1 tri) do valor bruto da produção (R$10,5 tri) e adicionando os impostos líquidos de subsídios (R$ 0,9 tri). O PIB então é utilizado também para remunerar todos os fatores de produção, seguindo o fluxo para a direita. Nesse quadro, o PIB é contabilizado pela ótica da renda, cujas principais contas são: i) as Remunerações (R$ 2,8 tri), que somam os salários dos trabalhadores formais e suas contribuições sociais e os salários dos trabalhadores informais (sem carteira); ii) a conta de Rendimentos Mistos (R$ 0,6 tri), que mostra os ganhos dos trabalhadores autônomos ou conta próprias; iii) os Impostos Líquidos de Subsídios (R$ 0,9 tri), que representam a receita tributária dos governos federais, estaduais e municipais; e iv) o Excedente Operacional Bruto (R$ 2 tri), que soma a remuneração dos outros fatores de produção, por exemplo, remuneração do capital como aluguéis, lucros e juros, e renda da terra. A conta de Rendimentos Mistos é conhecida por esse nome, pois nela se inclui a remuneração do trabalho e do capital indistintamente, devido à falta de informações detalhadas sobre os trabalhadores autônomos.

Seguindo para o quadro da esquerda, ótica da demanda (Demanda Agregada), a renda então é despendida pelos agentes econômicos. Especificamente, pelas famílias (R$ 4,1 tri), Governos das três esferas (R$ 1,3 tri), Investimentos ou Formação Bruta de Capital Físico (R$ 1 tri), Acumulação de estoques (R$ -0,03 tri) e Exportações menos Importações (R$ -0,03 tri). Para que haja consumo, tem que haver produção, o que nos leva novamente ao primeiro quadro na parte superior do fluxograma.

Dessa forma, observa-se que o valor do PIB por qualquer uma das óticas é o mesmo, o que muda é a forma como é analisada a distribuição dos fluxos entre as diversas contas.

Figura 2 — Fluxograma com as três óticas da renda agregada



Fonte: Elaboração própria com valores do IBGE (2019).

Apesar de esse indicador ser amplamente utilizado para analisar o estado da economia, ele não captura outras dimensões importantes da atividade econômica. Por exemplo, o valor dos estoques de riquezas financeira ou física, como construções, reservas minerais, participações em sociedades anônimas, títulos creditórios ou mesmo a riqueza natural, como qualidade do meio ambiente. Além de não captar importantes dimensões sociais da atividade econômica como emprego, distribuição da renda e pobreza, deterioração do meio ambiente, alienação de futuras gerações do uso de recursos não renováveis, entre outros.[4] No contexto desse estudo, a mensuração pela ótica da produção mede a atividade econômica que pode, no caso, ajudar a identificar o tipo de distúrbio que o sistema econômico recebeu com o rompimento da Barragem de Fundão.

[4] Os impactos do rompimento sobre algumas dimensões sociais como emprego e pobreza bem como a produção para autoconsumo serão analisados em futuros estudos. Por sua vez, os impactos sobre os serviços ou recursos ambientais não transacionados no mercado estão fora do escopo do estudo.

É uma perspectiva do geral para o particular ("*top-down*"). A variação no PIB captura as perdas geradas como consequências posteriores ao rompimento, como por exemplo, interrupção da produção por falta de energia elétrica ou água ou distúrbios no fluxo econômico propagando o efeito a outros setores em todos os agentes atingidos, pessoas físicas e jurídicas, governos etc. Analisando por outra perspectiva, a soma das perdas de todas as categorias de atingidos em todo o processo produtivo somariam a variação do PIB para as regiões afetadas.

Uma limitação imposta pela disponibilidade de dados é que a divulgação dos valores do PIB estadual ocorre com defasagem de dois a três anos, dessa forma, só foram divulgados os valores do PIB até o ano de 2016. Essa carência de dados limita a análise do custo econômico para apenas dois anos alterados por influência do rompimento, 2015 e 2016.

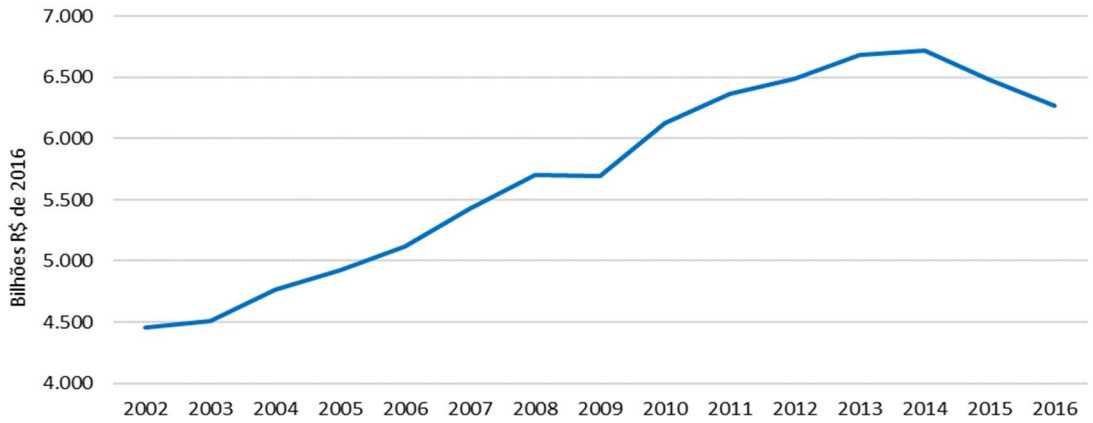
1.2 Contextualização

Um desastre, no contexto econômico, pode ser definido como uma interferência no funcionamento da economia causando significativo impacto negativo em ativos, fatores de produção, emprego, consumo e na própria produção (Hallegate e Przyluski, 2010). A magnitude do impacto depende do nível de desenvolvimento das regiões (Pelling et al., 2002; Cavallo e Noy, 2010) e do momento da economia (Benson e Clay, 2004; Hallegate e Ghil, 2008). Portanto, entender a estrutura, condições, tendências econômicas nacionais e estaduais é essencial para analisar e medir o impacto do desastre. Assim, nessa seção, apresenta-se o panorama das economias nacional e estaduais.

O Brasil, após uma significativa recuperação da crise internacional[5] em 2010, reduziu suas taxas de crescimento do PIB a partir de 2011, passando a ter taxas negativas de crescimento a partir de 2015. A Figura 3 apresenta a evolução do PIB nacional de 2002 a 2016 em valores reais de 2016. O PIB nacional cresceu entre 2002 a 2014 e decresceu a partir daí. Como resultado dessa recessão recente, o Brasil em 2016 produzia praticamente o mesmo nível do PIB de 2011. Em termos práticos, isso significa que a renda agregada do Brasil em 2016 recuou para os níveis de cinco anos antes.

[5] A crise financeira de 2008 e 2009, conhecida como crise do Subprime americano.

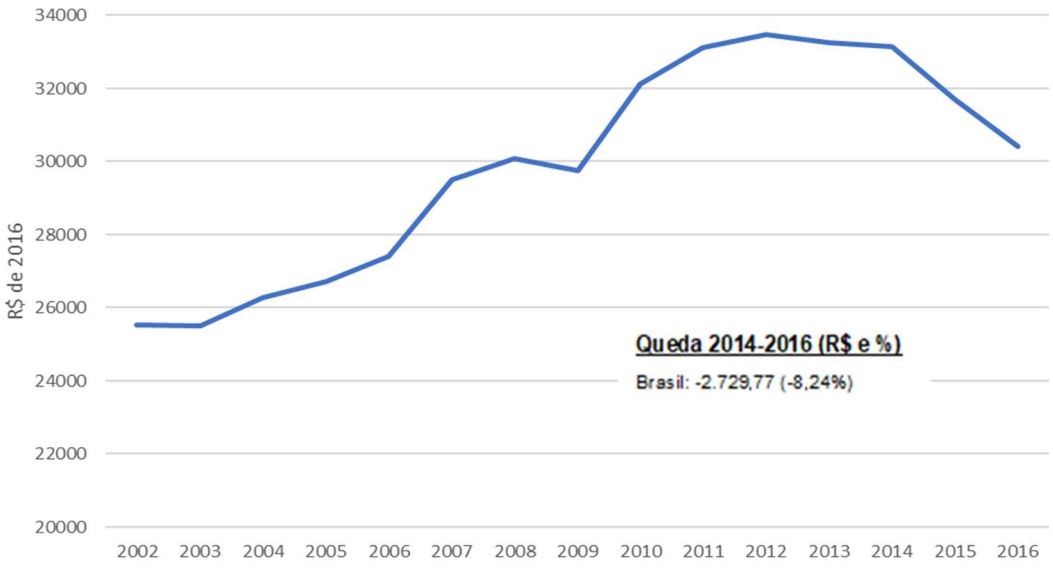
Figura 3 — Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

A Figura 4 a seguir apresenta a evolução da renda nacional *per capita* (PIB total dividido pela população) para o mesmo período de 2002 a 2016 em valores reais de 2016. A evolução é semelhante à do PIB, mas com variações mais acentuadas. A queda da renda *per capita* é de 8,24% do valor aquisitivo entre 2014 e 2016, enquanto o PIB real contraiu mais de 6%. Como a população continuou a crescer, o recuo do PIB fez com que a razão entre renda e população caia mais do que a queda do PIB, voltando para os níveis observados em 2009.

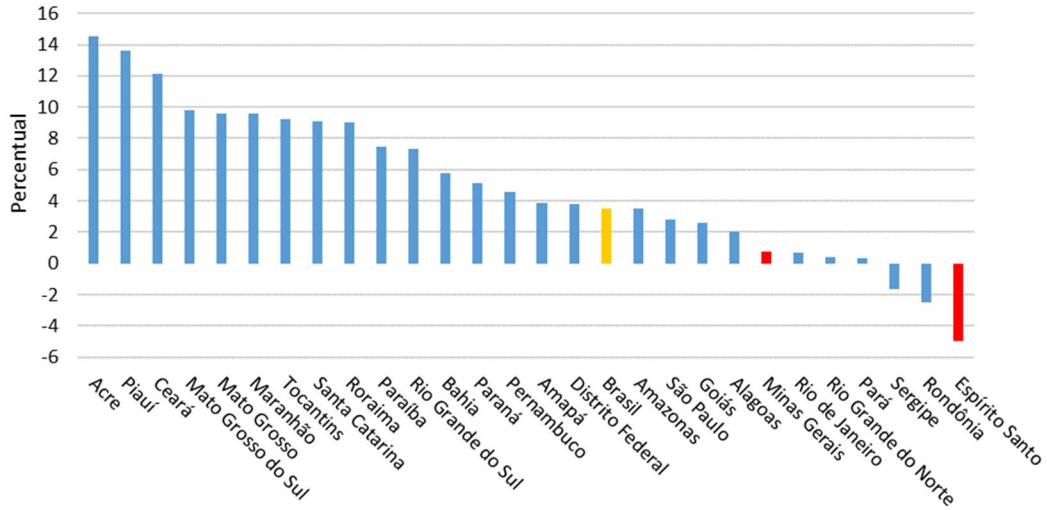
Figura 4 — PIB per capita do Brasil (R$ de 2016)



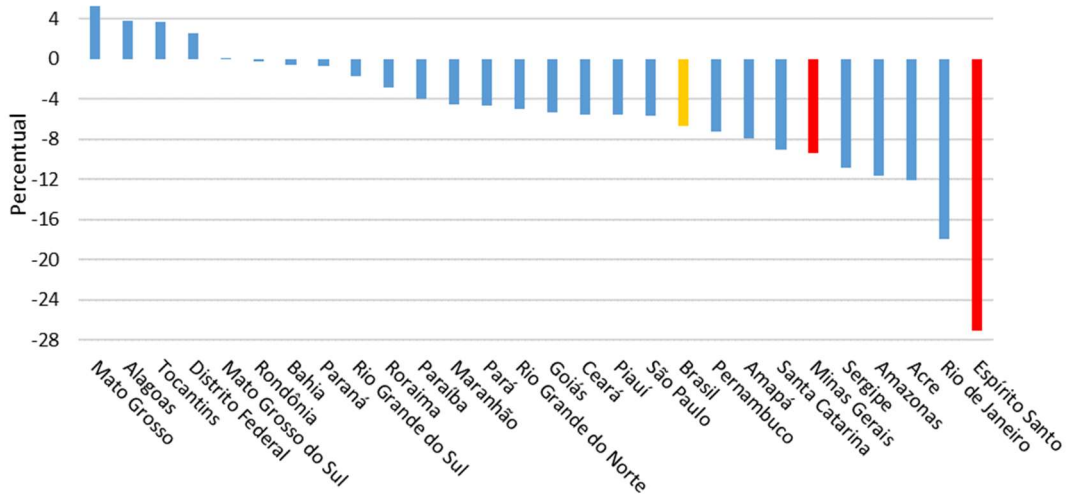
Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

Nesse contexto, os painéis (a) e (b) da Figura 5 apresentam as variações (%) do PIB estadual ordenadas de maior a menor taxa de crescimento para os biênios 2012-2014 e 2014-2016, respectivamente. Observa-se a acentuada mudança no ordenamento das taxas de crescimento dos estados. Em ambos os períodos, entretanto, os estados de Espírito Santo e Minas Gerais já apresentavam taxas de crescimento inferiores à média nacional. Especificamente, o Espírito Santo foi o estado que mais decresceu durante esses anos (-4,94% e -27,04%). Uma possível explicação é o papel predominante que a extração de minério tem na economia desses dois estados no meio a uma queda importante das cotações dos principais minerais, e nesse contexto adiciona-se os efeitos do rompimento da Barragem de Fundão.

Figura 5 — Taxa de variação (%) do PIB dos estados brasileiros (a) Biênio 2012-2014



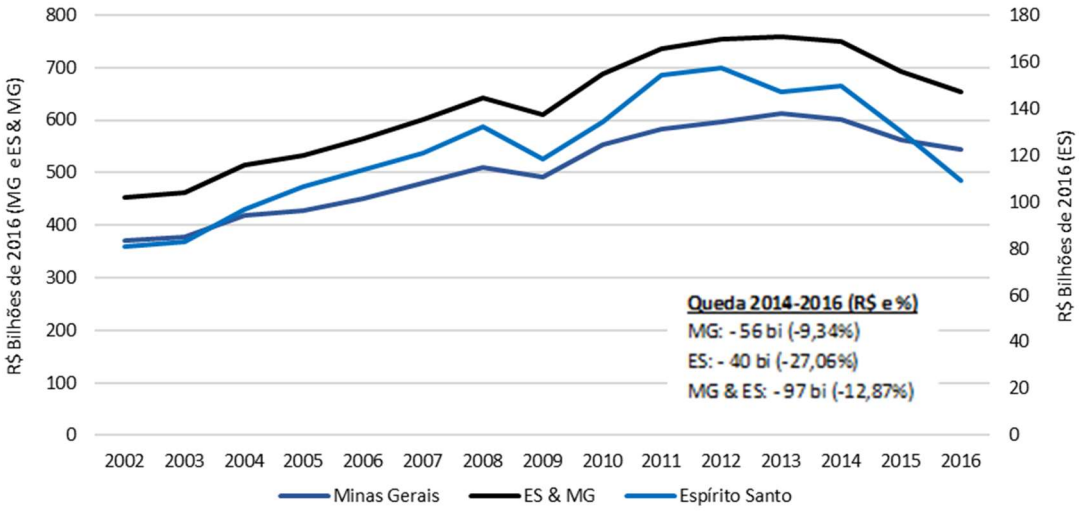
(b) Biênio 2014-2016



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

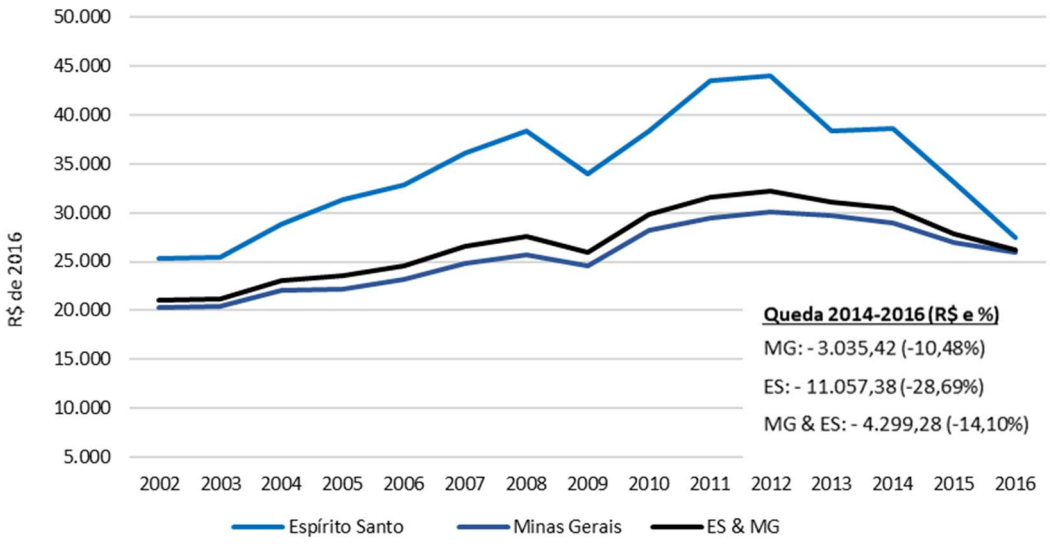
Observando-se as evoluções dos PIBs de Minas Gerais e Espírito Santo na Figura 6 e seus PIBs *per capita na* Figura 7, nota-se que os estados começaram a apresentar taxas negativas de crescimento anteriormente a 2015. Relativamente ao PIB, o PIB *per capita* apresentou maiores taxas de decrescimento (-28,69% para o ES e -10,48% para MG) para os dois estados. A diferença entre o PIB *per capita* de ES e MG foi diminuindo com o tempo e, em 2016, seus PIBs *per capita* são aproximadamente de R$ 26.000,00 anuais.

Figura 6 — PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (R$ de 2016)



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

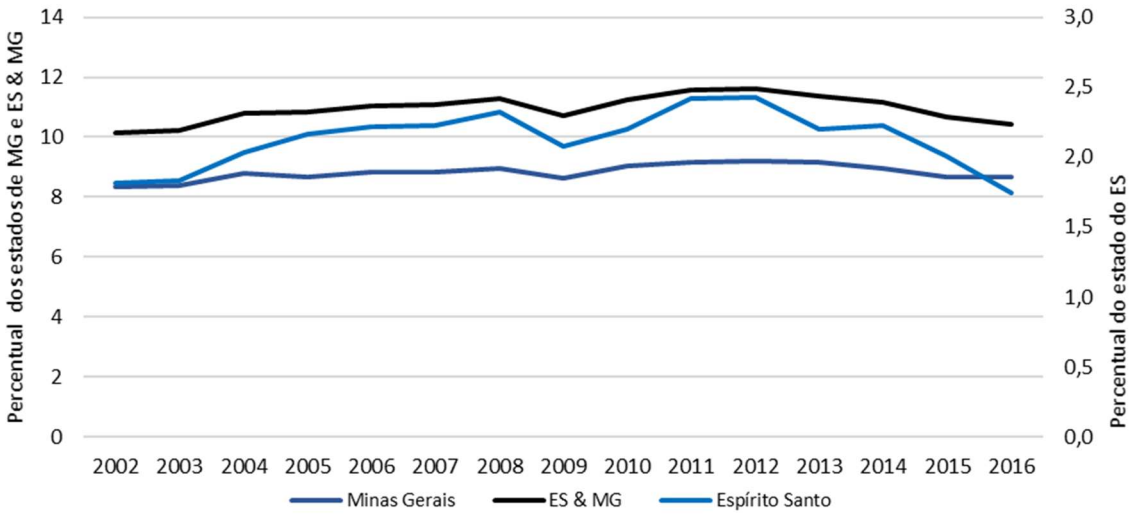
Figura 7 — PIB per capita dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (R$ de 2016)



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

A consequência dessas taxas de crescimento menores do que a maioria dos estados brasileiros é a perda de importância desses estados no PIB nacional. A participação destes começou a se reduzir a partir de 2012 (Figura 8). Minas Gerais, depois de ter alcançado uma participação no PIB nacional de 9,2%, caiu para 8,7% em 2016. Enquanto que o Espírito Santo perdeu ainda mais importância no PIB nacional. Representava 2,4% do PIB em 2012 e passou a representar apenas 1,7% em 2016.

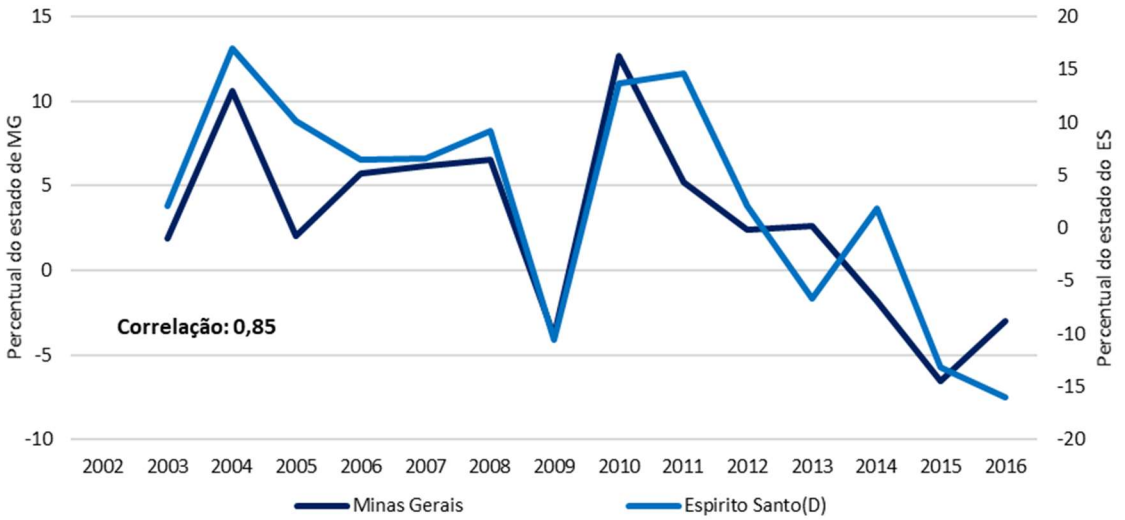
Figura 8 — Participação dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (%)



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

As economias de Minas Gerais e Espírito Santo são interligadas. A Figura 9 apresenta a taxa de variação dos dois estados e sua combinação. A correlação entre elas é alta (coeficiente de correlação de 85%). Nota-se que depois dos dois estados terem apresentado taxas de crescimento superiores a 10%, eles exibiram taxas de crescimento negativas a partir de 2013. No entanto, existe uma contração pouco usual que excedeu, por exemplo, a contração observada na crise de 2009. Minas Gerais e Espírito Santo sofreram com a queda dos preços do minério (ver Gráfico 6). Os preços do minério provavelmente podem estar por trás da alta correlação entre o crescimento do PIB dos dois estados. Por essa razão, os estados de Minas Gerais e Espírito Santo são tratados conjuntamente como uma economia integrada.

