

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

**Avaliação de Impactos do Rompimento da
Barragem de Fundão sobre a Agropecuária
a partir dos Censos Agropecuários**



JUNHO DE 2021

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

Fundação Getúlio Vargas

Avaliação de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Agropecuária a partir dos Censos Agropecuários / Fundação Getúlio Vargas. – Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021.

116 p.

Em colaboração com: Amanda Cappellazzo Arabage, Ana Carolina Marinato de Resende, André Portela Fernandes de Souza, Bernardo Ostrovski, Liz Matsunaga, Marcos Paulo Cambrinha da Costa, Patrícia Franco Ravaioli, Reynaldo Fernandes.

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

Inclui bibliografia.

1. Projeto Rio Doce. 2. Fundão, Barragem de (MG). 3. Barragens e açudes – Aspectos sociais. 4. Agropecuária. I. Título.

CDD - 627.8

EQUIPE TÉCNICA

Amanda Cappellazzo Arabage

Ana Carolina Marinato de Resende

André Portela Fernandes de Souza

Bernardo Ostrovski

Liz Matsunaga

Marcos Paulo Cambrainha da Costa

Patrícia Franco Ravaioli

Reynaldo Fernandes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Fluxograma ilustrando potenciais canais e possíveis impactos na área de renda e produção agropecuária	17
Figura 2 — Ilustração do método de diferença-em-diferenças	29
Figura 3 — Mapa ilustrando o grupo atingido e o grupo de comparação 1 (GC 1)	42
Figura 4 — Mapa ilustrando o grupo atingido e o grupo de comparação 2 (GC 2)	44
Figura 5 — Mapa ilustrando o grupo atingido e o grupo de comparação 3 (GC 3)	46
Figura 6 — Resultados da avaliação de impactos: VAB Agropecuário (ln)	61
Figura 7 — Razão VAB Agro e VAB total nos municípios atingidos	71
Figura 8 — Resultados da avaliação de impactos para o Alto e Médio Rio Doce: VAB Agropecuário (ln)	74
Figura 9 — Resultados da avaliação de impactos para a análise de transbordamento: VAB Agropecuário (ln)	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Resumo dos resultados da avaliação de impactos do rompimento sobre o Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário nos municípios atingidos	8
Tabela 2 — Resumo dos resultados da avaliação de impactos do rompimento sobre indicadores do Censo Agropecuário nos municípios atingidos.....	10
Tabela 3 — Variáveis utilizadas para o cálculo da distância de Mahalanobis	39
Tabela 4 — Estatísticas descritivas: somatório do VAB Agropecuário por grupos de municípios, 2011 a 2018 (em mil Reais de 2017)	49
Tabela 5 — Estatísticas descritivas: média, mediana e desvio-padrão do VAB Agropecuário por grupos de municípios, 2011 a 2018 (em mil Reais de 2017).....	50
Tabela 6 — Estatísticas descritivas: somatório do número de estabelecimentos agropecuários por grupos de municípios, 2006 e 2017	51
Tabela 7 — Estatísticas descritivas: média, mediana e desvio-padrão do número de estabelecimentos agropecuários e da soma das áreas destes por município, por grupos de municípios, 2006 e 2017	52
Tabela 8 — Estatísticas descritivas: média, mediana e desvio-padrão dos indicadores de impacto derivados do Censo Agropecuário por grupos de municípios, 2006 e 2017 (em mil Reais de setembro/2017)	53
Tabela 9 — Resultados dos testes de diferença de médias entre grupos e de teste de significância global.....	55
Tabela 10 — Resultados da avaliação de impactos: indicadores derivados do Censo Agropecuário	66
Tabela 11 — Resultados da avaliação de impactos para o Alto e Médio Rio Doce: indicadores derivados do Censo Agropecuário	79
Tabela 12 — Resultados da avaliação de impactos para a análise de transbordamento: indicadores derivados do Censo Agropecuário	87

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	7
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS E DADOS UTILIZADOS	19
2.1 