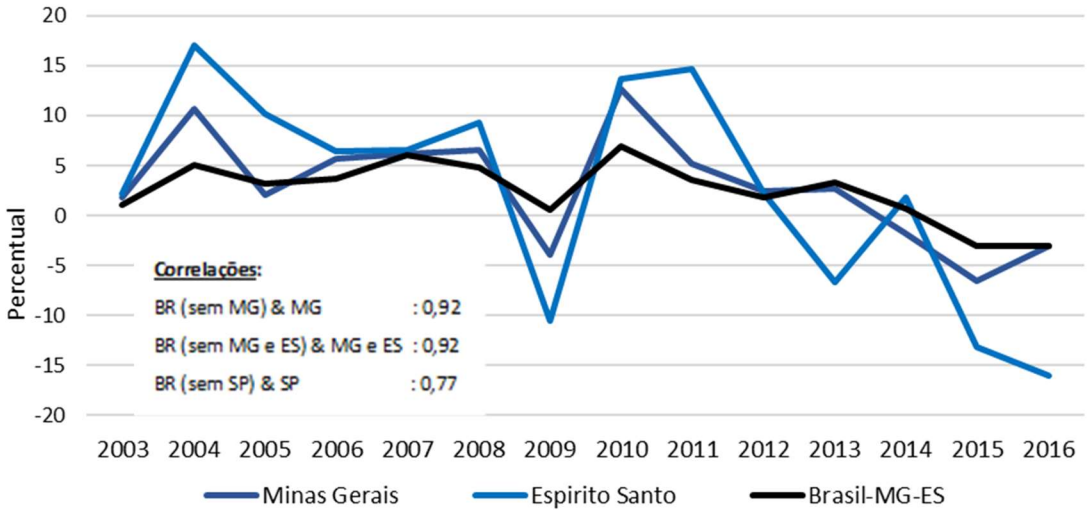
Figura 9 — Correlação entre as taxas de crescimento (%) do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

A correlação dos dois estados com o PIB do Brasil é bastante elevada, como é possível ver na Figura 10. Um ponto interessante é que, apesar de o estado de São Paulo ter um peso maior no PIB do Brasil (33%), a correlação do PIB de MG e do PIB nacional é maior. Entende-se por isso que MG é um estado representativo da economia brasileira, mais do que São Paulo.

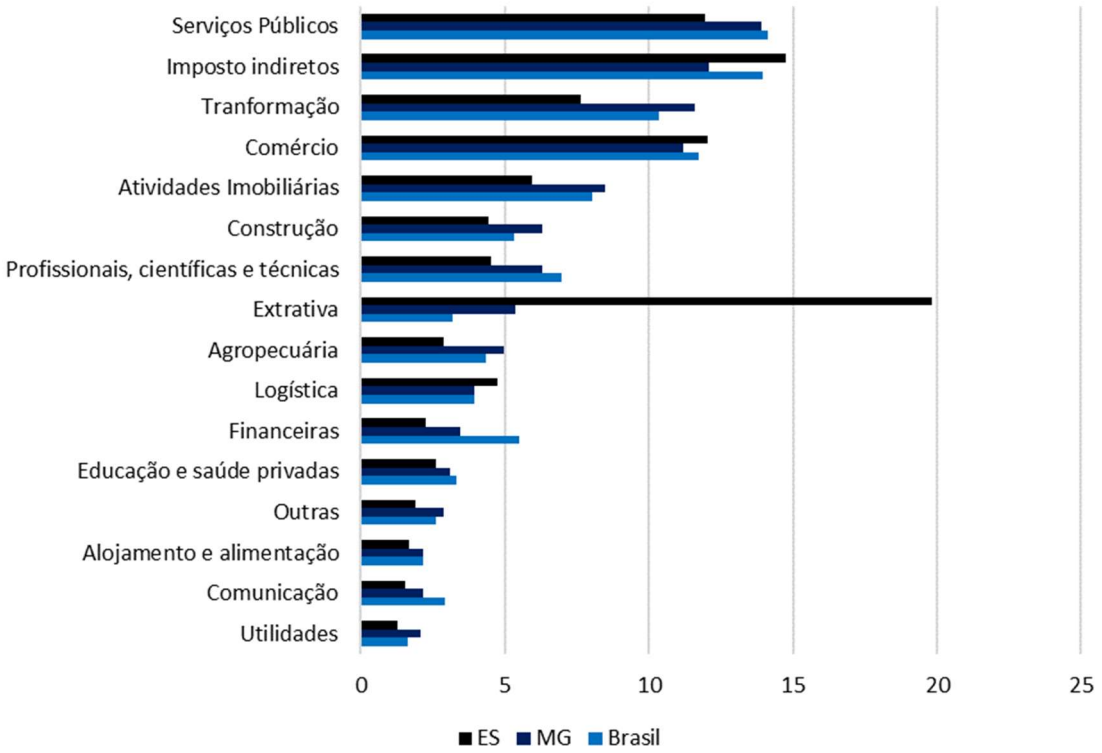
Figura 10 — Correlação entre as taxas de crescimento (%) do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo e o Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

De fato, na Figura 11, observa-se a composição setorial do PIB para o Brasil, e os estados de Minas Gerais e Espírito Santo em 2014. Sendo assim, optou-se por analisar esse ano porque a composição pode ter sido afetada pelo rompimento nos anos posteriores. As composições de Brasil e Minas Gerais são muito próximas. Nota-se que a indústria extrativa tem grande importância nos dois estados, principalmente no ES. Esse setor representa aproximadamente 20% do PIB desse estado, enquanto para Minas Gerais, é 5,4%.

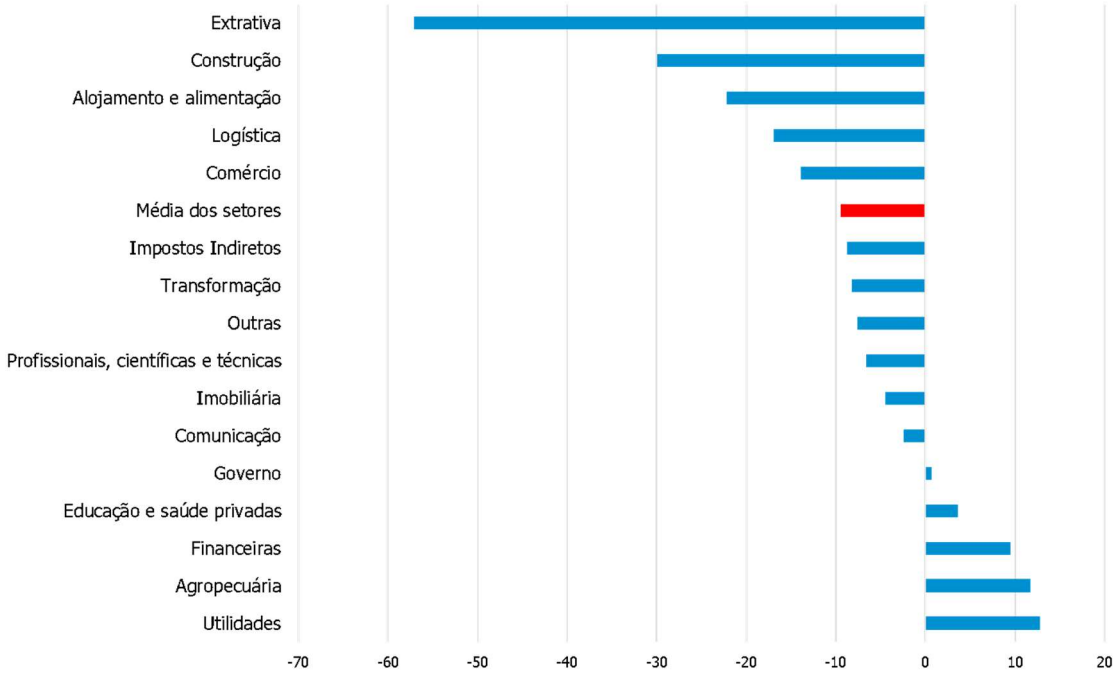
Figura 11 — Composição setorial da economia do Brasil, MG e ES em 2014



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

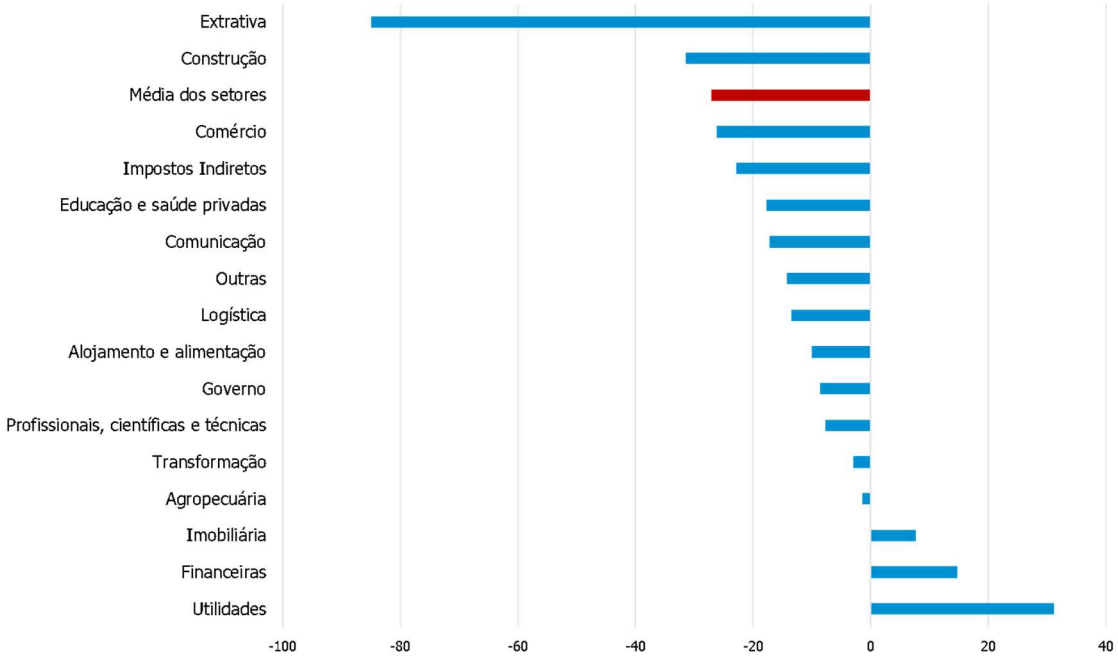
A Figura 12 e a Figura 13 apresentam a distribuição das taxas de crescimento setoriais para Minas Gerais e Espírito Santo entre 2014 e 2016, respectivamente. O setor que apresentou a maior queda na produção foi o extrativo em ambos os estados. Com efeito, a queda do PIB extrativo em Minas Gerais foi de 57% e no Espírito Santo de 85%. Em Minas Gerais, a queda no setor de extração foi de 3,06 pontos percentuais, o que representa 32,87% da queda do PIB do estado (9,33%). No Espírito Santo, a queda no setor de extração foi de 16,85 pontos percentuais. Isso significa que o setor extrativo foi responsável por 62,29% da queda de 27,05% do PIB do Espírito Santo.

Figura 12 — Variação do PIB dos setores de Minas Gerais, 2014-2016



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

Figura 13 — Variação do PIB dos setores do Espírito Santo, 2014-2016

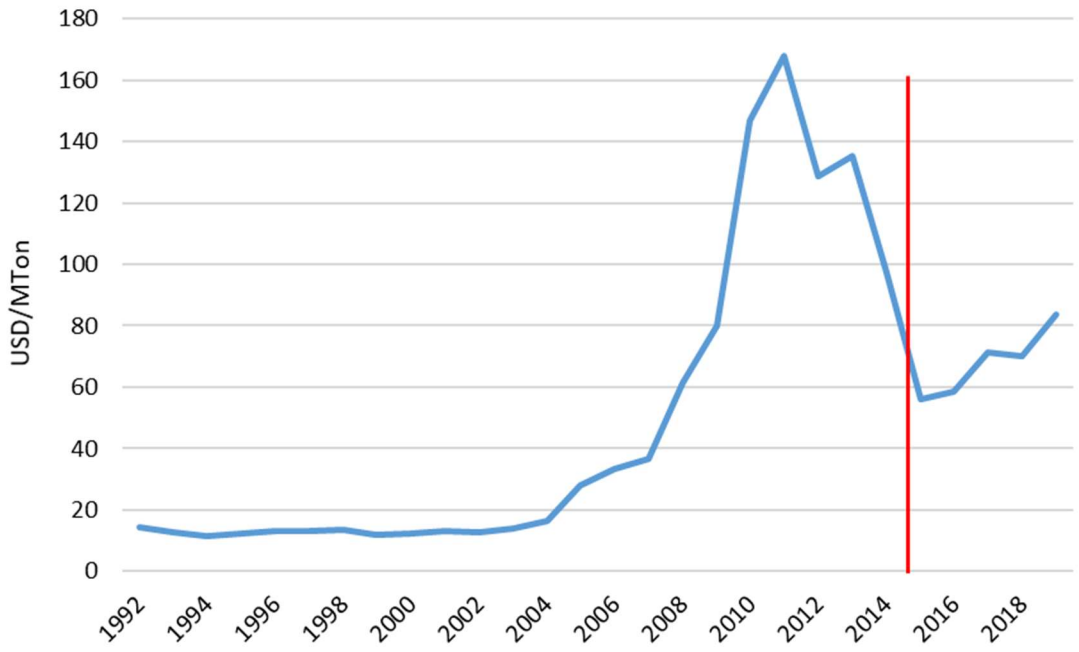


Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

Há duas hipóteses para explicar tamanha variação no setor extrativo. A primeira delas é a variação no preço do minério de ferro. A segunda é a variação na quantidade produzida. Um esclarecimento merece ser feito nesse ponto. O estado do Espírito Santo não tem minas de minério de ferro, mas participa do processo através da operação do mineroduto e o processo de pelotização do minério. Segundo informações dos relatórios financeiros da Samarco, a extração acontece em Minas Gerais e, através do mineroduto, ele vai para o Espírito Santo, onde é feita a pelotização e exportação pelo porto de Anchieta (ES).

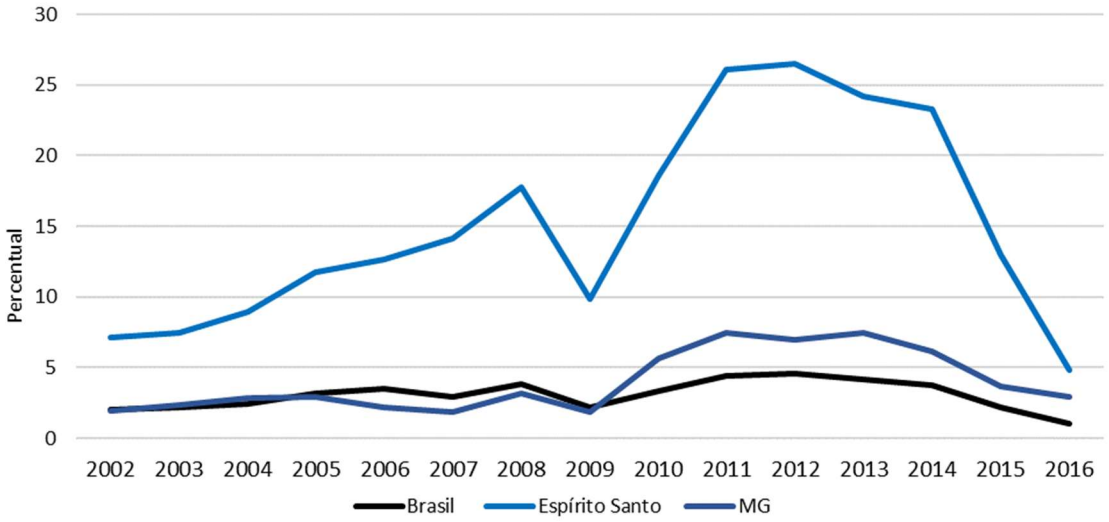
Para verificar essas hipóteses, apresenta-se na Figura 14 a evolução do preço do minério de ferro. Nota-se que o preço aumentou substancialmente entre os anos de 2008 e 2012, período de forte expansão econômica em Minas Gerais e Espírito Santo. Comparando-se com a participação desse setor no PIB dos estados, nota-se uma relação muito próxima entre essas variáveis. Elas sugerem que o crescimento do PIB desses estados pode ter sido influenciado pelo aumento do preço da *commodity*.

Figura 14 — Preço do minério de ferro (USD/Mton)



Fonte: World Economic Outlook Database do Fundo Monetário Internacional (2019).

Figura 15 — Participação do setor extrativo — BR, MG e ES (%)



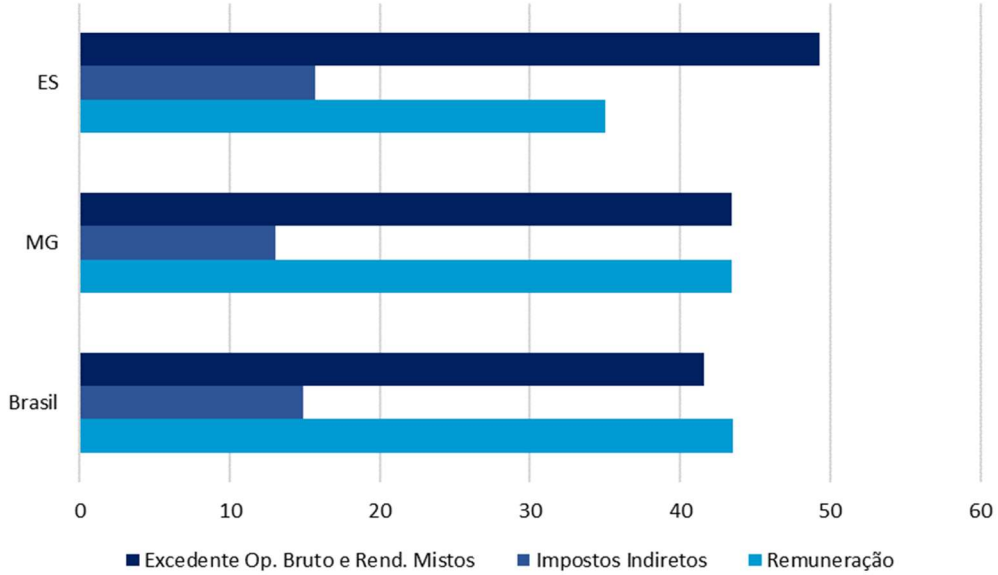
Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

A partir de 2014, entretanto, observa-se que o preço do minério de ferro volta a aumentar enquanto a participação do setor de extração se reduz.

Analisando o PIB pela ótica da renda, na Figura 16, novamente observa-se a similaridade entre o estado de Minas Gerais e o Brasil. Nota-se também que aproximadamente 50% do PIB do Espírito Santo é composto pelo Excedente Operacional Bruto e Rendimentos Mistos, que incorporam os lucros, juros, remuneração dos trabalhadores por conta própria e informais.

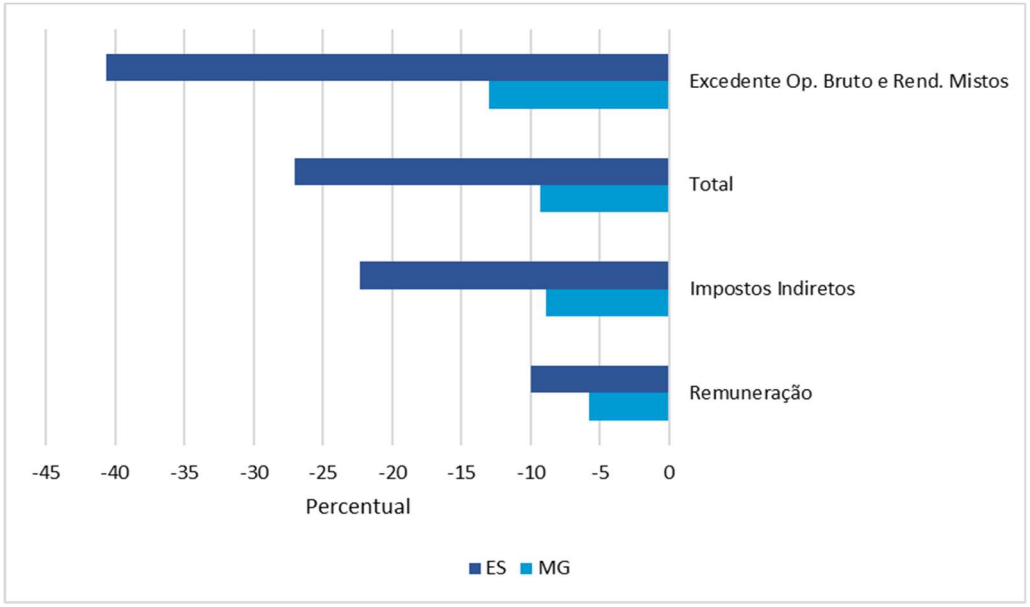
As variações desses componentes são apresentadas na Figura 17. Observa-se que a grande variação também ocorre no componente Excedente Operacional Bruto e Rendimentos Mistos. Devido à carência de dados mais detalhados, não é possível fazer uma análise mais profunda nessa rubrica. Entretanto, é possível que os trabalhadores mais vulneráveis, que são os trabalhadores informais e por conta própria, tenham sido intensamente afetados. Os dados ainda sugerem que as empresas também sofreram com essa queda, o que pode ter reduzido sua capacidade de investimento, impactando, como consequência, toda dinâmica e capacidade produtiva dos estados, principalmente do Espírito Santo.

Figura 16 — Composição do PIB do Brasil, Minas Gerais e Espírito Santo em 2014 pela ótica da renda



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

Figura 17 — Variação dos componentes do PIB de Minas Gerais e Espírito Santo pela ótica da renda



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) com dados do IBGE (2019).

Por último, dado a alta correlação entre o PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e devido à grande conexão dessas economias, principalmente em setores estratégicos como o setor de extração, conclui-se que analisar o PIB de MG e ES conjuntamente é a melhor estratégia para medir o impacto do rompimento da Barragem

de Fundão. Especialmente, devido à parte do processo produtivo da Samarco Mineração S.A. estar presente em ambos os estados e sua produção ter sido suspensa após o rompimento.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Observa-se um número crescente de desastres com o passar do tempo em todos os continentes (Cavallo e Noy, 2010) e, com isso, um crescente interesse em entender e medir os efeitos destes na sociedade e na economia. Esse interesse não é novidade na literatura, Albala-Bertrand (1993) já discutiam seus efeitos de curto e longo prazo na economia. Entretanto, o número de estudos sobre desastres aumentou significativamente nos anos recentes, especialmente os que abordam os impactos macroeconômicos cujo objetivo é identificar os efeitos no crescimento econômico e no nível de produção das localidades afetadas (Bergeijk e Lazzaroni, 2015). Do ponto de vista econômico, um desastre afeta o sistema produtivo em múltiplas dimensões. Para fins de simplificação de análise, a literatura utiliza dois conceitos de impactos na economia: diretos (ou primeira ordem) e indiretos (ou de ordem superior) (Pelling et al., 2002, Hallegate e Przyluski, 2010)[6]. Os efeitos diretos são as perdas imediatas. Incluem as vidas perdidas, destruição de recursos naturais e ecossistemas, ativos fixos (habitação, maquinários, pontes etc.), estoques, produtos acabados, entre outros. Os efeitos indiretos ou de ordem superior são aquelas perdas que são consequências do desastre que não aparecem imediatamente após o mesmo, mas também são sentidas após o ocorrido. Por exemplo, a interrupção da produção por falta de insumos (eletricidade, água etc.), perdas de emprego e renda pelo fechamento de empresas e negócios, redução na arrecadação governamental, aumento na dívida pública, além da propagação para outros setores da economia, perturbando toda a estrutura produtiva não somente da região atingida, mas também de outras com alta interligação econômica. Entram nos impactos indiretos as consequências de longo prazo da destruição da infraestrutura e fatores de produção e, também pode-se incluir nessa categoria, impactos não monetários, como o impacto na migração, pobreza e desigualdade (Hallegate e Przyluski, 2010) ou enfermidades por contaminação e subnutrição que podem demorar a mostrar sintomas e aparecer com o passar do tempo afetando os trabalhadores. Além disso, desastres podem mudar as percepções de riscos que por sua vez afetam decisões de investimentos. Bergeijk e Lazzaroni (2015) realizam uma metanálise da literatura de impactos macroeconômicos de desastres e concluem que a literatura encontra evidências robustas de impactos diretos negativos sobre variáveis macroeconômicas e os impactos indiretos que são mais heterogêneos.

[6] A classificação de impactos diretos e indiretos dos autores Pelling, M.; Alpaslan, Ã.; Barakat, S. (2002) e Hallegate e Przyluski (2010) é utilizada aqui para fins de descrição da literatura e não implica uma posição da FGV em relação a essas definições.

Como consequência dessa tipologia, a literatura passou a debater o impacto em economias em diferentes níveis de desenvolvimento, momentos econômicos e seus impactos de curto e longo prazo. Com a formação de bases de dados internacionais de desastres de várias naturezas[7] foi possível comparar o impacto em diferentes estruturas econômicas e sociais. A Tabela 1 apresenta um resumo com alguns dos principais trabalhos realizados sobre avaliação e mensuração do impacto de desastres naturais e tecnológicos onde é possível verificar as metodologias mais comumente utilizadas.

Noy (2009), Cavallo e Noy (2010) e Klomp e Valcks (2014) mostram que o impacto negativo é mais intenso em países de rendas baixas ou medianas do que em países de rendas altas. Segundo Noy (2009), uma possível explicação é a capacidade dos países de rendas altas de fazer políticas contra cíclicas em momentos de adversidades, ou seja, a disponibilidade de recursos para ações emergenciais e de recuperação. Após a perda de bens de capital ou de algum recurso natural, o investimento necessário para substituí-lo ou recuperá-lo não onera a capacidade de consumo das famílias no curto prazo, suavizando o consumo (p. 228).

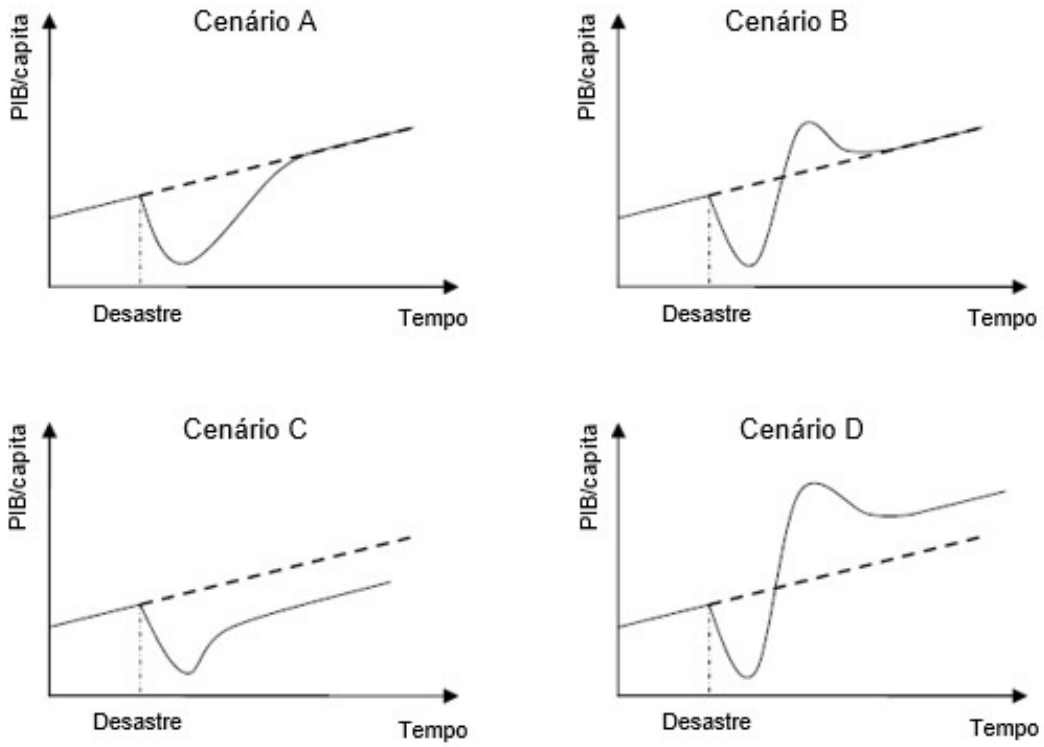
Esse resultado também é encontrado entre regiões de um mesmo país. Barone e Mocetti (2014) avaliam dois terremotos na Itália: em Friuli (norte) em 1976, e em Irpínia (sul) em 1980. Encontram que o Sul sofreu um impacto negativo maior do que o norte, descontando a assistência financeira. Enquanto em Friuli o PIB *per capita* desviou do contrafactual de -4% a -2%, em Irpínia o desvio foi de -11% a -6% em cinco anos (p. 62). No longo prazo (vinte anos), a taxa de crescimento da Irpínia ficou 12% abaixo do que ficaria sem o terremoto, enquanto que em Friuili, ela ficou 23% acima (p. 57).

O impacto de longo prazo na economia também é muito debatido na literatura. Existem quatro cenários possíveis (Chhibber e Laajaj, 2007; Klomp e Valckx, 2014). A Figura 18 exemplifica cada um desses cenários. O primeiro (Cenário A) é aquele em que o desastre não tem impacto no longo prazo, de forma que, após os planos de recuperação e a recuperação da economia, ela voltaria à trajetória anterior ao desastre. O segundo cenário (Cenário B) acontece quando os investimentos de reposição causam uma temporária aceleração no PIB que eventualmente volta à normalidade. O terceiro (Cenário C) é um impacto negativo permanente, isto é, a economia não retorna e fica abaixo do que ficaria na ausência do desastre. Uma explicação para esse cenário é a destruição de recursos ou infraestrutura que não é possível recuperar ou reconstruir naquela região, por exemplo, sítios históricos e sua importância para o turismo. Já o

[7] A mais conhecida e utilizada é “The International Disaster Database” (EMDAT). Disponível em: <https://www.emdat.be/>

quarto cenário (Cenário D) é conhecido na literatura como destruição criativa. Nesse cenário, há a substituição dos fatores de produção destruídos por outros mais modernos, de forma a melhorar a produtividade após o desastre. Dessa forma, a economia atinge no longo prazo um nível superior ao que seria observado na ausência do desastre.

Figura 18 — Cenários para o impacto do desastre no longo prazo



Fonte: Adaptado da Figura 2 de Chhibber e Laajaj (2007, p. 10).

A heterogeneidade do impacto em diferentes momentos dos ciclos econômicos foi levantada por Benson e Clay (2004) e estendida por Hallegate e Ghil (2008). Esses desenvolveram um modelo onde os ciclos são endógenos e dependem da instabilidade do investimento e do lucro. Nesse modelo, eles mostram que a magnitude do impacto também depende do momento da economia. Economias em expansão são mais afetadas do que economias em recessão. Esse resultado contraditório pode ser explicado pelos desequilíbrios preexistentes gerados pela expansão devido a ajustes na oferta de insumos, principalmente. Enquanto que, durante uma recessão, há fatores subutilizados (p. 582).

Ao organizar as evidências empíricas sobre os impactos dos desastres, dado a heterogeneidade dos impactos e a dificuldade de mensurá-los corretamente na

economia, os trabalhos têm focado na análise da direção do impacto (aumento ou queda do PIB), mas pouco na sua magnitude (Noy, 2009; Klomp e Valckx, 2014; Bergeijk e Lazzaroni, 2015).

Para entender a ordem de magnitude dos impactos dos desastres, e não apenas a significância, revisa-se a literatura convencional tentando, na medida do possível, converter os impactos nas diferentes variáveis macroeconômicas e em períodos variados para uma magnitude comparável. A Tabela 1 apresenta o resumo desses resultados para alguns desastres selecionados.

Inicia-se por aqueles trabalhos que abrangem vários desastres, em geral, de bases de dados de desastres abertas disponíveis, por exemplo, EM-DAT. Como eles estudam mais de um desastre por vez, eles reportam resultados médios para os países, tornando-se interessantes para comparar a intensidade dos impactos, mas ao mesmo tempo desafiadores pela dificuldade de comparar a severidade dos desastres. Após, analisa-se os trabalhos que exploram impactos em regiões menores, estados e, em seguida, municípios e economias locais. O impacto relativo costuma ser maior quanto menor for a região impactada analisada.

Cavallo et al. (2013) calculam o impacto médio de 6.530 desastres naturais sobre o PIB de 196 países ao longo de dez anos (p. 1.554). Utilizando o método de controle sintético para construir um contrafactual para cada país, os autores encontram que, na média, para os grandes desastres, cuja severidade é medida em termos de vidas perdidas, os PIBs *per capita* (em PPP[8]) observados decresceram em média 10% ao longo de dez anos após os desastres. Caso não houvessem ocorrido os grandes desastres, os autores estimam que os PIBs *per capita* seriam 18% mais altos em 10 anos (p. 1.556). Esses grandes impactos foram observados quando esses grandes desastres foram seguidos de revoluções políticas radicais. Cavallo et. al (2013) não encontram impactos significativos, em média, para os desastres menos severos (p. 1.556).

De modo similar, Hochrainer (2009) sintetiza o impacto projetado de 225 desastres diversos registrados na base de dados EM-DAT e na base da Munich Re (p. 14), de 1960 a 2005. Utilizando um modelo ARIMA (Modelos integrados autoregressivos com médias móveis) para a construção de contrafatuais, ele encontra resultados medianos de diferença com relação ao PIB projetado pela metodologia ARIMA de -0,53% depois

[8] PPP significa Paridade de Poder de Compra. O PIB é calculado em dólar com poder de compra comparável em cada país, sendo os preços dos EUA a referência. Utilizando essa conversão, o PIB de cada país fica em uma unidade monetária comparável, facilitando comparações internacionais.

de 1 ano até -3,98% após 5 anos (p. 16). Estas diferenças são significativas sob critérios aceitos estatisticamente (p. 17).

Noy (2009) utiliza dados de painel de países obtidos da base de dados EM-DAT e do World Development Indicators (WDI) do Banco Mundial, para os anos de 1970 a 2003, e aplica a metodologia de estimação de painéis dinâmicos para calcular os impactos médios de desastres de grande magnitude sobre as economias de países desenvolvidos (OCDE) e em desenvolvimento. Três medidas de severidade do desastre são utilizadas: número de pessoas falecidas; número de pessoas afetadas; e valor dos danos diretos. Sendo a última a única que apresenta impacto estatisticamente significativo (p. 229). Para os países da OCDE, ele estima uma expansão de 1,33 pontos percentuais (p.p.) na taxa de crescimento do PIB nacional a curto prazo, como resposta ao dano inicial médio do desastre, e um impacto acumulado da taxa de crescimento do PIB de 1,99 p.p. no longo prazo. Para países em desenvolvimento, o autor encontra quedas expressivas a curto prazo de 9,7 p.p. do crescimento do PIB e acumulada de 11,7 p.p. do crescimento do PIB no longo prazo (p. 225). Estes resultados estão em linha com os encontrados por Cavallo et al. (2013), ambos restritos ao impacto de desastres severos sobre a economia.

Dos trabalhos focados em países de renda mais baixa (40 países), Raddatz (2007) utiliza um painel para realizar uma decomposição de variância do PIB *per capita* real. Os dados de desastre são provenientes de EM-DAT e as demais variáveis principalmente do World Penn Tables e WDI do Banco Mundial. Estimando o impacto de diversos tipos de desastres sobre a variância do PIB *per capita* das economias de baixa renda, conclui que desastres climáticos e humanitários explicam uma parte da volatilidade do PIB *per capita* real. Para o caso de desastres humanitários, o autor estima uma redução média de 4% do PIB real no ano imediatamente posterior e que persiste por alguns anos seguintes (p. 171).

Limitando-se a furacões, Strobl (2012) analisa seus impactos sobre as economias dos países da América Central e do Caribe. Ele regride o PIB *per capita* com um índice de destruição que leva em conta a velocidade do vento e outras variáveis de intensidade e severidade desse fenômeno natural. Ele encontra um impacto negativo médio de 0,83 ponto percentual sobre a taxa de crescimento do PIB *per capita*, variando de acordo com a época do ano em que o furacão atinge o solo. Se o furacão atingir o solo depois de novembro resulta em uma queda menor, 0,55 ponto percentual (p. 139). Alternativamente, usando dados de dano material como proporção do PIB e número de mortos, não encontra os mesmos resultados (p. 138).

Ainda no Caribe, Best e Burke (2019) constroem um país sintético com duas bases de dados diferentes para medir o impacto que o terremoto de 2010 teve na economia do Haiti. Entre os impactos encontrados estão uma queda inicial de 7% do PIB *per capita* e uma perda média anual de 12% sobre o PIB do país caribenho nos seis anos seguintes ao terremoto em comparação ao contrafactual (p. 1.654), das quais 1/5 viria do setor de turismo, atacado, varejo e hotéis e 1/10 do setor de transformação (resultado obtido com dados do Banco Mundial). Já as estimativas com dados da ONU sugerem uma queda média um pouco menor de 10% nos cinco anos que se seguem ao terremoto (p. 1.655). O efeito no PIB parece permanente. Em termos relativos, o caso do Haiti é um dos maiores desastres tanto no custo de vidas perdidas (mais de 200.000 mortes) como de percentual de PIB perdido. Esse desastre está entre os 10 desastres mais severos em termos de número de mortes analisado por Cavallo et al. (2013) (p.1.558). Esses autores estimam que, devido ao terremoto de 2010, o PIB *per capita* estaria 24,82% menor em 2020 (p. 1.558). Estimam que em 2020 o PIB *per capita* seria de US$ 1.060 (em PPP) e seu contrafactual sem desastre estima que deveria ser US$ 1.410 (em PPP). Em termos agregados, Cavallo et al. (2010) estimam que o impacto direto do terremoto de 2010 seria de aproximadamente US$ 8 bilhões.

Outro terremoto de grandes proporções foi analisado por Selcuk e Yeldan (2001), o terremoto de 1999 na Turquia. Para esse evento simularam, através do método de equilíbrio geral computável, um intervalo para o impacto no PIB de -4,5%, caso a reconstrução do capital perdido fosse feita com impostos indiretos e um ganho de 0,8% do PIB se parte da reconstrução viesse de ajuda externa (p. 488).

Com relação aos impactos regionais, ao avaliar os ataques terroristas no país Basco no período de 1975 a 1997, Abadie e Gardeazabal (2003) e Chernozhukov, Wüthrich e Zhu (2019) encontram impactos sobre a economia da região. Abadie e Gardeazabal (2003) utilizam dados sobre mortes e sequestros para encontrar o impacto dos ataques sobre a atividade econômica da região. Através da construção de uma região sintética, usada como comparação, os autores encontram um impacto negativo inicial de 12%, no período final de 8 a 9%, e um impacto negativo médio de 10% sobre o PIB *per capita* para os anos 1980 e 1990 (p. 117). Não há análise de significância nesse trabalho, entretanto, Firpo e Possebom (2018) estendem o procedimento de inferência de Abadie et al. (2010), adicionando medidas de robustez e significância estatística para confirmar que os ataques terroristas do ETA tiveram impactos negativos e marginalmente significantes sobre a economia do país basco, mas concluem que esses impactos não são robustos nem permanentes a longo prazo. Chernozhukov, Wüthrich e Zhu (2019) propõem a construção da unidade sintética aplicando um Lasso Restrito (p. 10) e os

comparam com os métodos tradicionais de controle sintético e diferenças em diferenças. Eles encontram impactos negativos sobre o PIB *per capita* (em dólares de 1986) do país basco de US$ 810 (7,96%) pelo método de Lasso Restrito, US$ 760 (7,47%) pelo método de controle sintético e, finalmente, US$ 430 (4,23%), pelo método de Diferenças em Diferenças, respectivamente (p. 22-23).

Xiao (2011) avalia o impacto das enchentes sobre a economia dos condados do Centro-Oeste dos Estados Unidos. Utilizando o método ARIMA com pareamento para estimar o impacto de enchentes sobre a economia regional, ele conclui que as enchentes tiveram impactos negativos sobre a renda *per capita* média no curto prazo e impactos negligenciáveis no longo prazo. No ano imediatamente após as enchentes, cada pessoa em áreas fortemente atingidas teve uma redução média de US$ 846 a US$ 850 dólares nos municípios de baixo dano e perda de US$ 388 a US$ 450 nos municípios de alto dano. Os municípios de alto dano, no longo prazo, tiveram melhora. Os resultados de longo prazo indicaram melhoras de US$ 244 a US$ 269 no longo prazo. Para os municípios de alto dano, os resultados não foram significativos. Em relação à renda agrícola, tanto os municípios de alto como baixo dano sofreram perdas no curto prazo. No longo prazo, somente foram significativas as perdas em municípios de baixo dano (p. 816).

A nível municipal, duPont e Noy (2015) utilizam controle sintético para reavaliar dados da economia da região de Kobe, no Japão, e desafiar a narrativa então existente (Horwich, 2000) de que o terremoto de 1995 não teria prejudicado a economia local a longo prazo. Assim, estimam que o terremoto tenha levado a uma queda no PIB *per capita* de 8% após 8 anos, 12% após 13 anos e uma perda acumulada entre 1995 e 2008 de U$ 172 bilhões, sendo muito maior que em estimativas anteriores para a prefeitura de Hyogo (p. 794 e 797). Este trabalho sugere que muitos dos impactos de desastres naturais demoram décadas para aparecer, o que muitas vezes está associado com migração.

Na avaliação do impacto do furacão Iniki em 1992 na ilha de Kauai, no Havaí, Coffman e Noy (2011) verificaram que, após 17 anos, a diferença na renda pessoal entre Kauai e a renda contrafactual (a ilha sintética cuja renda pessoal representaria a renda em Kauai sem o desastre) era de US$ 650 milhões de dólares (US$ de 2007) para cada ano entre 1992 e 2009, aproximadamente 37% da renda pessoal média de um ano nesse período. No entanto, ao investigar o impacto sobre a renda *per capita*, a diferença com a renda *per capita* contrafactual é menor, levando os autores a sugerirem que o maior impacto de longo prazo do furacão talvez tenha sido a redução da população. Resultado que corrobora aquele encontrado por duPont et al. (2015) para o Kobe.

Até o momento, observa-se que os impactos dos desastres são heterogêneos e dependem das características das economias locais. Analisam-se assim estudos na economia brasileira de forma a se criar parâmetros comparáveis para os impactos do presente estudo. Assim como na literatura internacional, estudos em avaliação de desastres são escassos e focados em desastres específicos.

Para avaliar o impacto de chuvas em 2008 no estado brasileiro de Santa Catarina, Ribeiro et al. (2018) calculam a diferença na produção industrial entre Santa Catarina e o estado sintético construído através do método de controle sintético. Os autores encontram que a produção industrial mensal do estado foi em média 5,13% menor do que teria sido na ausência do desastre, 2 anos após o mesmo (p. 311). Os autores extrapolam esse valor para o que representaria essa queda da produção industrial no PIB do estado, concluindo que alcançaria uma perda entre 1,5% e 1,7% (p. 312).

Em contraste, Lima e Barbosa (2018) também tratam sobre as enchentes de Santa Catarina de 2008. Através de um modelo de Diferenças em Diferenças, analisam o impacto sobre a economia dos municípios atingidos. Desta forma, calculam o impacto médio sobre o PIB *per capita* dos municípios afetados de 7,6% no ano do desastre e nenhum impacto significativo a partir do terceiro ano, indicando uma recuperação da economia (p. 907). Os autores também encontram heterogeneidade dos impactos por intensidade dos danos e por setores econômicos (sendo agricultura o mais atingido). Encontraram também a existência de um efeito de transbordamento em cidades vizinhas não atingidas diretamente pelo desastre (p. 907).

Ainda avaliando enchentes, Santos e Haddad (2014) utilizam um modelo de equilíbrio geral computável para estimar o impacto das enchentes na cidade de São Paulo em 2008 sobre o PIB da cidade e do estado de São Paulo. Olhando a média anual entre os anos de 2008 e 2012, os autores encontram impactos negativos de 4,3% e 0,01% sobre o PIB em média para a cidade e para o estado de São Paulo, respectivamente (p. 86).

Dois trabalhos recentes tem o objetivo de analisar o impacto do rompimento da Barragem de Fundão. Um deles é Simonato et al. (2018), que desenvolve um modelo de equilíbrio geral computável para investigar o impacto do rompimento da Barragem de Fundão sobre a economia do município de Mariana (MG). Os autores estimam impactos negativos entre os anos de 2016 e 2020 sobre o PIB, consumo, emprego e exportações do município em dois cenários hipotéticos: i) com retomada da atividade de mineração; e ii) sem essa retomada. Eles compararam com o cenário base onde não há o rompimento. No primeiro cenário, eles encontram um impacto negativo de 33,69% sobre o PIB (p. 38), enquanto o impacto encontrado para o segundo é uma queda de

49,85% no PIB (p. 29). Eles encontram impactos negativos para todas as dimensões analisadas: consumo familiar para os cenários com retomada da mineração e sem essa retomada (-1,22% e -1,74%), consumo do governo (-40,7% e -40,7%), emprego (-1,22% e -1,65%) e exportações (-11,77% e -16,86%). É interessante notar que o consumo do Governo teve um impacto igual em ambos os cenários.

O outro trabalho que avalia o impacto do rompimento da Barragem de Fundão é Castro e Almeida (2019). Os autores utilizam o mesmo método que é aplicado nesse estudo, o controle sintético. Entretanto, eles medem o impacto no índice de produção industrial dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo separadamente para o período de dezembro de 2015 a novembro de 2016. As diferenças calculadas entre as trajetórias econômicas observadas e as trajetórias contrafatuais indicam redução de 18,22% na produção industrial geral e redução de 25,01% na produção extrativa mineral do Espírito Santo. No caso de Minas Gerais, não se observa impacto na produção industrial, mas na produção extrativa mineral estima-se impacto negativo de 15,58%.

Para concluir, é importante notar os padrões de estratégias e resultados que são utilizados na literatura para nortear as decisões tomadas no presente trabalho. Iniciando pela metodologia, dois métodos são os mais utilizados: o controle sintético e Equilíbrio Geral Computável[9]. No presente trabalho apresentam-se os impactos no PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo através do método de controle sintético. Nota-se que a unidade regional de análise também é importante. Apresenta-se a nível estadual devido à maior disponibilidade de dados e com o objetivo de providenciar o impacto amplo considerando a sua propagação entre os municípios desses estados que são muito integrados na sua atividade econômica. Observa-se também que não é fácil encontrar impacto estatisticamente significativo, principalmente no método de controle sintético. A explicação para tal será mostrada na próxima seção, onde se apresenta esse método em detalhe.

[9] Ambos os métodos serão utilizados para avaliar o rompimento da barragem, entretanto, o modelo de equilíbrio geral computável será entregue no próximo ano.

Tabela 1 — Resumo dos trabalhos analisados na revisão da literatura

Autores	Desastre	Local	Impacto	Medida	Período	Metodologia	Ano
Raddatz (2007)	Desastres humanitários	Vários países	-4%	PIB real	Ano 1	Painel VAR	1900 em diante
Strobl (2012)	Furacões	Países do Caribe e America Central	-0,83 p.p.	Taxa de crescimento	Intervalos anuais	Regressão de Índice de destruição de furacões sobre o PIB per capita	1950 em diante
Hochrainer (2009)	225 desastres	Vários países	-0,53% -1,03% -1,86% -2,27% -3,98%	PIB base	Ano 1 Ano 2 Ano 3 Ano 4 Ano 5	ARIMA com contrafactual	1960-2005
Noy (2009)	Desastres naturais	Países da OCDE	1,3p.p. 1,99p.p.	Crescimento do PIB	Ano 0 Acumulado	Regressão VI de magnitude do desastre sobre taxa anual de crescimento do PIB	1970-2003
		Países em desenvolvimento	-9,7p.p. -11,7p.p		Ano 0 Acumulado		
Cavallo et al. (2013)	6530 desastres. Foco em terremotos, enchentes e tempestades de vento.	196 países	-10% -18%	PIB (em média) PIB contrafactual (em média)	10 anos 10 anos	Controle Sintético	1970-2008
Chernozhukov, Wüthrich e Zhu (2019)	Ataque terrorista ETA	País Basco, Espanha	US$ - 760 (-7,47%[1]) US$ - 430 (-4,23%[1]) US$ - 810 (-7,96%[1])	PIB per capita de 1986 (US$ 1986)	Média (1970-1997)	Controle Sintético Diff-in-diff Lasso Restrito	1970-1997
Abadie e Gardeazabal (2003)	Ataque terrorista ETA	País Basco, Espanha	-10% -12% -8-9%	PIB per capita de 1986 (US$ 1986)	Média (1975-2000) Ano 0 20 anos	Controle sintético	1975-1997
Barone e Mocetti (2014)	Terremotos	Irpinia, Itália	-6% -12%	Taxa de crescimento PIB pc	10 anos 20 anos	Controle Sintético	1976 e 1980
			-6 a -11%	PIB pc - auxílio	Ano 5		
		Friulli, Itália	+23%	Taxa de crescimento PIB pc	20 anos		
			-2 a -4%	PIB pc - auxílio	Ano 5		

Continua.

Continuação.

Autores	Desastre	Local	Impacto	Medida	Período	Metodologia	Ano
Coffman e Noy (2011)	Furacão Iniki	Kauai, Havaí	-US$ 650 mi/ano (37% da renda média 1992-2009)[2]	Renda pessoal (US$ 2007)	Média (1992-2009)	Controle Sintético	1992
Xiao (2011)	Enchente	Condados com danos baixos no CO dos EUA	- US$ 846 a - US$ 850 US$ 244 a US$ 269	Renda per capita média da região Centro-Oeste dos EUA	Ano 0 LP (5 e 10 anos)	Arima com pareamento	1993
		Condados com danos altos no CO dos EUA	-US$ 388 a -US$ 450 Não significativo		Ano 0 LP (5, 7 e 10 anos)		
duPont e Noy (2015)	Terremoto Kobe	Kobe, Hyogo — Japão	-8% -12% -US$ 172 bi	PIB per capita	Ano 8 Ano 13 Acumulada (1995-2008)	Controle Sintético	1995
Selcuk e Yeldan (2001)	Terremoto	Turquia	-4,5% a +0,8%	PIB	Ano 0	Equilíbrio geral computável	1999
Santos e Haddad (2014)	Enchentes (2018)	Cidade de São Paulo	-4,3%	PIB	Média anual (2008-2012)	Equilíbrio geral computável	2008
		Estado de São Paulo	-0,01%				
Lima e Barbosa (2018)	Enchente	Santa Catarina	- 7,6%	PIB per capita	Ano 0	Diferenças em diferenças	2008
			Recuperação		Ano 3		
Ribeiro et al. (2018)	Chuvas e enchentes	Santa Catarina	-1,5 a 1,7%	PIB (R$ 2010	Ano 2	Controle Sintético	2008
Best e Burke (2019)	Terremoto	Haiti	-10%[3]	PIB (US$ 2015)	Média 5 anos	Controle Sintético	2010
			-6%[4]	PIB per capita (US$ PPP 2011)	Média 6 anos		
			-12%[4]	PIB/ano (US$ 2010)	Média anual (2010-2015)		
			-7%[4]	PIB per capita (US$ PPP 2011)	Ano 0		
Simonato et al. (2018)	Rompimento da barragem de Mariana	Mariana, MG	-49,85% sem retomada de mineração -33% com recuperação	PIB vs. Base	Acumulada (2016-2020)	Equilíbrio geral computável	2015
Castro e Almeida (2019)	Rompimento da barragem de Mariana (2015)	Espírito Santo	-18,22%	Produção Industrial	Média mensal (nov/2015-nov/2016)	Controle Sintético	2015
			-25,01%	Produção Extrativa Mineral			
		Minas Gerais	Não significativo	Produção Industrial			
			-15,58%	Produção Extrativa Mineral			
Albala-Bertrand (1993)	Vários	Vários países	Efeitos neutros ou positivos sobre crescimento econômico	Taxa de crescimento	2 anos	Função de produção linear	Vários

Notas:[1] Proporção aproximada. [2] Renda média aproximada. [3] Dados da ONU. [4] Dados do Banco Mundial

Fonte: Elaboração própria (2019).

3 METODOLOGIA

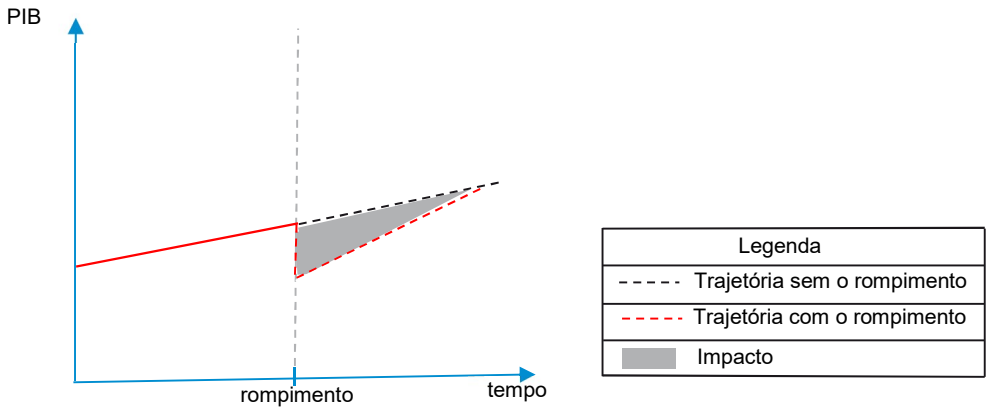
3.1 Avaliação de impacto

Para mensurar quantitativamente o impacto do rompimento da Barragem de Fundão no dia 5 de novembro de 2015 na economia dos estados e regiões afetadas, medido através da variável Produção Interna Bruta (PIB), desenvolve-se uma avaliação de impacto.

A avaliação de impacto visa identificar, mensurar e fornecer evidências dos impactos produzidos por uma intervenção[10] sobre variáveis de interesse (White, 2009). Interpreta-se como a intervenção o rompimento da Barragem de Fundão e se define o impacto como sendo a diferença entre a situação dos estados atingidos pelo rompimento após ele ter ocorrido (grupo atingido) e aquela em que estaria se o rompimento não tivesse ocorrido. A Figura 19 exemplifica essa definição. A linha vermelha sólida mostra a trajetória do PIB até o rompimento. Após o rompimento, a trajetória passa a ser a linha vermelha pontilhada. No momento imediatamente posterior ao rompimento há uma queda no nível do PIB.[11] A linha tracejada preta mostra a trajetória que o PIB teria se não tivesse acontecido o rompimento. A diferença entre o que se é observado, linha vermelha, e o que deveria ter acontecido, linha preta, mede o tamanho do impacto no PIB, área cinza. Ela representa o impacto no ano do rompimento e nos períodos subsequentes, até que, pelo menos, o PIB retorne a sua trajetória anterior.

[10] O conceito de intervenção é amplamente utilizado em estudos de avaliação de impacto. Entende-se por uma intervenção qualquer evento, causado pelo homem ou natural, que altere a trajetória da variável de interesse.
[11] Nesse exemplo, a trajetória do PIB após o rompimento retorna, após algum tempo, para aquela que teria na ausência do rompimento. Entretanto, não há garantias de que isso efetivamente aconteça (Albala-Bertrand, 1993; Hochrainer, 2007; Cavallo e Noy, 2009).

Figura 19 — Definição de impacto



Fonte: Elaboração própria (2019).

Em outras palavras, entenda por PIB_{it}^{I} a linha tracejada vermelha da Figura 19, ou seja, a trajetória do PIB observado após o rompimento para o estado i atingido para $t = \{1, \dots, T\}$, onde o sobrescrito i significa que a região foi exposta ao rompimento. Seja PIB_{it}^{N} o seu contrafactual, ou seja, o PIB que teria sido observado se o estado i não tivesse sofrido o rompimento, identificado pelo sobrescrito N, ou seja, a linha tracejada preta. Supondo que o rompimento aconteceu em $T_0 + 1$, o impacto é definido como a soma das diferenças de PIB_{it}^{I}, ou seja, o PIB observado, e PIB_{it}^{N}, o seu contrafactual na ausência do rompimento, em cada período sucessor ao rompimento da barragem. Por exemplo, soma-se o impacto de $T_0 + 1$ a T[12]:

$$\text{Impacto}_i = \sum_{t=T_0+1}^{T} \left(PIB_{it}^{I} - PIB_{it}^{N}\right).$$

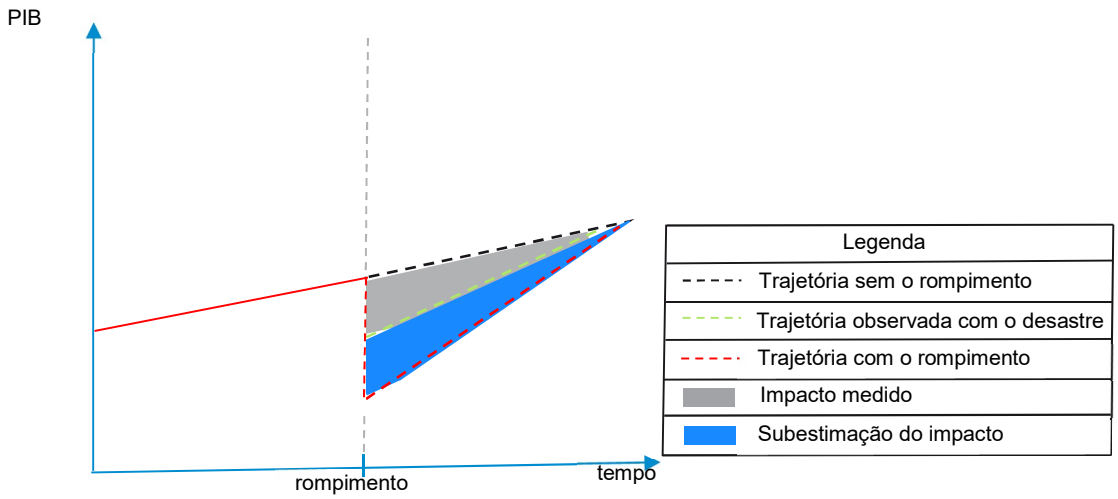
Na prática, não se observa PIB_{it}^{N}, ou seja, a sua trajetória na ausência do rompimento. O cálculo do impacto, então, se baseia na construção de um contrafactual para os estados que foram atingidos pelo rompimento. Outro desafio enfrentado é que, apesar de se observar PIB_{i}^{I}, como não se mede o PIB instantaneamente após o rompimento, o que se observa na verdade é o PIB_{i}^{I} mais o efeito das ações emergenciais. Se nenhuma correção for feita, o impacto pode estar subestimado, assim como mostrado na Figura 20. A linha tracejada verde é a trajetória do PIB após as ações emergenciais e/ou

[12] Pressupõe que o fator de desconto social seja igual a um para simplificar a explicação.

políticas de recuperação que ocorreram no período anterior à data em que é contabilizado o PIB. A linha vermelha é a dinâmica do PIB sem essas ações.

O impacto total do rompimento é a soma das áreas hachuradas cinza e azul, entretanto, sem nenhuma correção, é estimado o impacto da área cinza. O impacto estimado então é subestimado no tamanho da área azul. A estimação correta da trajetória do PIB na ausência de qualquer ação emergencial demanda modelos econômicos mais complexos que já estão sendo desenvolvidos para o próximo produto.

Figura 20 — PIB com rompimento e na ausência de ações reparadoras



Fonte: Elaboração própria (2019).

Entretanto, ainda é possível estimar o efeito do impacto utilizando os valores observados, tendo em mente que ele pode estar subestimado. Para isso, constrói-se contrafatuais. Existem diferentes metodologias para essa construção. Entre aquelas mais comumente utilizadas para análise do impacto de desastres na literatura, o estimador de diferenças em diferenças e métodos de pareamento (Rosenbaum e Rubin, 1983; Lalonde, 1986; Dehejia e Wahba, 1999; Heckman, Ichimura e Todd, 1998; Abadie e Imbens, 2002; Xiao et al., 2011; Tanaka, 2015) se baseia na comparação entre dois grupos similares em que um deles foi exposto ao desastre e outro, chamado de grupo de comparação, não foi exposto. Entretanto, essas metodologias não são as mais

adequadas para a avaliação do impacto nos estados quando o grupo que foi exposto é composto por poucos estados[13]. Esse é o contexto em que esse trabalho se enquadra.

A fim de contornar essa situação, Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie et al. (2010, 2015) desenvolvem uma metodologia em que se constrói um estado sintético como a média dos estados de controle, ou seja, daqueles não afetados pelo desastre. Esse método é conhecido como controle sintético e tem sido intensamente utilizado na análise do impacto de conflitos, intervenções políticas, desastres tecnológicos (Abadie e Gardeazabal, 2003; Abadie et al., 2010; Abadie et al., 2015; Castro e Almeida, 2018) e desastres naturais (Strobl, 2011; Cavallo et al., 2013; Barone e Mocetti, 2014; Ribeiro et al., 2014), por exemplo.[14] Apresentam-se, na próxima seção, as estratégias adotadas para a construção dos contrafatuais.

Na próxima seção, apresenta-se as três estratégias para a construção utilizadas nesse estudo. Apresenta-se também a metodologia de controle sintético com mais detalhes.

3.2 Construção de contrafactual

A fim de lidar com incertezas com relação a estimações pontuais do impacto, nesse trabalho, utiliza-se duas estratégias para a construção dos contrafatuais dos estados que foram atingidos pelo rompimento da barragem. A primeira e mais simples, chamada de Contrafactual 1, parte do pressuposto que o PIB dos estados afetados teria variado à mesma taxa que o PIB brasileiro na ausência desses estados. Essa estratégia pode ser entendida como utilizar a média ponderada dos outros estados brasileiros onde os pesos são os tamanhos dos seus respectivos PIBs, excluindo os dois estados mencionados. Para exemplificar, a Tabela 2 apresenta as taxas de variação do PIB do Brasil entre os anos de 2015 e 2016. Observa-se, no primeiro painel, que entre 2014-2015 e 2015-2016, o PIB brasileiro caiu 3,55% e 3,31%, respectivamente. Parte dessa taxa é devido às variações nos estados afetados. A fim de se ter 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

[13] Conley e Taber (2011) argumentam que o estimador de diferenças e diferenças não é consistente quando o número de casos tratados é pequeno. Apesar disso, eles apresentam uma abordagem para conseguir estimar de forma consistente distribuição do estimador, podendo assim estimar intervalos de confiança para o mesmo.

[14] Para o rompimento da Barragem de Fundão, Castro e Almeida (2019) aplicam o controle sintético para analisar o impacto no índice de produção industrial geral e do setor extrativo mineral para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Os autores encontram que houve uma redução de 18,22% no índice de produção industrial geral para o Espírito Santo, enquanto que o impacto não foi significativo para o estado de Minas Gerais. Para o setor extrativo mineral, os autores encontram que o estado de Minas Gerais apresentou uma diminuição de 15,58% no índice de produção industrial, ao passo que, no Espírito Santo, a redução foi de 25,01%.

que, sem os estados afetados, a taxa de variação do PIB brasileiro teria sido menos negativa, -3% e -3,05%. Essas taxas são utilizadas para a construção do PIB contrafactual dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Tabela 2 — Variação do PIB brasileiro na ausência dos estados de MG e ES

Brasil					
		2014	2015	2016	2014/2016
PIB	R$ bilhões	6,719.71	6,481.45	6,267.20	
	R$ bilhões		-238.27	-214.24	-452.51
Variação	%		-3.55	-3.31	-6.73
MG e ES					
		2014	2015	2016	2014/2016
PIB	R$ bilhões	750.49	691.51	653.86	
	R$ bilhões		-58.97	-37.65	-96.62
Variação	%		-7.86	-5.44	-12.87
Brasil sem os estados de MG e ES					
		2014	2015	2016	2014/2016
PIB	R$ bilhões	5,969.23	5,789.93	5,613.34	
	R$ bilhões		-179.29	-176.59	-355.88
Variação	%		-3.00	-3.05	-5.96

Fonte: Elaborado pelos autores (2019), a partir dos dados IBGE (2019).

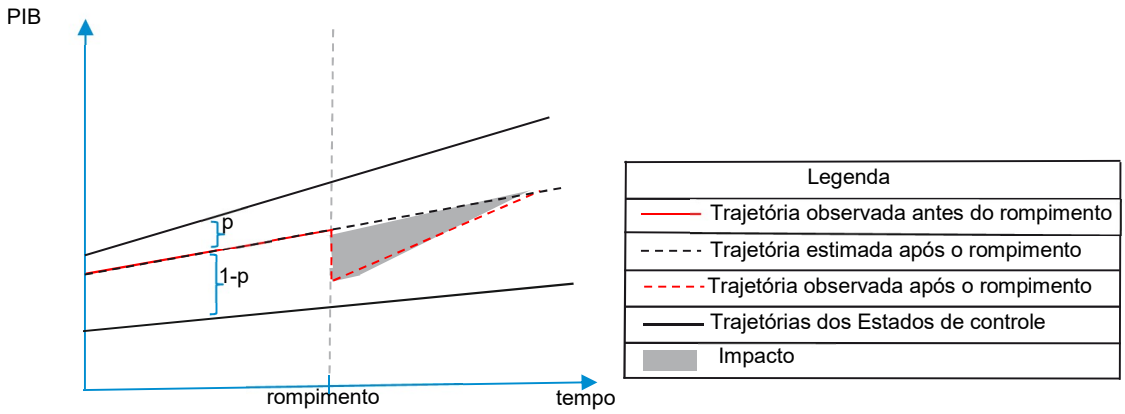
A segunda estratégia é a utilização da metodologia de controle sintético desenvolvida por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie et al. (2010, 2015) para montar um estado sintético que seja semelhante aos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, porém que não tenha sido afetado pelo rompimento. Antes de passar para a explicação dessa metodologia, um ponto merece ser destacado. Ela se baseia na hipótese de que os outros estados brasileiros não foram afetados pelo rompimento da barragem. Apresenta-se a seguir a metodologia de controle sintético e modelo estimado para a construção dos contrafatuais.

3.3 Controle sintético

O controle sintético se baseia na criação de um estado sintético similar àquele que foi atingido pelo rompimento da Barragem de Fundão, utilizando informações de um conjunto de estados de controle, onde é possível recriar a trajetória da renda agregada anterior ao rompimento e estimar qual teria sido o seu comportamento na ausência do rompimento da Barragem de Fundão. A soma das diferenças entre o PIB observado e sua estimativa através do estado sintético nos períodos após o rompimento é o tamanho do impacto causado pelo rompimento.

A Figura 21 apresenta graficamente a intuição por trás dessa metodologia. Assuma-se que só existam 3 estados. As linhas pretas sólidas representam os estados de controle e a linha vermelha sólida representa a trajetória do PIB anterior ao rompimento e para o estado atingido pelo mesmo. O controle sintético estima os valores dos pesos, *p* e *1-p*, de forma que se consiga criar um estado hipotético utilizando a informação dos estados de controle, cuja a trajetória do PIB pré-rompimento seja similar à trajetória observada da variável de interesse do estado que sofreu o rompimento, linha preta tracejada. Assim, é possível estimar qual seria a trajetória desse estado na ausência do rompimento e comparar com os valores realizados, linha vermelha tracejada. O impacto é a diferença entre a estimativa do estado sintético e os valores observados após o rompimento representado pela área cinza na Figura 21.

Figura 21 — Controle sintético



Fonte: Elaboração própria (2019).

O modelo seguinte racionaliza a metodologia de controle sintético formalmente. Suponha que se observe $J+1$ estados. Sem perda de generalidades, suponha que o primeiro estado são os estados de Minas Gerais e Espírito Santo conjuntamente. Dessa forma, existem J estados que não foram afetados pelo rompimento. Supondo que o rompimento ocorre no período T_0+1, com $1 \leq T_0 < T$, de forma que o estado $j=1$ é MG e ES.

Seja Y_{jt}^N o valor da variável de interesse (PIB) que seria observado para o estado j no tempo t na ausência do rompimento, para $j=\{1,\dots,J+1\}$ e t=$\{1,\dots,T\}$. Seja Y_{jt}^I o resultado para o estado j que foi exposto ao rompimento e $t=\{T_0+1,\dots,T\}$. Dessa forma, para o período anterior ao rompimento $t \in \{1,\dots,T_0\}$, tem-se que $Y_{jt}^N = Y_{jt}^I$ para todo j. Pressupõe-se que o rompimento não teve nenhum impacto antes de T_0+1. Ou

seja, os agentes econômicos (indivíduos, firmas etc.) não anteciparam o rompimento. Adicionalmente, supõe-se que o rompimento afeta somente o estado $j = 1$ (MG e ES conjuntamente) e não afeta os demais estados.

Para o cálculo do impacto do rompimento (α_{jt}), define-se D_{jt} um indicador que assume valor igual a um se o estado foi exposto ao rompimento no tempo t:

$$D_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{se } j = 1 \text{ e } t > T_0, \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Assim, o impacto observado para o estado j e tempo t é

$$Y_{jt}^{I} = Y_{jt}^{N} + \alpha_{jt} D_{jt}. \tag{1}$$

Deseja-se estimar $\alpha_{1t} = Y_{1t}^{I} - Y_{\mathrm{j}t}^{N}$, o impacto do rompimento no estado $j = 1$ e $t > T_0$. Observam-se os valores de Y_{1t}^{I}, mas não os valores para Y_{1t}^{N} quando $t > T_0$. Entretanto, é possível criar um estado sintético (contrafactual) como a média ponderada dos estados que não foram expostos ao rompimento, de forma que a trajetória pré-rompimento do PIB seja igual para o estado atingido e seu sintético. A trajetória do PIB do estado sintético pós-rompimento é interpretada como o que teria sido a trajetória do PIB do estado atingido na ausência do rompimento. Sendo assim, é possível calcular o impacto do rompimento da Barragem de Fundão através da equação (2):

$$\alpha_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j \, Y_{jt}. \tag{2}$$

onde w_j é o peso do estado $j = \{2, \dots, J+1\}$ para compor o controle sintético do estado tratado $j = 1$. Os pesos são tais que $w_j \geq 0$ e $\sum_{j=2}^{J+1} w_j = 1$.

Para estimar o vetor de pesos $W = \left(w_2, \dots, w_{J+1}\right)'$, utilizam-se as informações do período pré-rompimento $t \in \{1, \dots, T_0\}$. Define-se X_1 como o vetor de variáveis do estado $j = 1$ para o período pré-rompimento. Esse vetor é composto dos PIBs *per capita* de anos selecionados do período pré-rompimento Y_{1t} , $t \in \{1, \dots, M\}$ e $M \leq T_0$ e/ou de outras covariadas associadas ao PIB (e.g., composição setorial, etc.) Z_{1t}^{k}onde $k \in \{1, \dots, \mathrm{K}\}$, $t \in \{1, \dots, L\}$ e $L \leq T_0$ indexa a covariada. Dessa forma, o número de características

observadas antes do rompimento para os estados de MG e ES é KL+M. Em termos gerais, $X_1 = (Z_{11}^1, \dots, Z_{1\mathrm{L}}^1, \dots, Z_{11}^{\mathrm{K}}, \dots, Z_{1\mathrm{L}}^K, Y_{11}, \dots, Y_{1M})$. Note que podemos construir uma combinação linear das covariadas Z_{1t}^k ao longo do tempo. Por exemplo, seja $h_1 = (h_{11}, \dots, h_{1\mathrm{L}})'$ uma matriz de pesos para cada período pré-rompimento tal que $\sum_{t=1}^{L} h_{1t} = 1$. Os pesos podem ser tais que $h_1 = (1,0, \dots,0)'$, ou seja, Z_{11}^{k} será somente a variável do primeiro ano pré-rompimento. Outro exemplo, $h_1 = (\frac{1}{T_0}, \dots, \frac{1}{T_0})'$, onde Z_1^{k} é a média simples da variável Z_{1t}^k. De forma similar, define-se X_0 uma matriz $(KL + M) \times J$ com as mesmas variáveis para os J estados não afetados pelo rompimento, o grupo de estados que potencialmente formarão o grupo de comparação.

A matriz de pesos W (Jx1) é obtida pelo argumento que minimiza a distância entre os vetores X_1 e $X_0 W$, o vetor do estado atingido e o vetor dos estados de comparação ponderados. Formalmente, estima-se os pesos através da minimização da seguinte função de distância (Abadie e Gardeazabal, 2003; Abadie et al., 2010) com restrições,

$$W^*(V) = \mathrm{argmin}_{\mathrm{W}\in\mathbb{R}^{\mathrm{J}}} \sqrt{(X_1 - X_0 W)' V (X_1 - X_0 W)}, \tag{3}$$

tal que,

$$w_j \geq 0 \text{ para } j = \{1, \dots, J\},$$

$$\sum_{j=1}^{J} w_j = 1,$$

onde V é uma matriz $\{(KL + M)x(KL + M)\}$ simétrica positiva semidefinida introduzida para permitir pesos diferentes às variáveis em X_1 e X_0[15]. Apesar de o procedimento de análise ser válido para qualquer escolha de V, ela influencia o ajuste final do modelo. Um critério de escolha ótima é o que minimiza a média do erro de previsão ao quadrado (MSE) do estimador de controle sintético (Abadie e Gardeazabal, 2003; Abadie et al., 2010; Abadie et al., 2015), ou seja,

$$V^* = \mathrm{argmin}_{\mathrm{V}\in\mathrm{V}} \left(Y_1 - Y_0 W(V)\right)' \left(Y_1 - Y_0 W(V)\right), \tag{4}$$

[15] A intuição da inclusão dessa matriz é considerar de forma ótima as informações das covariadas observadas para a minimização.

onde Y_1 e Y_0 são as variáveis de interesse (PIBs) para o estado atingido e os estados não atingidos para o período pré-rompimento, e V é o espaço de todas matrizes semi e positivas definidas. Botosaru e Ferman (2019) argumentam sobre a importância da escolha da matriz *V* por esse procedimento, pois assim se garante que somente as variáveis relevantes são consideradas no método de estimação.

Dessa forma, a criação do controle sintético para o estado atingido segue o seguinte procedimento iterativo de resolução de otimização aninhada:

I Inicia-se com uma matriz V_1 inicial igual à matriz identidade;

II Estima-se $\mathrm{W}(V_1)$ resolvendo o problema de minimização (3);

III Com os valores para $\mathrm{W}(\mathrm{V}_1)$ obtidos na etapa anterior, se encontra V_2 resolvendo o problema (4);

IV Da posse de V_2, repete-se interativamente os passos (ii) e (iii) até chegar aos pesos $\mathrm{W}^*(V^*)$ que resolvem esse problema de otimização aninhado.

Através desse método, é possível encontrar a estimativa pontual para a magnitude do impacto do rompimento da barragem. Utiliza-se o software R Project[16] e o pacote *synth* 1.1.5 (Abadie et al., 2011).

3.4 Placebos

Para testar a significância dos impactos estimados, Abadie et al. (2010) propõem a construção de placebos utilizando o conjunto dos demais estados. Considera-se placebo o caso hipotético que um estado (que não seja MG ou ES) tenha sofrido o rompimento em $T_0 + 1$. Constrói-se um estado sintético para cada unidade placebo, e estima-se o impacto do rompimento hipotético $\hat{\alpha}_{jt}$ para $j \in \{2, \dots, J+1\}$ e $T_0 + 1 \leq t \leq T$. Em seguida, compara-se as estimativas placebos à estimativa para o estado que efetivamente sofreu o rompimento, $\hat{\alpha}_{1t}$. Se $\hat{\alpha}_{1t}$ for grande relativamente aos outros impactos $\hat{\alpha}_{jt}$, tem-se uma evidência a favor de que o impacto estimado é significativo. Formalmente, testa-se a hipótese nula $H_0: \alpha_{1t} = 0$ para $T_0 + 1 \leq t \leq T$. O p-valor para cada período t pode ser calculado utilizando a fórmula:

[16] R: **A language and environment for statistical computing**; 2015.

$$\begin{aligned} \text{p} - \text{valor}_{\text{t}} &= \Pr\left(\left|\hat{\alpha}_{1t}^{PL}\right| \geq |\hat{\alpha}_{1t}|\right) \\ &= \frac{\sum_{j=1}^{J+1} \mathbb{1}\left(\left|\hat{\alpha}_{jt}\right| \geq |\hat{\alpha}_{1t}|\right)}{J+1} \end{aligned} \tag{5}$$

onde $\mathbb{1}(\bullet)$ é uma função indicadora[17] e $\hat{\alpha}_{1t}^{PL} = \{\hat{\alpha}_{jt} : j = 1, \ldots, J+1\}$, o impacto de cada um dos placebos do estado atingido.

Essa abordagem testa o impacto em cada $t > T_0$, mas apresenta uma desvantagem. O impacto pode ser menor em alguns períodos do que em outros e na análise conjunta de todos os períodos, pode não ser claro se se rejeita a hipótese nula. Assim, Abadie et al. (2010, 2015) propõem um método que agrega todos os períodos pós-rompimento. Testa-se a hipótese nula de que não todo o impacto do rompimento é igual a zero através da estatística:

$$\text{rRMSE}_{\text{j}} = \frac{\left(\sum_{t=T_0+1}^{T} \left(\text{Y}_{jt}^{I} - \hat{Y}_{jt}^{N}\right)^2 / (T - T_0)\right)^{1/2}}{\left(\sum_{t=1}^{T_0} \left(\text{Y}_{jt}^{I} - \hat{Y}_{jt}^{N}\right)^2 / T_0\right)^{1/2}}. \tag{6}$$

Em essência, a estatística (6) é a razão das raízes quadradas das médias dos quadrados dos erros de previsão pré e pós-ajustamento[18]. Os autores argumentam que um RMSE pós-intervenção alto não necessariamente significa que a magnitude do impacto também foi alta se o controle sintético não consegue reproduzir o PIB do estado tratado de forma adequada. Isso acontece com estados que apresentam valores extremos. Dessa forma, a razão pós e pré-RMSE seria mais apropriada. Abadie et al. (2010) também excluem dos placebos aqueles estados que apresentam RMSE pré-rompimento 5 e 20 vezes maior do que o do estado afetado. Dessa forma, se exclui aqueles estados cujo controle sintético apresenta ajuste extremamente baixo. O p-valor da estatística (6) pode ser calculado através a fórmula:

$$\text{p} - \text{valor}_{rRMSE} = \frac{\sum_{j=1}^{J+1} \mathbb{1}\left(rRMSE_j \geq \text{r}RMSE_1\right)}{J+1}. \tag{7}$$

[17] $\mathbb{1}\left(\left|\hat{\alpha}_{jt}\right| \geq |\hat{\alpha}_{1t}|\right)$ é uma função indicadora, isto é, ela assume o valor igual a um se $\left|\hat{\alpha}_{jt}\right| \geq |\hat{\alpha}_{1t}|$ e zero, caso contrário.

[18] Y_{jt}^{I} é o PIB observado e $\hat{Y}_{jt}^{N}$ é o PIB *per capita* contrafactual estimado.

Dessa forma, rejeita-se a hipótese nula de nenhum impacto por todo o período pós-rompimento se o p-valor$_{rRMSE}$ for menor do que o nível de significância especificado.

Por fim, cabe citar que, apesar do método de controle sintético ser amplamente utilizado na literatura de avaliação de desastres, sua inferência ainda é uma de suas limitações, principalmente quando o grupo de comparação é composto por um número pequeno de estados. Para contornar essa limitação, implementa-se a correção do p-valor proposto por Firpo e Possebom (2018).

3.5 Variável dependente

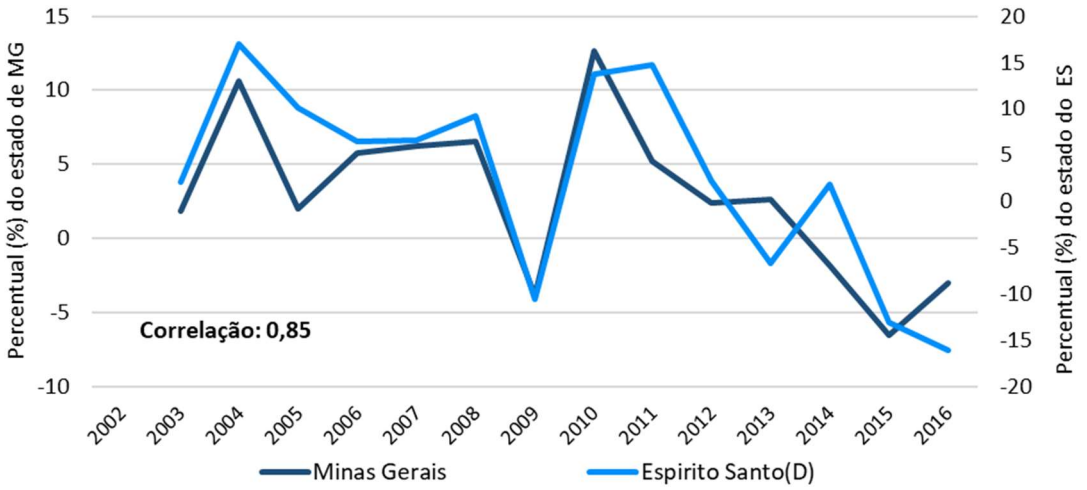
Para a aplicação do método de controle sintético, utiliza-se o PIB *per capita* devido a essa estratégia ser mais comum na literatura (Abadie e Gardeazabal, 2003;[19] Abadie et al., 2010,[20] 2015).[21] Os resultados são apresentados em nível multiplicando o PIB *per capita* estimado pela estimativa da população divulgada pelo IBGE. O PIB é calculado pelo Sistema de Contas Regionais do IBGE e está disponível para os anos de 2002 até 2016 pela ótica da produção e renda.

Utiliza-se nessa metodologia o PIB composto de Minas Gerais e Espírito Santo devido à alta correlação (0,85) entre o PIB desses dois estados. A Figura 22 mostra a taxa de variação dessa variável para os dois estados. Parte da explicação dessa alta correlação pode-se dever à interligação que existe no setor extrativo mineral, especificamente, a atividade do mineroduto e o processo de pelotização do minério que é feita no estado do ES.

Observa-se também na Figura 22 que, depois dos dois estados terem apresentado taxas de crescimento superiores a 10%, exibiram taxas de crescimento negativas a partir de 2013. No entanto, existe uma contração pouco usual que excedeu, por exemplo, a contração observada na crise de 2009. Minas Gerais e Espírito Santo vinham sofrendo com a queda dos preços do minério mostrada na Figura 22. Os preços do minério provavelmente podem também explicar a alta correlação entre o crescimento do PIB dos dois estados.

[19] Abadie, A.; Gardeazabal, J. **The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country**. American economic review, v. 93, n.1, p. 113-132, 2003.
[20] Abadie, A.; Diamond, A.; & Hainmueller, J. **Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program**. Journal of the American statistical Association, v.105, n. 490, 2010.
[21] Abadie, A.; Diamond, A.; Hainmueller, J. **Comparative politics and the synthetic control method**. American Journal of Political Science, n. 59, n.2, p. 495-510, 2015.

Figura 22 — Correlação entre as taxas de crescimento (%) do PIB de MG e ES



Fonte: Elaborado pelos autores (2019), a partir dos dados IBGE (2019).

Dessa forma, parte da variação do PIB dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo pode ser explicada por choques no preço do minério de ferro que pode ter impactos diferentes entre os outros estados brasileiros que compõem o grupo de comparação. Propõe-se assim a seguinte metodologia para retirar a influência desses choques nos PIB dos municípios. Estima-se o seguinte modelo linear, utilizando os anos de 2002 a 2014:

$$PIB_{it} = \mu_i + \delta_t + \beta P_t S_i^M + \epsilon_{it}$$

onde,

- PIB_{it} é o PIB do estado *i* no tempo *t*;
- μ_i é o efeito fixo do estado *i*;
- δ_t é o efeito específico do ano *t* comum a todos os estados;
- P_t é o preço do minério de ferro em US$ negociado Tianjin (FMI, 2009);
- S_i^Mé a média da participação do valor adicionado do setor extrativo para o estado i de 2002 a 2014;
- β é a sensibilidade dos estados a variação no P_t e S_i^M;
- ϵ_{it} é o erro idiossincrático assumido para satisfazer as hipóteses convencionais.

O PIB ajustado ($\widehat{PIB}_{it}$) é calculado para os anos de 2002 a 2016 através da fórmula:

$$\widehat{PIB}_{it} = PIB_{it} - \hat{\beta}(P_t - P^M)S_i^M$$

onde, P^M é a média do preço do minério de ferro de 2002 a 2014. O modelo estimado pode ser visto na Tabela 3 e a comparação entre a série ajustada e observada na Figura 23. Como se utiliza no controle sintético o PIB *per capita*, a Figura 24 mostra a comparação entre as séries com e sem ajuste. 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 o ajuste do modelo para o controle sintético dessa série. Especificamente, no período após o rompimento, é possível perceber que uma pequena parte da queda é devida à variação do preço do minério de ferro, pois o PIB ajustado também se reduz, porém menos do que o PIB sem ajuste.

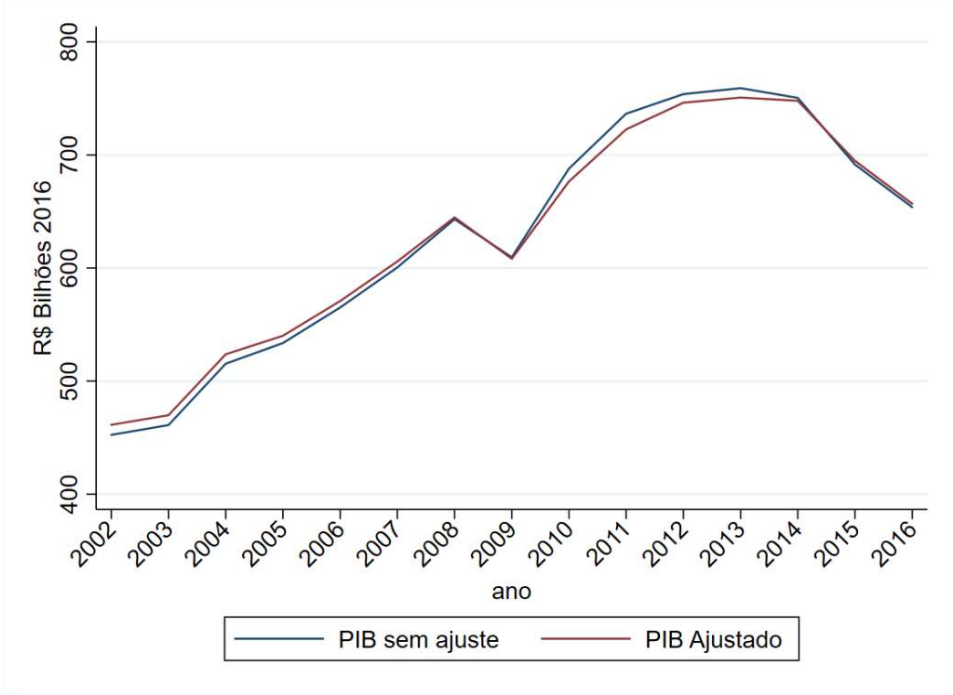
Tabela 3 — Modelo de regressão para o ajuste do PIB aos choques do preço de minério de ferro

Variáveis	Coeficientes
Preço do minério de ferro x participação média do setor extrativo no PIB estadual	4.795*
	(1.932)
Efeito fixo de ano	
2003	1.893
	(0.0965)
2004	11.72
	(0.649)
2005	16.81
	(1.050)
2006	24.01
	(1.611)
2007	35.80**
	(2.560)
2008	44.94***
	(3.164)
2009	43.47***
	(3.021)
2010	55.84***
	(3.366)
2011	64.20***
	(3.571)
2012	71.46***
	(4.028)
2013	78.67***
	(4.128)
2014	82.30***

Variáveis	Coeficientes
	(4.399)
Constante	170.5***
	(12.37)
Observação	338
R2	0.986

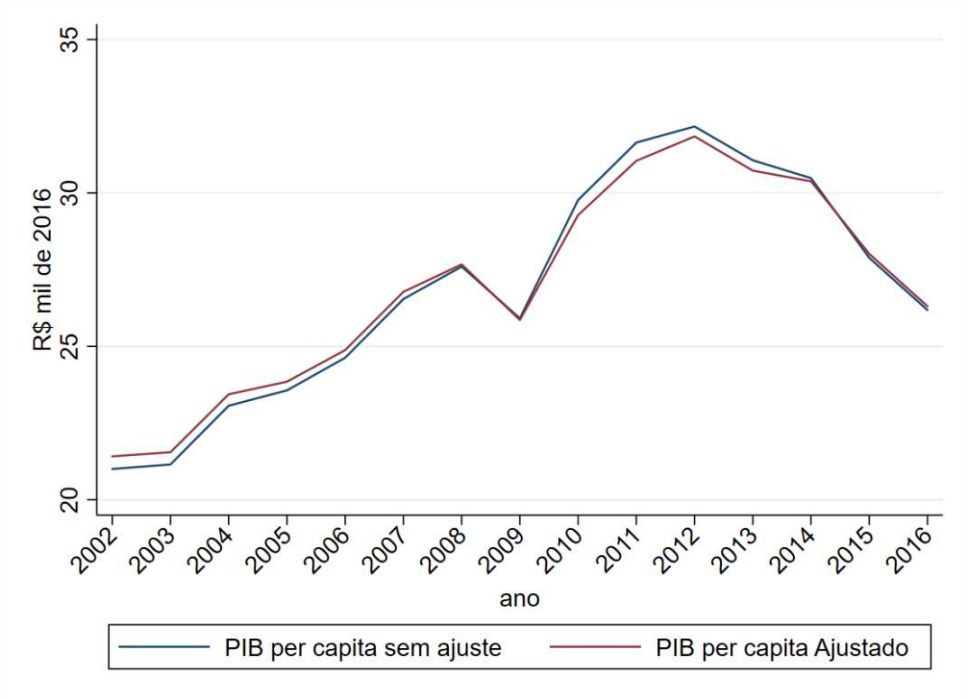
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).
Notas: Estatística t robusta entre parênteses.
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Figura 23 — Comparação entre o PIB observado e ajustado



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 24 — Comparação entre o PIB per capita observado e ajustado



Elaborado pelos autores (2019).

3.6 Modelos e variáveis de controle

Além do Contrafactual 1 apresentado na seção anterior, desenvolve-se quatro outros através do método de controle sintético. Cada contrafactual se diferencia no grupo de variáveis utilizadas para construir a unidade sintética. Entre estes, seleciona-se aquele modelo com melhor ajuste pré-rompimento. Um modelo utiliza somente o passado da própria variável de interesse, PIB *per capita*, e os outros utilizam outras variáveis importantes na determinação da produção estadual.

Utiliza-se essa estratégia para trazer mais robustez aos resultados, posto que segundo Kaul et al. (2017), o ajuste ótimo pré-rompimento é obtido quando se utiliza todo o passado da variável analisada, PIB *per capita*. Os autores argumentam que, se a seleção da matriz V for feita empiricamente, mesmo com variáveis consideradas importantes, estima-se pesos aproximadamente iguais a zero para estas. Entretanto, a ausência de covariadas pode enviesar a estimativa pós-rompimento do impacto se estas forem importantes para determiná-lo.

Descreve-se os modelos selecionados (Contrafactual 2 e 3) nesta seção, mas a descrição e resultados de todos os modelos estimados encontra-se no Apêndice A. Na maioria, os resultados entre modelos são similares. O critério de seleção do melhor

modelo foi o indicador de ajuste pré-rompimento, a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

Assim, o Contrafactual 2 é o modelo que considera somente as defasagens do PIB *per capita*. Cada valor do PIB *per capita* passado antes do rompimento é tratado como uma variável independente. A matriz é do tipo $X_1 = (\mathrm{Y}_1^{2002}, \ldots, \mathrm{Y}_1^{2014})'$ para os estados atingidos e $X_0 = (\mathrm{Y}^{2002}, \ldots, \mathrm{Y}^{2014})'$, onde Y^{t} para $t = \{2002, \ldots, 2014\}$ é um vetor $1 \times J$ com o PIB *per capita* para o ano *t* com *J* estados de comparação. Exemplos de trabalhos que utilizam todo o passado da variável de interesse como covariadas são Hinrichs (2012), Billmeier e Nannicini (2013), Kreif et al. (2016), Botosaru e Ferman (2019), entre outros.

O Contrafactual 3 (Modelo com covariadas e PIB *per capita* de anos específicos): seleciona-se o conjunto de covariadas com relação à determinação do PIB dos estados. Adiciona-se a esse conjunto o PIB *per capita* de 2002 e 2003, representando informação no longo prazo e de 2011 a 2014, como informação no curto prazo. Esses últimos anos ajudaram a melhorar o ajuste do modelo nos anos anteriores ao rompimento (Kaul et al., 2017). O modelo, então, é composto pelas seguintes variáveis:[22]

I PIB *per capita* de 2002, 2003, 2011 a 2014;

II A média da proporção de terras utilizadas para agricultura, pecuária e área urbana fornecidas pela MapBiomas de 2002 a 2014;

III A média do capital humano, cuja metodologia é detalhada no Apêndice E, desenvolvido a partir do modelo de Katz e Murphy (1992) utilizando os dados do Censo demográfico 2010, PNAD e PNAD contínua de 2002 a 2014;

IV A média da densidade populacional do IBGE de 2002 a 2014;

V A média da participação do setor de agricultura no PIB do IBGE de 2002 a 2014;

VI A média da participação do setor industrial no PIB de 2002 a 2014 do IBGE;

VII A média da participação do setor de serviços no PIB de 2002 a 2014 do IBGE;

VIII A média da participação do setor de extração no PIB de 2002 a 2014 do IBGE.

[22] O Apêndice A mostra as estatísticas descritivas das covariadas.

4 RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os resultados[23] para os dois contrafatuais selecionados. O primeiro é a utilização da taxa de variação do PIB brasileiro que teria sido observado sem incluir os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O segundo é a construção de um estado sintético através da ponderação dos outros estados, onde os pesos são selecionados pelo método de controle sintético, utilizando-se como covariadas somente o passado da variável PIB *per capita* para todo o período pré-rompimento (Kaul et al., 2017). O terceiro contrafactual cujos resultados são iguais ao contrafactual anterior é o Contrafactual 3. Nesse último, as covariadas são anos anteriores do rompimento selecionados do PIB *per capita* e um conjunto de outras variáveis importantes na determinação do PIB *per capita* apresentado na seção anterior.

A Tabela 4 mostra a magnitude dos impactos estimados para os anos de 2015 e 2016 para os dois contrafatuais.[24] Para o primeiro contrafactual, observa-se que nos valores para as séries do PIB sem ajuste e com ajuste, os resultados são próximos. As perdas no PIB em 2015 são da ordem de R$ 35,09 bilhões e R$ 37,65 bilhões respectivamente. Em 2016, são de R$ 39,53 bilhões e R$ 53,03 bilhões para o PIB sem e com ajuste, respectivamente. O valor superior para a série com ajuste está de acordo com o esperado, visto que parte da queda do PIB foi causada pela variação no preço do minério de ferro como visto anteriormente. A cotação dessa *commodity* é importante para a economia dos estados atingidos, principalmente para o Espírito Santo. No acumulado dos dois anos, as perdas estão entre R$ 74,62 bilhões e R$ 90,68 bilhões, e esses valores equivalem a uma perda de 5,25% e 6,29% do PIB dos dois estados.

Os resultados para os Contrafatuais 2 e 3 são muito semelhantes. As diferenças estão nas casas decimais. O Contrafactual 2 estima perdas em magnitudes próximas ao Contrafactual 1 para o ano de 2015, R$ 36,43 bilhões e R$ 37,65 bilhões, para o PIB sem e com ajuste, respectivamente. Para o ano de 2016, os valores desses contrafatuais são mais distantes. Estimam-se perdas de R$ 40,11 bilhões e R$ 46,17

[23] Os impactos foram trazidos ao nível do PIB multiplicando o PIB *per capita* pela população corrente. O Apêndice C apresenta os valores para o PIB *per capita*. Há uma preocupação com a migração na região afetada pelo rompimento. Entretanto, a nível estadual, acredita-se que isso não seja um problema, pois as estimativas do IBGE (2019) para a população dos estados de MG e ES mostra que, entre 2014 e 2015, a população aumentou em 0,73% e entre 2015-2016, em 0,63%.

[24] O Apêndice B apresenta os resultados para os outros três contrafatuais construídos. Uma consideração entre os modelos estimados é a semelhança entre o Contrafactual 2 e 3. Apesar das diferenças nas variáveis de controle, a composição dos estados sintéticos é muito semelhante e, consequentemente, o tamanho do impacto também. Analisando o indicador de ajuste (RMSE pré-rompimento), observa-se que o Contrafactual 2, assim como esperado, é aquele que apresenta o melhor ajuste.

bilhões. No acumulado dos dois anos, as perdas no PIB foram de R$ 75,50 bilhões e R$ 83,77 bilhões, para o PIB sem e com ajuste, respectivamente. A Figura 25, nos painéis (a) e (b), mostra graficamente a comparação do PIB composto dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e seu respectivo estado sintético (Contrafactual 2). Observa-se que o estado sintético acompanha a dinâmica do PIB observado até o ano do rompimento. Há alguns pontos que ficam mais afastados, principalmente para o ano de 2009 devido à crise do *Subprime* que começou nos Estados Unidos e atingiu o Brasil.

Com relação à literatura internacional, é difícil fazer uma comparação direta do impacto no PIB, pois várias dimensões precisam ser comparáveis, tais como a severidade do desastre, o nível de desenvolvimento e o momento das economias, entre outras. Os trabalhos com desastres tecnológicos também são escassos. Tendo essas limitações em mente, o impacto encontrado nesse trabalho se equipara a alguns desastres naturais em países de baixa renda e com amplo alcance. Selcuk e Yeldan (2001) verificam que o impacto inicial do terremoto de 1999 na Turquia foi de -4,5% a 0,8% do PIB nacional. Best e Burke (2019) estimam que o PIB do Haiti ficou 7% abaixo do que ficaria se o terremoto de 2010 não tivesse ocorrido. Como indicado anteriormente, o impacto estimado nas economias de Minas Gerais e Espírito Santo ficou entre 5,6% e 7,47%.

O painel inferior da Tabela 4 apresenta a composição do estado sintético criado pelo Contrafactual 2. Santa Catarina representa pouco mais de 40,70% e 41,50%; Rondônia tem peso de 23,40% e 29,30%; o Rio de Janeiro tem 7,10% e 4,90%, na mesma ordem para o PIB sem e com ajuste. Enquanto que no PIB sem ajuste o Pará tem peso 28,80%, no PIB ajustado Pernambuco tem 24,20%. Essa diferença é consequência da correção feita da variável do PIB pelo preço do minério de ferro. O PIB paraense é composto de aproximadamente 15% do valor adicionado do setor de extração. A maior mina de minério de ferro se encontra nesse estado (mina de Carajás da Vale S.A.). A correção pode ter reduzido a correlação entre os estados atingidos e o estado do Pará, mas aumentado a correlação com o estado do Pernambuco.

Uma hipótese para a inclusão de Pernambuco no estado sintético seria a similaridade da estrutura econômica com Minas Gerais e Espírito Santo após o ajuste no setor de extração. Especificamente, observa-se que os pesos dos setores de serviços e agropecuário no PIB estadual são similares. Assim como a trajetória de suas taxas de crescimento do PIB.

Os estados de Rio de Janeiro e São Paulo serem selecionados não surpreende, visto que esses dois estados são física e economicamente mais próximos aos estados de

Minas Gerais e Espírito Santo. Metodologicamente, esses estados se posicionam no extremo superior na distribuição das variáveis.

Já os estados de Santa Catarina e Rondônia apresentam pesos altos na composição do estado sintético. Ao analisar mais a fundo algumas características dos estados em questão, podemos inferir possíveis motivos de terem sido selecionados. A composição setorial de Santa Catarina aparenta ser próxima daquela dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, tendo os setores de serviços, indústria e agropecuária pesos expressivamente similares. Seus níveis de densidade populacional e a trajetória da taxa de crescimento do PIB também são correlacionados. Já Rondônia se mostra mais próximo de Minas Gerais e Espírito Santo quanto à trajetória do PIB *per capita*, já que apresentam nível próximo ao dos estados aqui analisados conjuntamente.

Por fim, testa-se a hipótese nula de que não houve impacto em cada um dos anos individualmente e no acumulado dos dois anos. Antes de analisar os resultados, é preciso esclarecer um ponto sensível dessa análise. Como só se constrói 25 placebos e, somando o estado afetado, há 26 unidades para analisar, de forma que, se o impacto desse estado estiver no extremo da distribuição, o p-valor será igual a 0,04.[25] Considerando isso, os resultados sugerem que efetivamente houve o impacto negativo no PIB de Minas Gerais e Espírito Santo. Em 2015, os p-valores são 0,12 e 0,16 para o PIB sem e com ajustes, respectivamente. Lendo esses números de outra forma, os impactos estimados são o terceiro e quarto maiores em valor absoluto dos 26 estados. Em 2016, os p-valores são 0,24 e 0,20, um pouco superiores, mas ainda próximos à calda da distribuição. Os painéis (a) e (b) da Figura 26 mostram os 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. Observa-se que a variância dos placebos parece não se alterar para todos os anos da amostra, enquanto que, com exceção para o ano de 2009, ano da crise internacional, o impacto em MG e ES, mostrado na linha vermelha, se afasta da linha da origem.

A Figura 27 mostra 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 2016. Novamente, os pontos aparecem próximos aos extremos, mas não são significativos. Especificamente, para o Contrafactual 2, os p-valores são iguais a 0,24 e 0,28 para o PIB sem e com ajuste,

[25] O Apêndice D apresenta um exercício de robustez para a inferência. Abadie, A.; Diamond, A.; Hainmueller, J. (2010) sugerem excluir valores extremos, ou seja, placebos que apresentaram RMSE 5 e 20 vezes maior do que o RMSE dos estados de MG e ES. Além disso, calcula-se o p-valor corrigido para testes de hipótese múltiplos de Firpo e Possebom (2018).

respectivamente. Novamente, a inferência estatística utilizando esse método não é conclusiva, mas ainda sugere de forma fraca um impacto negativo nas economias do Espírito Santo e Minas Gerais, quando analisamos a posição dos impactos do rompimento ordenados entre todos os estados, MG e ES e os placebos.

Os exercícios com os placebos merecem uma análise detalhada para melhor compreensão dos resultados. Os anos de 2014 a 2016 foram anos de economia em decrescimento para a maioria dos estados brasileiros, assim como visto no painel (a) da Figura 5. Simultaneamente ao rompimento, choques econômicos afetaram outros estados de forma heterogênea.

Destacam-se os estados do Rio de Janeiro e Amazonas para os quais se estimaram impactos maiores do que para MG e ES em todos os testes. No ano de 2015, dois choques econômicos afetaram as economias desses dois estados de forma acentuada. O Rio de Janeiro pode ter sido fortemente afetado pela queda no preço do petróleo, que se reduziu em -47% entre 2014 e 2015 e mais -15% entre 2015 e 2016. Nesse período, seu PIB se reduziu em R$ 140 bilhões (17,95%) entre 2014 e 2016. Não é surpresa a importância desse produto para o estado. A participação do setor extrativo no PIB fluminense é 6,22%, em média, atrás apenas dos gastos com serviços públicos e impostos indiretos, 8,5% e 8,1%, respectivamente.

O Amazonas também apresentou uma das menores taxas de crescimento entre 2014 e 2015 (-11,67%). Parte da queda pode ser explicada pela redução no volume produzido no setor de transformação do estado (-11,6%) entre 2015-2016 devido ao quadro recessivo nacional (IBGE, 2019). Esse setor contempla, em média, 13,26% do PIB, o maior setor do estado.

As estimativas e as análises aqui apresentadas indicam que MG e ES sofreram com o impacto do rompimento. Apesar de outros estados terem sofrido outros choques macroeconômicos específicos, as economias de MG e ES apresentam uma das maiores contrações entre todos os estados.

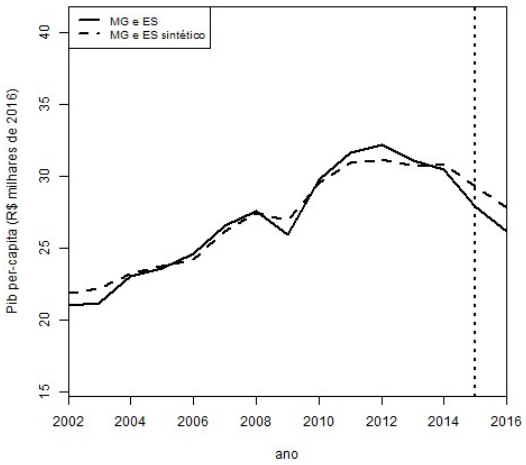
Tabela 4 — Estimativas do impacto no PIB dos estados de Minas Geras e Espirito Santos

Ano	Estatística	Contrafatual 1		Contrafatual 2		Contrafatual 3	
		PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
2015	R$ bilhões	-36,43	-37,65	-35,39	-37,59	-35,09	-37,60
	% do PIB	-5,00	-5,14	-4,87	-5,13	-4,83	-5,13
	P-valor	-	-	0,12	0,16	0,16	0,12
2016	R$ bilhões	-51,88	-53,03	-40,11	-46,17	-39,53	-46,11
	% do PIB	-7,35	-7,47	-5,78	-6,57	-5,70	-6,56
	P-valor	-	-	0,24	0,20	0,24	0,24
Acumulado	R$ bilhões	-88,31	-90,68	-75,50	-83,77	-74,62	-83,71
	% do PIB	-6,16	-6,29	-5,31	-5,83	-5,25	-5,83
	P-valor	-	-	0,24	0,28	0,28	0,24
RSME	Pré	-	-	0,63	0,67	0,63	0,67
	Pós	3,24	3,41	1,52	1,69	1,50	1,69
Composição do Estado sintético							
UF				Pesos (%)			
Rondônia				23,40	29,40	23,00	28,90
Pará				28,80		29,30	
Pernambuco					24,20		24,60
Rio de Janeiro				7,10	4,90	7,50	5,00
Santa Catarina				40,70	41,50	40,20	41,50

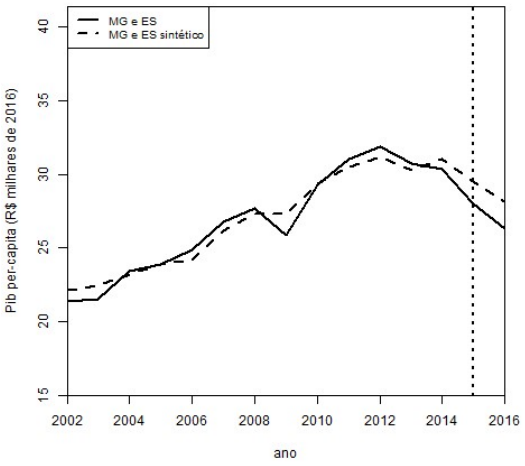
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 25 — PIB dos estados de MG e ES e do Estado Sintético

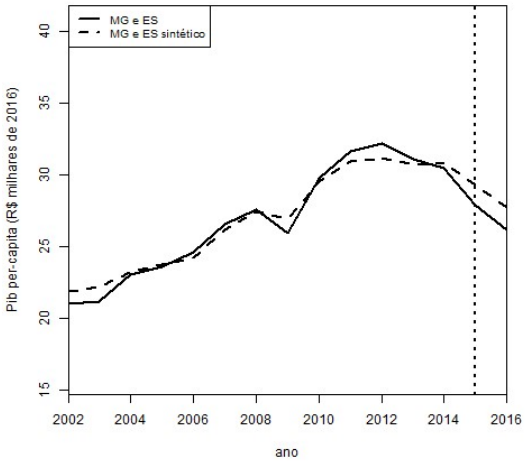
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita* sem ajuste



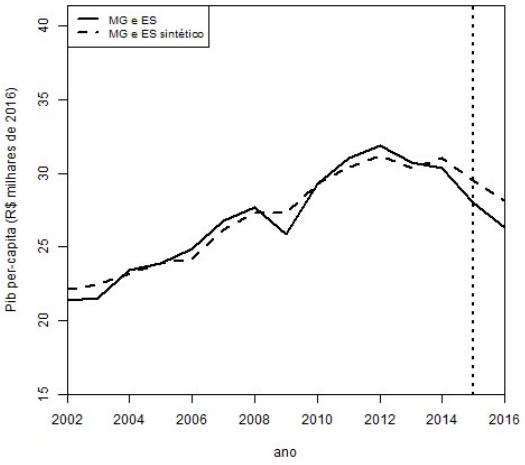
(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita* com ajuste



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



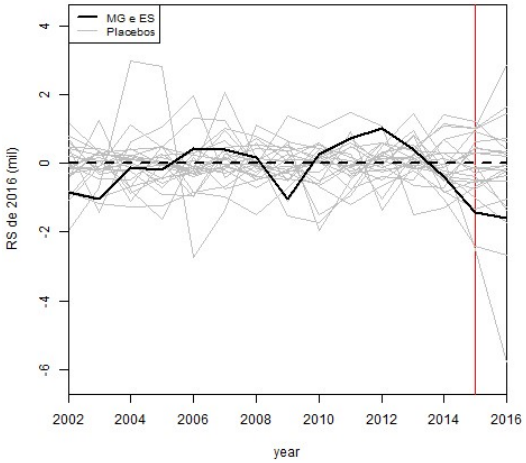
(d) Contrafactual 3 — PIB *per capita*l com ajuste



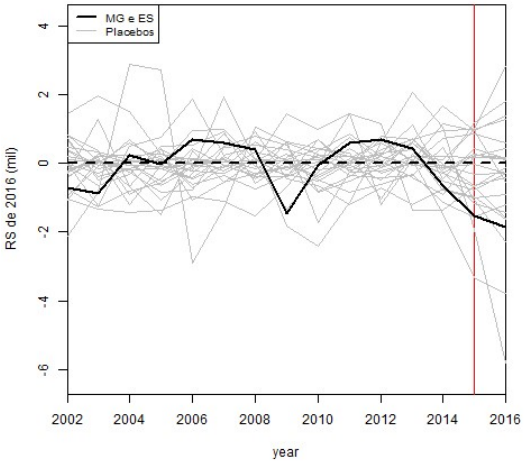
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 26 — Placebos

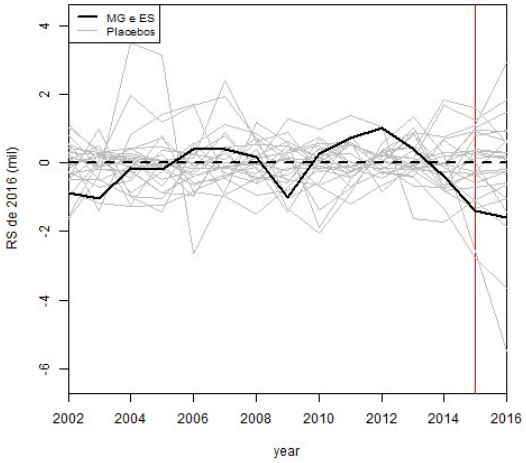
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita*l sem ajuste



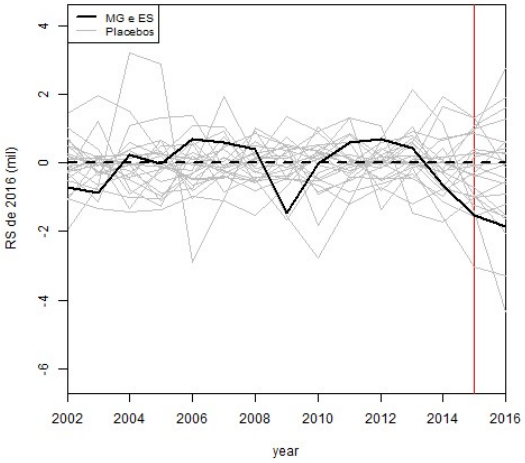
(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita*l com ajuste



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



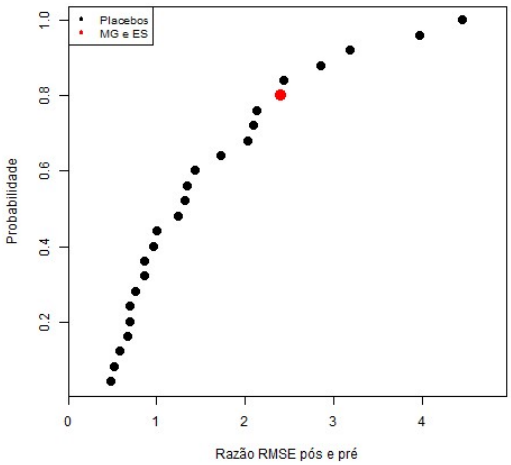
(d) Contrafactual 3 — PIB *per capita*l com ajuste



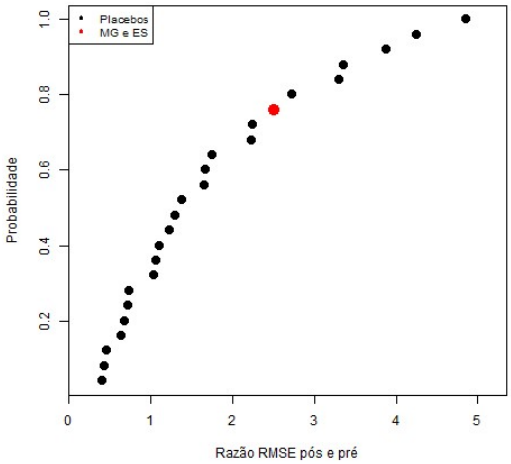
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 27 — Distribuição acumulada da razão pré/pós-RMSE

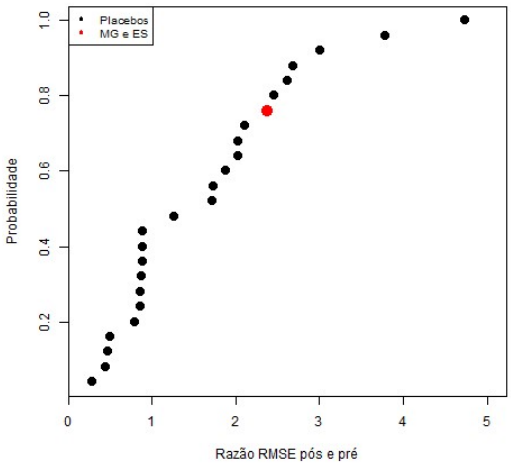
(a) Contrafactual 2 — PIB *per capita* observado



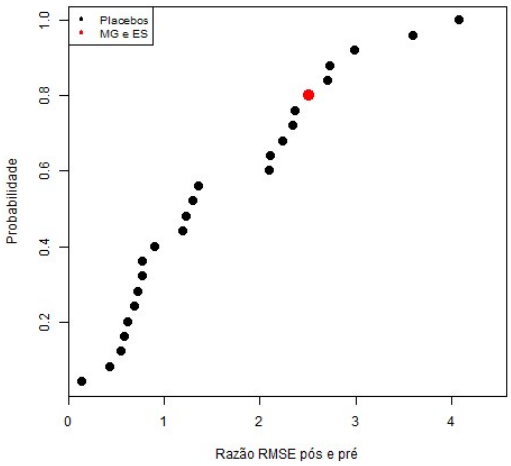
(b) Contrafactual 2 — PIB *per capita* ajustado



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



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

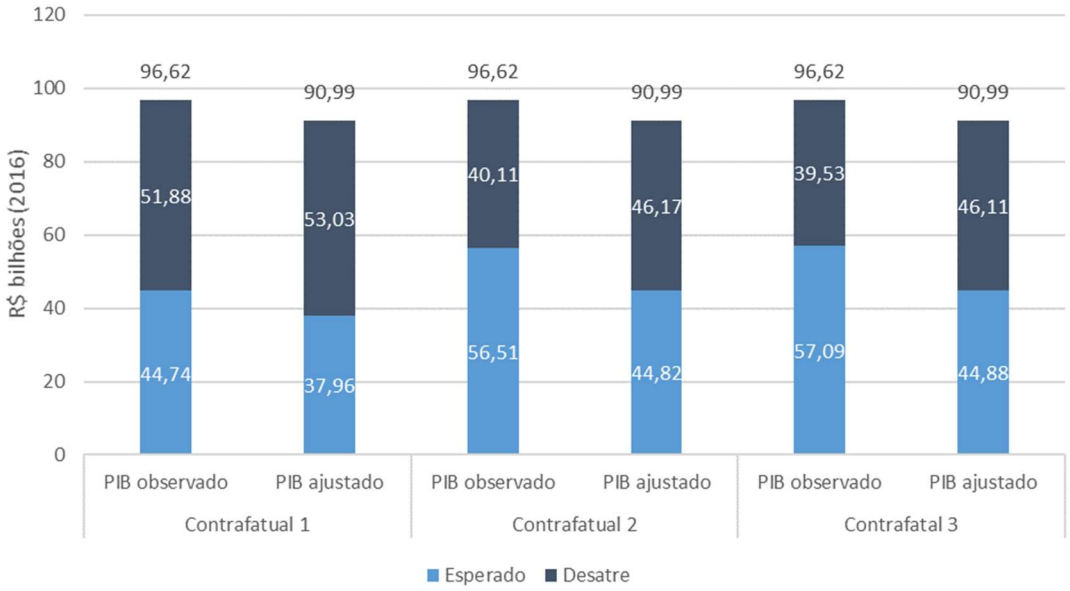


Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Outra forma de analisar o impacto do rompimento da Barragem de Fundão é mensurar quanto da variação do PIB, entre 2014 e 2016, pode ser atribuída ao rompimento. A Figura 28 apresenta os resultados para os dois contrafatuais analisados. Entre esses anos, o PIB de Minas Gerais e Espírito Santo variou R$ 96,62 bilhões. Desses, atribui-se ao rompimento a quantia mostrada na barra azul-escuro. Os valores atribuídos ao rompimento estão entre o intervalo R$ 40,11 bilhões e R$ 51,88 bilhões. Utilizando o PIB ajustado, os valores não ficam muito diferentes. O intervalo de valores é R$ 46,17 bilhões a R$ 53,03 bilhões. Esses valores mostram que o PIB desses estados está entre

5,78% e 7,47% abaixo do que deveria estar se não tivesse acontecido o rompimento da barragem.

Figura 28 — Valor da variação do PIB de MG e ES atribuído ao rompimento da Barragem de Fundão



Fonte: Elaboração própria (2019).

5 CONCLUSÕES

O presente estudo apresenta a estimativa da queda do PIB e renda agregada devida ao rompimento da Barragem de Fundão em 2015. Estima-se que Minas Gerais e Espírito Santo perderam mais PIB do que os estados comparáveis não afetados pelo rompimento. Estima-se um impacto acumulado no ano do rompimento e no ano seguinte de R$ 75 a R$ 84 bilhões em comparação com o PIB contrafactual do cenário 2.

Uma das limitações desse trabalho é a que não foram deduzidos do PIB os esforços ou os efeitos das políticas de recuperação. Pretende-se progredir nessa direção. Uma das formas é através do desenvolvimento de um modelo de equilíbrio geral onde será possível decompor o impacto total do rompimento em parte associado à parada da produção de minério de ferro pela Samarco e em parte a outros canais. Os próximos passos consistem em progredir nessa direção.

Além disso, como visto na seção de revisão da literatura, os impactos podem ser heterogêneos entre as regiões. Dessa forma, pretende-se analisar através de métodos econométricos o impacto nos municípios na bacia do Rio Doce.

Por fim, ressalta-se que os impactos do rompimento podem ter ido muito além do econômico. Outros impactos importantes de ordens superiores a serem analisados são o nível de pobreza, desigualdade, saúde, violência, entre outras importantes dimensões sociais.

REFERÊNCIAS

ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country. **American economic review**, v. 93, n.1, p.113-132, 2003.

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

. Simple and Bias-Corrected Matching Estimator for Average Treatment Effect. **NBER Working Paper,** n. 283, 2002.

____. Synth: An r package for synthetic control methods in comparative case studies. **Journal of Statistical Software**, v. 42, n.13, 2011.

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

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce:** Rompimento da Barragem em Mariana/MG, 2016. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>.Acesso em: 11 out 2019.

ALBALA-BERTRAND, J. M. Natural disaster situations and growth: A macroeconomic model for sudden disaster impacts. **World Development,** v. 21, n. 9, p. 1417-1434, 1993.

BARONE, G.; MOCETTI, S. Natural disasters, growth and institutions: a tale of two earthquakes. **Journal of Urban Economics**, v. 84, p. 52-66, 2014.

BENSON, C.; Clay, E. **Understanding the economic and financial impacts of natural disasters**. The World Bank, 2004.

BEST, R.; BURKE, P. J. Macroeconomic impacts of the 2010 earthquake in Haiti. **Empirical Economics**, v. 56, n.5, p. 1647-1681, 2019.

BILLMEIER, A.; NANNICINI, T. Assessing economic liberalization episodes: A synthetic control approach. **Review of Economics and Statistics**, v. 95, n. 3, p. 983-1001, 2013.

BOTOSARU, I.; FERMAN, B. On the role of covariates in the synthetic control method. **The Econometrics Journal,** v. 22, n. 2, p.117-130, 2019.

CASTRO, L.S.; ALMEIDA, E.S. Desastres e desempenho econômico: avaliação do impacto do rompimento da barragem de Mariana. **Geosul,** Florianópolis, v. 34, n. 70, p. 406-429, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2019v34n70p406>. Acesso em: 11 out. 2019.

CAVALLO, E.; NOY, I. The economics of natural disasters**:** a survey. **IDB Working Paper.** n. 35. Disponível em SSRN: https://ssrn.com/abstract=1817217 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1817217, 2009.

CAVALLO, E.; POWELL, A; BECERRA, O. Estimating the direct economic damages of the earthquake in Haiti. **The Economic Journal,** v. 120, n. 546, p. 298-312, 2010.

CAVALLO, E.; GALIANI, S.; NOY, I.; PANTANO, J. Catastrophic natural disasters and economic growth. **Review of Economics and Statistics**, v. 95, n. 5, p. 1549-1561, 2013.

CENTER OF RESEARCH ON EPIDEMIOLOGY OF DESASTERS (RED). **The international Disaster data base (EM-DAT)**. Disponível em: < https://www.emdat.be/>. Acesso em 11 out. 2019.

CHERNOZHUKOV, V.; WUTHRICH, K.; ZHU, Y. **Practical and robust t-test based inference for synthetic control and related methods**, arXiv e-prints, p. arXiv:1812.10820, 2019.

CHHIBBER, A.; LAAJAJ, R. Natural disasters and economic development impact, response and preparedness. **Global Development Network**, 2007.

COFFMAN, M.; NOY, I. Hurricane Iniki: measuring the long-term economic impact of a natural disaster using synthetic control. **Environment and Development Economics**, v.17, n.2, p. 187-205, 2012.

CONLEY, T. G.; TABER, C. R. Inference with “difference in differences” with a small number of policy changes. **The Review of Economics and Statistics,** v. 93, n.1, 113-125, 2011.

DEATON, A.; ZAIDI, S. Guidelines for constructing consumption aggregates for welfare analysis. **World Bank Publications,** 2002.

DEHEJIA, R.; WAHBA, S. Casual effects of nonexperimental studies: reevaluating the evaluation of training programs. **Journal of American Statistical Association,** v.94, n. 448, p.1053-1062, 1999.

DUBE, A.; ZIPPERER, B. Pooled synthetic control estimates for recurring treatment: an application to minimum wage studies, University of Massachusetts. **Amherst Working Paper**, 2013.

DUPONT IV, W.; NOY, I.; OKUYAMA, Y.; SAWADA, Y. The Long-Run Socio-Economic Consequences of a Large Disaster: The 1995 earthquake in Kobe. **Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI)**, 2015.

DUPONT IV, W.; NOY, I. What happened to Kobe? A reassessment of the impact of the 1995 earthquake in Japan. **Economic Development and Cultural Change,** v. 63, n. 4, p. 777-812, 2015.

FERNANDES, R.; MENEZES-FILHO, N. Educação, salários e a alocação de trabalhadores entre tarefas: teoria e evidências para o Brasil**. Pesquisa e Planejamento Econômico-PPE**, v. 42, n. 3, p. 311-328, 2012.

FIRPO, S.; POSSEBOM, V. Synthetic control method: Inference, sensitivity analysis and confidence sets. **Journal of Causal Inference**, v. 6, n.2, 2018.

FUNDO MONETÁRIO NACIONAL (FMI). **World Economic Outlook Database**, 2009. Disponível em: <www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/02/weodata/index.aspx). Acesso em: 11 nov. 2019.

GERTZ, A. B.; DAVIES, J. B.; BLACK, S. L. A CGE Framework for Modeling the Economics of Flooding. **Risk Analysis**, v. 39, n.6, 2019.

HALLEGATTE, S.; GHIL, M. Natural disasters impacting a macroeconomic model with endogenous dynamics. **Ecological Economics**, v. 68, n.1-2, p. 582-592, 2008.

HALLEGATTE, S.; PRZYLUSKI, V. The economics of natural disasters. **CESifo Forum**, v. 11, n. 2, p. 14-24, München: ifo Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München, 2010.

HECKMAN, J.; ICHIMURA, H.; TODD, P. Matching as an econometric evaluation estimator. **Review of Economic Studies.** v. 65, p. 261-294, 1998.

HERDEIRO, R.; MENEZES FILHO, N.; KOMATSU, B. **Explicando a Evolução dos Salários Relativos por Grupos de Qualificação no Brasil**, Texto para Discussão nº 38, Insper, 2019.

HINRICHS, P. The effects of affirmative action bans on college enrollment, educational attainment, and the demographic composition of universities. **Review of Economics and Statistics**, v. 94, n.3, p. 712-722, 2012.

HOCHRAINER, S. **Macroeconomic Risk Management Against Natural Disasters:** Analysis focussed on governments in developing countries. Springer Science Business Media, 2007.

_____. **Assessing the macroeconomic impacts of natural disasters:** are there any? The World Bank, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema de Contas Nacionais — Brasil. Referência 2010. Nota Metodológica nº 5. Glossários e Referências. **CONAC Sistema de Contas Nacionais**, IBGE, 2015.

_____. **Sistema de Contas Regionais — SCR**, 2019. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=resultados>. Acesso em: 11 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Laudo Técnico Preliminar:** Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da Barragem do Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015. Disponível em: <https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com/2016/01/laudo-preliminar-do-ibama-sobre-mariana.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

KAHN, M. E. The death toll from natural disasters: the role of income, geography, and institutions. **Review of economics and statistics**, v. 87, n. 2, p. 271-284, 2005.

KATZ, L. F.; MURPHY, K. M. Changes in relative wages, 1963-1987: supply and demand factors. **The quarterly journal of economics**, v. 107, n.1, p.35-78, 1992.

KAUL, A.; KLÖßNER, S.; PFEIFER, G.; SCHIELER, M. **Synthetic control methods:** Never use all pre-intervention outcomes together with covariates. University of Hohenheim, Department of Economics, 2017.

KLOMP, J.; VALCKX, K. Natural disasters and economic growth: A meta-analysis. **Global Environmental Change,** v. 26, p. 183-195, 2014.

KREIF, N.; GRIEVE, R.; HANGARTNER, D.; TURNER, A. J.; NIKOLOVA, S.; SUTTON, M. Examination of the synthetic control method for evaluating health policies with multiple treated units. **Health economics**, v. 25, n.12, p. 1514-1528, 2016.

LALONDE, R. J. Evaluating the econometric evaluations of training programs with experimental data. **American Economic Review**. v. 76, p. 604-620, 1986.

LIMA, R. C. D. A.; BARBOSA, A. V. B. Natural disasters, economic growth and spatial spillovers: Evidence from a flash flood in Brazil. **Papers in Regional Science**, v.98, n.2, p. 905-924, 2019.

NOY, I. The macroeconomic consequences of disasters. **Journal of Development economics**, v. 88, n. 2, p. 221-231, 2009.

PELLING, M.; ALPASLAN, Ã.; BARAKAT, S. The macro-economic impact of disasters. **Progress in Development Studies**, v. 2, n. 4, p. 283-305, 2002.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO NO BRASIL (MAPBIOMAS). **Cobertura e Uso do Solo**, 2019. Disponível em: <http://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: 11 nov. 2019.

RADDATZ, C. **Are external shocks responsible for the instability of output in low income countries?** The World Bank, 2005.

RIBEIRO, F. G.; STEIN, G.; CARRARO, A.; RAMOS, P. L. O Impacto econômico dos desastres naturais: o caso das chuvas de 2008 em Santa Catarina. **Planejamento e Políticas Públicas**, n.43, 2014.

ROSENBAUM, P.; RUBIN, D. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. **Biometrika,** v. 70, p. 41-55, 1983.

ROSENBAUM, Paul R. **Observational studies.** NewYork: Springer-Verlag, 1995.

SANTOS, E. T.; HADDAD, E. A. Mapeamento das Perdas Econômicas Potenciais dos Pontos de Alagamento do Município de São Paulo, 2008-2012. **Ambiente Sociedade,** v. 17, n.4, p. 77-94, 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, POLÍTICA URBANA E GESTÃO METROPOLITANA DE MINAS GERAIS (SEDRU/MG). **Relatório:** Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem do Fundão em Mariana-MG, 2016. Disponível em: <www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/770/relatorio_final_ft_03_02_2016_15h5min.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

SELCUK, F.; YELDAN, E. On the macroeconomic impact of the August 1999 earthquake in Turkey: a first assessment. **Applied Economics Letters**, v. 8, n. 7, p. 483-488, 2001.

SIMONATO, T. C.; DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S. **Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG**, Texto para Discussão nº 586, Cedeplar, UFMG, 2018.

STROBL, E. The economic growth impact of hurricanes: evidence from US coastal counties. **Review of Economics and Statistics**, v. 93, n.2, p. 575-589, 2011.

____. The economic growth impact of natural disasters in developing countries: Evidence from hurricane strikes in the Central American and Caribbean regions. **Journal of Development Economics**, v. 97, n.1, p. 130-141, 2012.

TANAKA, A. **The impacts of natural disasters on plants' growth:** Evidence from the Great Hanshin-Awaji (Kobe) earthquake. Regional Science and Urban Economics, v. 50, p. 31-41, 2015.

VAN BERGEIJK, P. A.; LAZZARONI, S. Macroeconomics of natural disasters: strengths and weaknesses of meta-analysis versus review of literature. **Risk analysis**, v. 35, n.6, p.1050-1072, 2015.

WHITE, H. Theory-based impact evaluation: principles and practice. **Journal of development effectiveness**, v. 1, n.33, p. 271-284, 2009.

XIAO, Y. Local economic impacts of natural disasters. **Journal of Regional Science**, v. 51, n.4, p. 804-820, 2011.

XIAO, Y.; WAN, J.; HEWINGS, G. J. Flooding and the Midwest economy: assessing the Midwest floods of 1993 and 2008. **GeoJournal,** v. 78, n. 2, 245-258, 2013.

APÊNDICE A — Estatísticas descritivas das covariadas

Nesta seção, apresenta-se as variáveis utilizadas para compor os modelos utilizados para a construção dos Contrafatuais 3, 4 e 5. Para todas as variáveis foram coletadas informações de 2002 e 2016 das respectivas fontes. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis de controle e a diferença de médias entre 2002-2014 e 2015-2016 no último painel. Somente a proporção do setor extrativo e a proporção do setor de serviços que são estatisticamente diferentes entre os períodos.

Tabela 1 — Estatísticas descritivas das variáveis de controle

Variável	Média	Desv. Pad.	Mínimo	Máximo
	2002-2016			
Capital Humano	726378	1061758	14759	6754137
Densidade populacional	0.675	1.057	0.015	5.151
Proporção do setor extrativo	1.110	1.887	-0.081	11.228
Proporção de área produtiva	0.381	0.231	0.004	0.789
Proporção do setor agropecuário	0.074	0.050	0.002	0.277
Proporção do setor de serviços	0.392	0.047	0.270	0.566
Proporção do setor de indústria	0.192	0.067	0.041	0.371
	2002-2014			
Capital Humano	699817	1020570	14759	6060122
Densidade populacional	0.666	1.038	0.015	4.935
Proporção do setor extrativo	1.194	1.970	-0.081	11.228
Proporção de área produtiva	0.380	0.232	0.004	0.789
Proporção do setor agropecuário	0.075	0.050	0.002	0.277
Proporção do setor de serviços	0.388	0.045	0.270	0.556
Proporção do setor de indústria	0.196	0.069	0.052	0.371
	2015-2016			
Capital Humano	899022	1296574	51655	6754137
Densidade populacional	0.737	1.180	0.023	5.151
Proporção do setor extrativo	0.567	1.073	0.004	4.606
Proporção de área produtiva	0.390	0.229	0.008	0.785
Proporção do setor agropecuário	0.072	0.048	0.003	0.203
Proporção do setor de serviços	0.416	0.051	0.320	0.566
Proporção do setor de indústria	0.170	0.055	0.041	0.296
	Diferença de médias entre 2002-2014 e 2015-2016			
	Diferença	**Estat. t**	**P-valor**	
Capital Humano	199205	1.059	0.290	
Densidade populacional	0.071	0.411	0.681	
Proporção do setor extrativo	-0.627	-3.417	0.001	
Proporção de área produtiva	0.010	0.290	0.772	
Proporção do setor agropecuário	-0.003	-0.435	0.664	
Proporção do setor de serviços	0.028	3.781	0.000	
Proporção do setor de indústria	-0.025	-2.986	0.003	

Fonte: Elaboração própria (2019).

Os contrafatuais construídos utilizando as variáveis apresentadas acima são:

- Contrafactual 4 (Modelo com covariadas e a média do PIB *per capita*): Seleciona-se o conjunto de covariadas com relação à determinação do PIB dos estados. Adiciona-se a esse conjunto a média do PIB *per capita* pré-rompimento. Essa estratégia é comumente utilizada na literatura (Abadie e Gardeazabal, 2003; Abadie et al., 2010; Kaul et al., 2015, entre outros). O modelo, então, é composto pelas seguintes variáveis:

I Média do PIB *per capita* de 2002 a 2014 como variável independente do IBGE;

II Média do PIB de 2002 a 2014 como variável independente do IBGE;

III A média da proporção de terras utilizadas para agricultura, pecuária e área urbana fornecidas pela MapBiomas de 2002 a 2014;

IV A média do capital humano, cuja metodologia é detalhada na próxima seção, desenvolvido a partir do modelo de Katz e Murphy (1992) utilizando os dados do Censo demográfico 2010, PNAD e PNAD contínua de 2002 a 2014;

V A média da densidade populacional do IBGE de 2002 a 2014;

VI A média da participação do setor de agricultura no PIB do IBGE de 2002 a 2014;

VII A média da participação do setor industrial no PIB de 2002 a 2014 do IBGE;

VIII A média da participação do setor de serviços no PIB de 2002 a 2014 do IBGE;

IX A média da participação do setor de extração no PIB de 2002 a 2014 do IBGE.

- Contrafactual 5 (Modelo com covariadas e o passado recente do PIB *per capita*): Novamente segue-se Kaul et al. (2017), que sugerem também utilizar um conjunto de covariadas e as defasagens mais recentes ao rompimento para que o ajuste próximo da data de intervenção seja maior. Utiliza-se as mesmas covariadas do modelo Contrafactual 3 com exceção da média do PIB *per capita*. Essa variável é substituída pelo passado do PIB *per capita* de 2011 a 2014 como variáveis independentes.

APÊNDICE B — Resultados para os Contrafatuais 4 e 5

Apresentam-se, nesta seção, os resultados para os Contrafatuais 4 e 5.

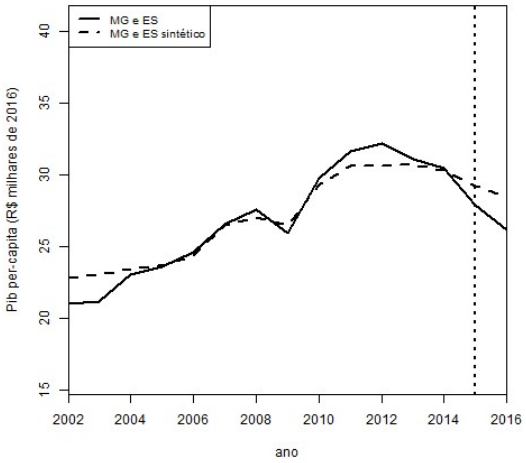
Tabela 1 — Estimativas do impacto no PIB dos estados de Minas Geras e Espírito Santo

Ano	Estatística	Contrafactual 4		Contrafactual 5	
		PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
2015	R$ bilhões	-32,68	-31,71	-33,16	-41,48
	% do PIB	-4,51	-4,36	-4,58	-5,63
	P-valor	0,24	0,24	0,16	0,08
2016	R$ bilhões	-55,79	-44,74	-56,46	-55,90
	% do PIB	-7,86	-6,38	-7,95	-7,84
	P-valor	0,16	0,32	0,12	0,20
Acumulado	R$ bilhões	-88,48	-76,45	-89,62	-97,38
	% do PIB	-6,16	-5,35	-6,24	-6,72
	P-valor	0,24	0,48	0,28	0,44
RSME	Pré	0,93	1,15	0,93	1,26
	Pós	1,83	1,56	1,86	1,98
Composição do estado sintético					
UF		**Pesos (%)**			
Pará		52,70		52,50	23,70
Bahia			16,70		
São Paulo		30,70	14,10	30,50	15,60
Paraná					9,80
Mato Grosso do Sul		16,50		17,10	
Goiás			69,20		50,90

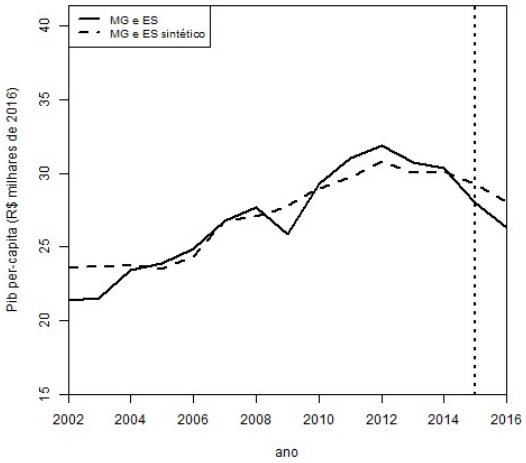
Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 1 — PIB dos estados de MG e ES e do Estado Sintético

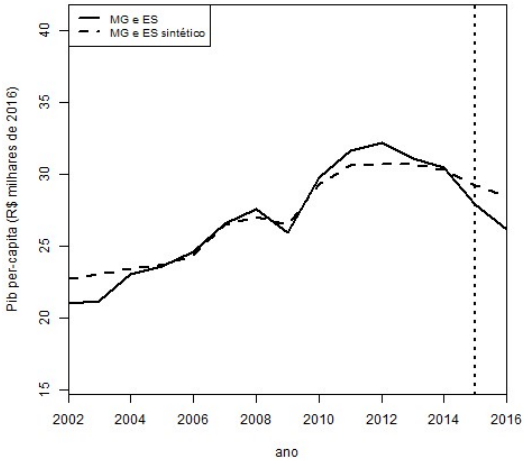
(a) Contrafactual 4 — PIB *per capita*l sem ajuste



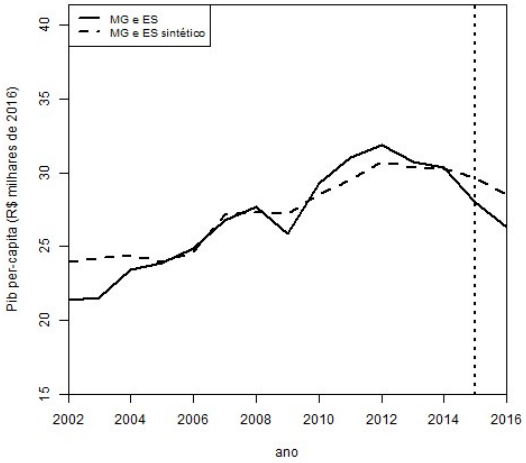
(b) Contrafactual 4 — PIB *per capita*l com ajuste



(c) Contrafactual 5 — PIB *per capita*l sem ajuste



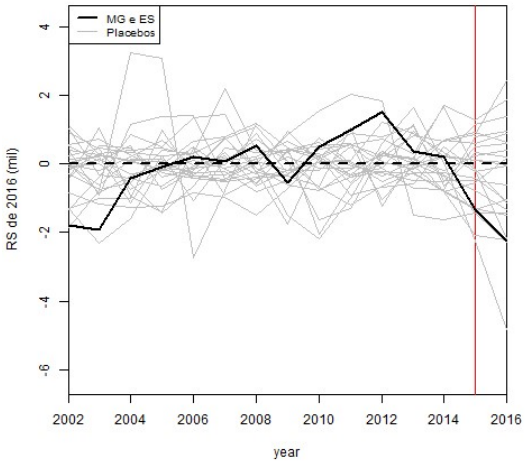
(d) Contrafactual 5 — PIB *per capita*l com ajuste



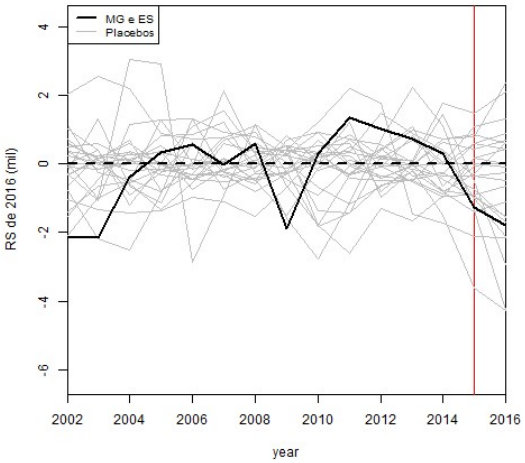
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 2 — Placebos

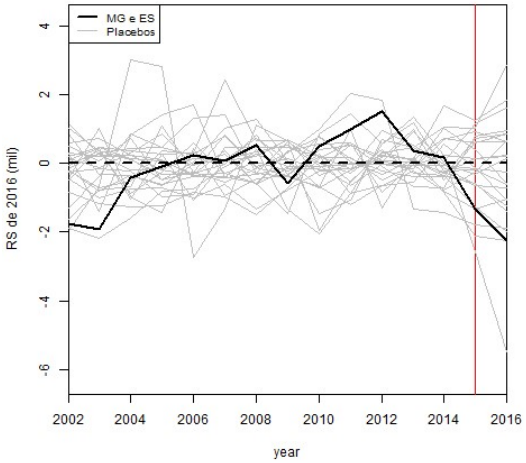
(a) Contrafactual 4 — PIB *per capita*l sem ajuste



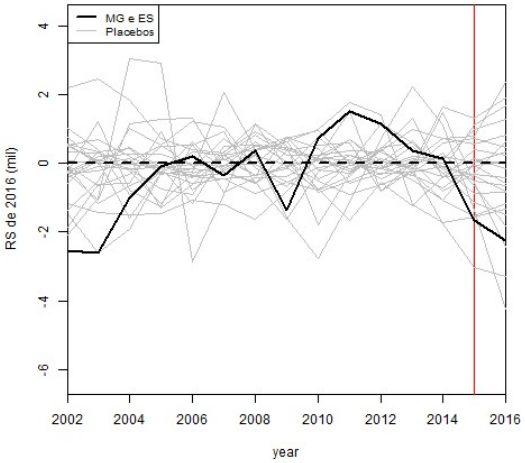
(b) Contrafactual 4 — PIB *per capita*l com ajuste



(c) Contrafactual 5 — PIB *per capita*l sem ajuste



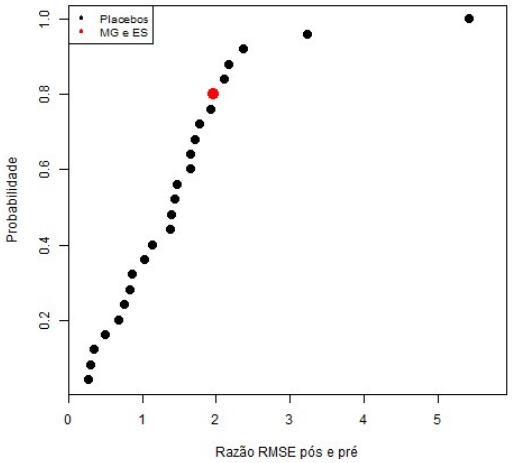
(d) Contrafactual 5 — PIB *per capita*l com ajuste



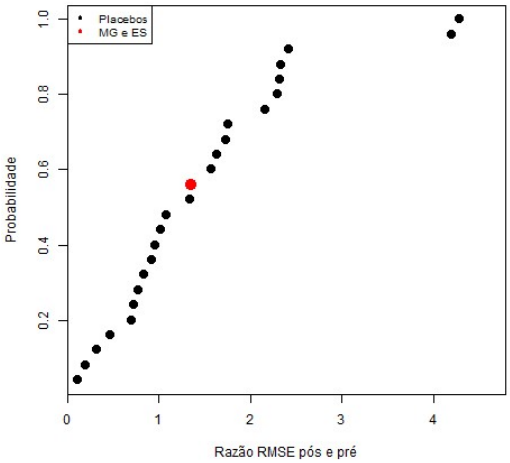
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 3 — Distribuição acumulada da razão pós/pré-RMSE

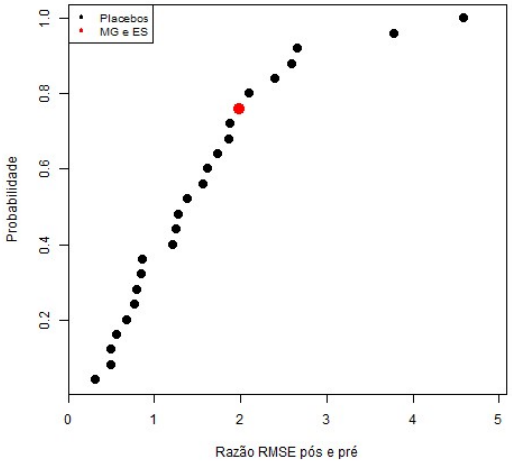
(a) Contrafactual 4 — PIB *per capita*l sem ajuste



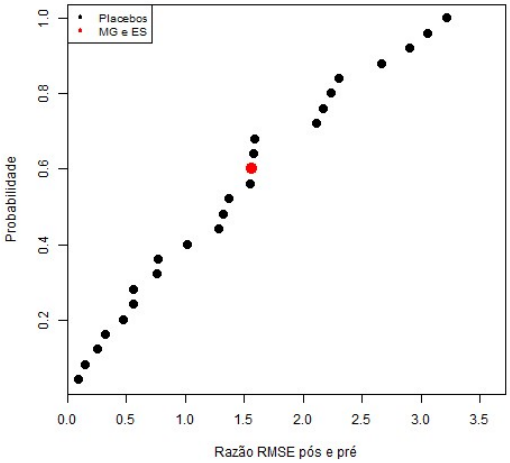
(b) Contrafactual 4 — PIB *per capita*l com ajuste



(c) Contrafactual 5 — PIB *per capita*l sem ajuste



(d) Contrafactual 5 — PIB *per capita*l com ajuste



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

APÊNDICE C — Estimativas do impacto no PIB per capita dos estados de Minas Geras e Espirito Santos

Tabela 1 — Estimativas do impacto no PIB *per capita* dos estados de Minas Geras e Espírito Santo

Ano	Estatística	Contrafatual 1		Contrafatual 2		Contrafatual 3		Contrafatual 4		Contrafatual 5	
		Sem ajuste	Com ajuste	Sem ajuste	Com ajuste	Sem ajuste	Com ajuste	Sem ajuste	Com ajuste	Sem ajuste	Com ajuste
2015	R$ mil	-1,47	-1,52	-1,43	-1,52	-1,41	-1,52	-1,32	-1,28	-1,34	-1,67
	% do PIB	-5,00	-5,14	-4,87	-5,13	-4,83	-5,13	-4,51	-4,36	-4,58	-5,63
	P-valor	-	-	0,12	0,16	0,16	0,12	0,24	0,24	0,16	0,08
2016	R$ mil	-2,08	-2,12	-1,61	-1,85	-1,58	-1,85	-2,23	-1,79	-2,26	-2,24
	% do PIB	-7,35	-7,47	-5,78	-6,57	-5,70	-6,56	-7,86	-6,38	-7,95	-7,84
	P-valor	-	-	0,24	0,20	0,24	0,24	0,16	0,32	0,12	0,20
Acumulado	R$ mil	-3,55	-3,64	-3,03	-3,37	-3,00	-3,36	-3,55	-3,07	-3,60	-3,91
	% do PIB	-6,16	-6,29	-5,31	-5,83	-5,25	-5,83	-6,16	-5,35	-6,24	-6,72
	P-valor	-	-	0,24	0,28	0,28	0,24	0,24	0,48	0,28	0,44
RSME	Pré-rompimento	-	-	0,63	0,67	0,63	0,67	0,93	1,15	0,93	1,26
	Pós-rompimento	3,24	3,41	1,52	1,69	1,50	1,69	1,83	1,56	1,86	1,98

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

APÊNDICE D — Análise de robustez para os testes de hipótese

Tabela 1 — Análise de robustez para os testes de hipótese

Estatística	Contrafatual 2		Contrafatual 3		Contrafatual 4		Contrafatual 5	
	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado	PIB observado	PIB ajustado
Sem exclusão								
P-valor (2015)	0,15	0,19	0,19	0,15	0,27	0,27	0,19	0,12
P-valor (2016)	0,27	0,23	0,27	0,27	0,19	0,35	0,15	0,23
P-valor rRMSE	0,23	0,27	0,27	0,23	0,23	0,46	0,27	0,42
P-valor FWER (2015)	0,19	0,23	0,25	0,21	0,19	0,35	0,15	0,15
P-valor FWER (2016)	0,27	0,23	0,27	0,27	0,19	0,35	0,15	0,23
Exclusão dos placebos com RMSE > 5 x RMSE de MG e ES								
P-valor (2015)	0,12	0,16	0,16	0,12	0,24	0,24	0,16	0,08
P-valor (2016)	0,24	0,20	0,24	0,24	0,16	0,32	0,12	0,20
P-valor rRMSE	0,24	0,28	0,28	0,24	0,24	0,48	0,28	0,44
P-valor FWER (2015)	0,16	0,20	0,20	0,16	0,16	0,32	0,12	0,12
P-valor FWER (2016)	0,24	0,20	0,24	0,24	0,16	0,32	0,12	0,20
Exclusão dos placebos com RMSE > 20 x RMSE de MG e ES								
P-valor (2015)	0,12	0,16	0,16	0,12	0,24	0,24	0,16	0,08
P-valor (2016)	0,24	0,20	0,24	0,24	0,16	0,32	0,12	0,20
P-valor rRMSE	0,24	0,28	0,28	0,24	0,24	0,48	0,28	0,44
P-valor FWER (2015)	0,16	0,20	0,20	0,16	0,16	0,32	0,12	0,12
P-valor FWER (2016)	0,24	0,20	0,24	0,24	0,16	0,32	0,12	0,20

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Nota: O primeiro painel mostra o p-valor quando não é excluído nenhum valor extremo. No segundo painel, retira-se aqueles placebos com RMSE 5 vezes maior do que o RMSE de MG e ES. No terceiro painel, retira-se aqueles que são 20 vezes maiores. Nesses cálculos, somente Distrito Federal é excluído em ambos os exercícios por apresentar valor para o PIB *per capita* no extremo da distribuição em todos os anos. Por fim, o FWER é o p-valor ajustado para testes de hipóteses múltiplos de Firpo e Possebom (2018).

APÊNDICE E — Construção da variável Capital Humano

A definição de capital humano é baseada no trabalho de Katz e Murphy (1992), que desenvolve um modelo para estimar a demanda e oferta com uma elasticidade constante de substituição entre trabalhadores qualificados e não qualificados. Vamos admitir que o estoque de capital humano (H_{it}) para o estado *i* no tempo *t* é dado por (1), onde L_{1it} é o número de trabalhadores não qualificados, L_{2it} é o número de trabalhadores qualificados, *b* é a elasticidade de substituição entre os distintos tipos de trabalho constante no tempo e entre os estados, e a_{it} é um parâmetro que determina a importância relativa do trabalho não qualificado que varia entre estados e no tempo.

$$H_{it} = \left[a_{it} L_{1it}^{\frac{b-1}{b}} + (1 - a_{it}) L_{2it}^{\frac{b-1}{b}}\right]^{\frac{b}{b-1}} \quad (1)$$

Sob regras competitivas, os salários relativos dos dois tipos de trabalho são dados por (2) e (3). Sob a restrição que $wH = w_1 L_1 + w_2 L_2$, dado w, as equações (2) e (3) determinam w_1 e w_2.

$$\frac{w_{1it}}{w_{it}} = a_{it} \left(\frac{L_{1it}}{H_{it}}\right)^{\frac{-1}{b}} \quad (2)$$

$$\frac{w_{2it}}{w_{it}} = (1 - a_{it}) \left(\frac{L_{2it}}{H_{it}}\right)^{\frac{-1}{b}} \quad (3)$$

$$\ln\left(\frac{w_{1it}}{w_{2it}}\right) = \ln\left(\frac{a_{it}}{1-a_{it}}\right) - \frac{1}{b} \ln\left(\frac{L_{1it}}{L_{2i}}\right) \quad (4)$$

De (2) e (3) obtém-se (4). Como base nessa equação podemos obter uma estimativa para os parâmetros b e a_{it}, se os salários e quantidade de trabalhadores são disponíveis. Podemos obter b e a_{it} por uma regressão em painel da equação (5).

$$\ln\left(\frac{w_{1it}}{w_{2it}}\right) = \mu_i + \delta_t + c_2 \ln\left(\frac{L_{1it}}{L_{2it}}\right) + u_{it} \quad (5)$$

Onde μ_i é o efeito fixo do estado, δ_t é o efeito fixo tempo e u_{it} é o termo de erro idiossincrático. Logo, é possível se obter os parâmetros da equação (1) através das funções $\mu_i + \delta_t = \ln\left(\frac{a_{it}}{1-a_{it}}\right)$ e $c_2 = -\frac{1}{b}$.

Por fim, necessitamos obter L_{1it} e L_{2it}. A definição dos grupos de trabalhadores se dará com base nas informações de escolaridade do Censo populacional 2010, PNAD e PNAD Contínua.[26] Os trabalhadores não qualificados são aqueles que estudam ou estudaram até os níveis: 1) Fundamental 1 (até a 4ª série); 2) Fundamental 2 (da 5ª a 8ª série); 3) Médio. Os trabalhadores qualificados têm os níveis de escolaridade: 4) Superior incompleto; 5) Superior completo. Para cada um desses grupos serão definidos subgrupos (células) com base no nível de escolaridade, idade e gênero.

Define-se quatro grupos de idade: de 14 a 24 anos, de 25 a 44 anos, de 45 a 59 anos e mais de 60 anos. Dessa forma, têm-se (4x5x2) 40 células. Então, para cada grupo é escolhida uma célula de referência e os trabalhadores das demais células serão considerados substitutos perfeitos em uma razão determinada pelo fator de equivalência δ_{jk} onde $j = \{1,2\}$ e $k = \{1, \dots, 40\}$ constante no tempo e entre os estados. Se $j = 1, k = \{1, \dots, 32\}$, ou seja, trabalhadores com até o ensino médio. Se $j = 2, k = \{33, \dots, 40\}$, o que significa que são os trabalhadores com ensino superior completo e incompleto. Para a construção de N_{jit}, primeiro foram computados o total de horas semanais trabalhadas dentro de cada célula e divididos por 44 horas para que consistisse de indivíduos trabalhando 44 horas semanais.

Assim, se a célula *j* para o estado *i* no tempo *t* possui N_{jkit} trabalhadores por 44 horas trabalhadas na semana, nós diremos que ela possui $\delta_{jk} N_{jkit}$ "trabalhadores equivalentes" ao da célula de referência. Os trabalhadores de referência para os não qualificados é a célula que representa os trabalhadores homens, com ensino médio de 25 a 44 anos e a categoria de referência para os do ensino superior abrange os trabalhadores homens com ensino superior e idade entre 25 e 44 anos. Desse modo, computa-se a quantidade de trabalhadores:

$$L_{jit} = \sum_{k \in j} \delta_{jk} N_{jkit} \tag{6}$$

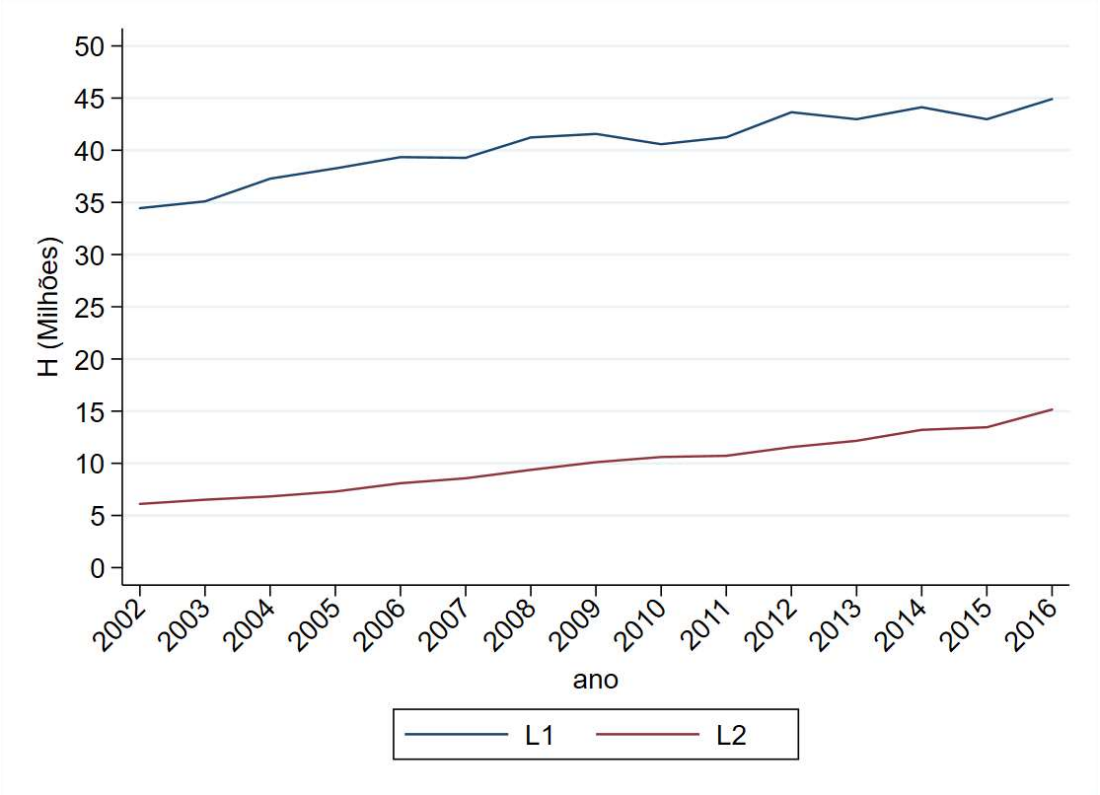
Em (6), N_{jkit} é o número de trabalhadores na célula *jkit* e δ_{jk} é definido como a razão entre o salário médio da célula *jkit* e o salário médio da célula de referência dos trabalhadores de tipo *j*, de modo que para as células de referência temos $\delta_{jk} = 1$. Como a razão entre os salários pode variar de ano para ano e entre os estados, δ_{jk} será determinado pela razão média entre todos os anos e estados considerados na análise.

[26] Para compatibilizar a amostra das três bases, se excluí as pessoas com menos de 14 anos, pessoas que trabalham menos do que uma hora por semana, trabalhadores para consumo próprio e afastados do trabalho das bases da PNAD e Censo Demográfico 2010 (Ottoni e Barreira, 2016) e dessa última também foi retirado os 0,1% mais ricos (Souza, 2015).

Os salários médios foram ajustados para uma semana-padrão de trabalho de 44 horas e não foram considerados os trabalhadores cujas semanas típicas de trabalho tivessem menos do que 30 horas.

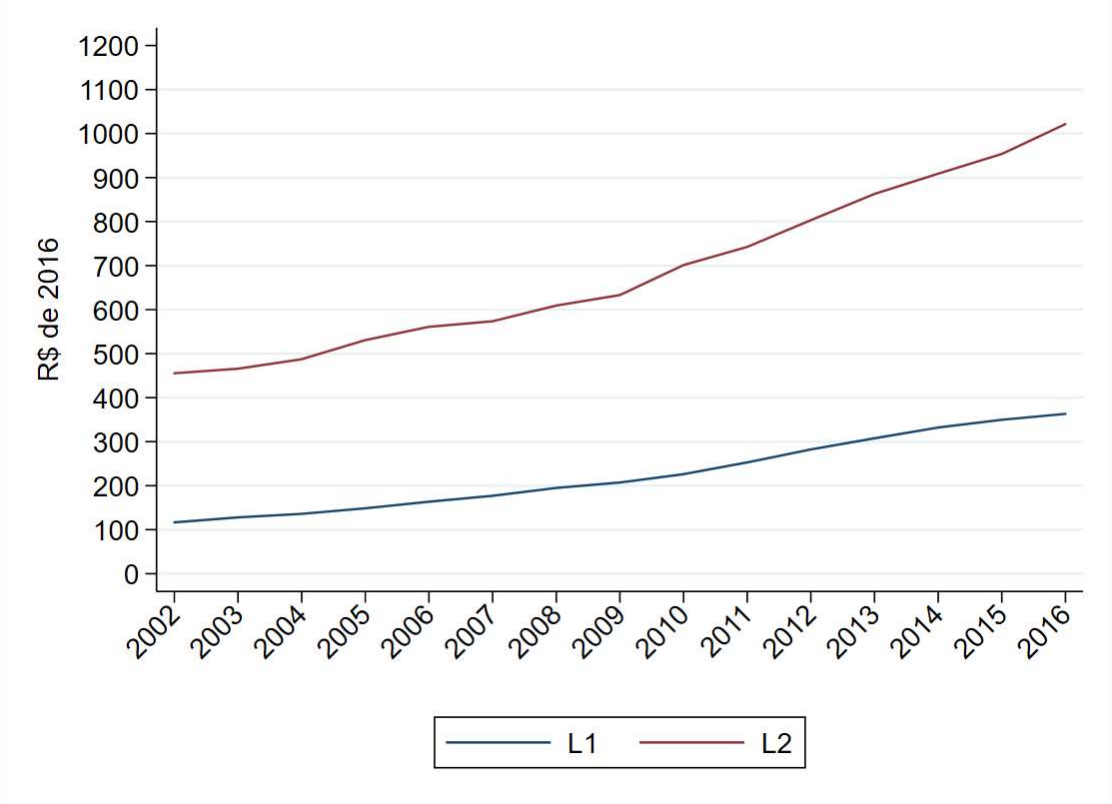
A Figura 1 apresenta a evolução do número total de trabalhadores não qualificados (L1) e qualificados (L2) e do capital humano estimado através da equação (1). A Figura 2 apresenta a evolução das médias salarias para os dois tipos de trabalhadores para o Brasil.

Figura 1 — Evolução dos trabalhadores qualificados e não qualificados do Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 2 — Evolução das médias salariais dos trabalhadores qualificados e não qualificados no Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A Tabela 1 apresenta as estimativas da elasticidade de substituição entre os dois tipos de trabalhadores. As três primeiras colunas mostram a estimativa utilizando todos os anos de 2002 a 2014. As últimas três colunas apresentam a estimação excluído o ano de 2010 devido às diferenças nos conceitos e ponderações entre as duas bases de dados. Os resultados mostram que não há diferença significativa entre as estimativas com a inclusão e exclusão do ano de 2010. Entretanto, para ser mais conservador, não se utiliza o ano do Censo demográfico para essa estimativa.

A diferença entre os valores estimados para a elasticidade de substituição é devida à forma funcional. Observa-se que, sem a inclusão de variáveis de tendência, toda a variação da diferença salarial é explicada pela diferença entre as quantidades de trabalhadores, o que implica que eles sejam pouco substitutos, elasticidade de 1,89. Entretanto, com a inclusão da tendência e tendência quadrática, os trabalhadores apresentam elasticidade de substituição maior, 3,41. A título de comparação, Fernandes e Menezes (2012) estimam elasticidades de substituição para o Brasil entre 1,44 e 2,98 entre trabalhadores não qualificados e intermediários e 1,60 a 2,03 entre os intermediários e qualificados utilizando as PNADs de 1981 a 2009. Herdeiro et al. (2019), utilizando uma base de dados da PNAD mais extensa, de 1981 a 2015, estimam

elasticidades de substituição para o Brasil entre 7,35 entre os trabalhadores intermediários e pouco qualificados e 1,44 para os qualificados e intermediários. A diferença entre os valores pode ser explicada pela diferença na metodologia aplicada pelos autores mencionados e aquela utilizada nesse estudo. Destacam-se três diferenças. A primeira é a estrutura da base de dados. Os autores estimam a elasticidade de substituição para o Brasil, enquanto que nesse estudo, estima-se para os estados. A segunda é a utilização de séries de tempo que começam em 1981. Nós utilizamos um painel de estados com séries de tempo mais curtas desde 2002. A terceira é a quantidade de abertura dos níveis de qualificação dos trabalhadores. Eles utilizam três níveis e, nesse estudo, foram calculados dois níveis. Apesar das diferenças substanciais entre as metodologias implementadas pelos autores e aquela utilizada nessa análise, os resultados encontrados podem ser considerados semelhantes.

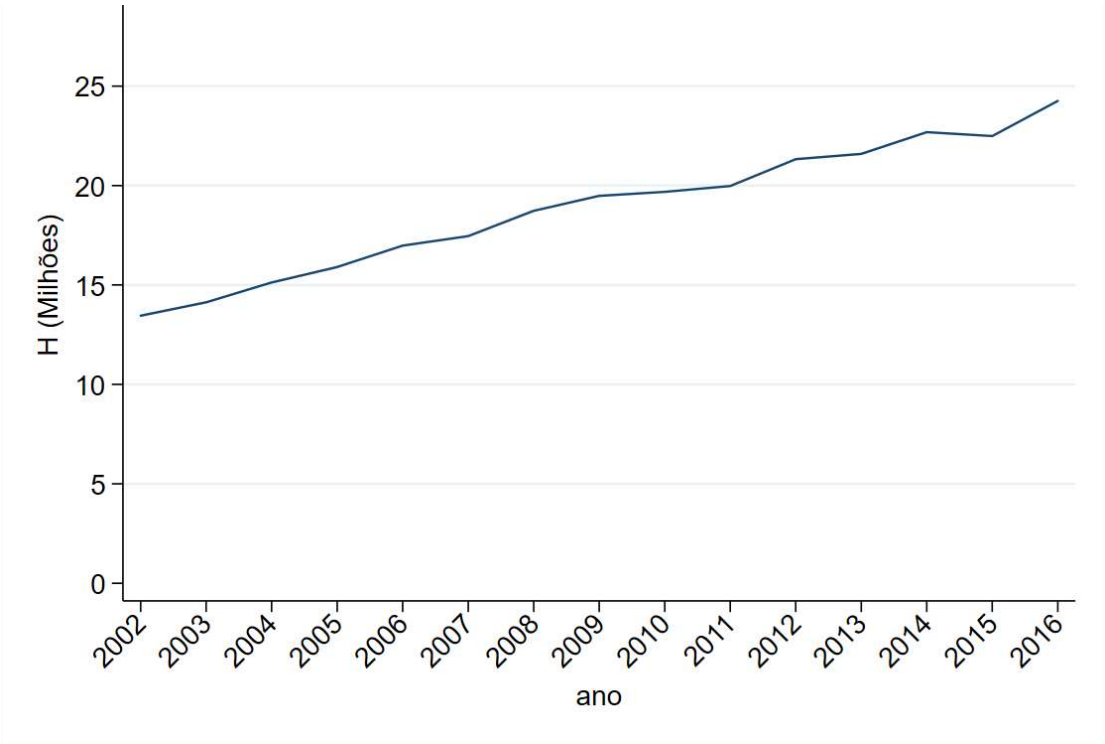
Tabela 1 — Estimativa da elasticidade de substituição entre os trabalhadores não qualificados (L_1) e qualificados (L_2)

Variáveis	Estimativas com 2010			Estimativas sem 2010		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln(L_1/L_2)$	-0,511***	-0,195***	-0,220***	-0,528***	-0,238***	-0,293***
	(-11,400)	(-2,700)	(-3,980)	(-10,510)	(-2,801)	(-5,392)
Tendência		0,015***	0,031***		0,013***	0,034***
		-5,171	-4,557		-4,103	-5,408
Tendência^2			-0,001**			-0,001***
			(-2,524)			(-3,696)
Elasticidade (b)	1,955	5,117	4,552	1,892	4,209	3,410
Efeito fixo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	351	351	351	324	324	324
R^2	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).
Nota: Estatística t robusta entre parênteses. *** p-valor < 0,01, ** p-valor < 0,05, * p-valor < 0,1

A Figura 3 apresenta a evolução do capital humano estimado através da equação (1) para o Brasil.

Figura 3 — Evolução da estimativa do capital humano para o Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).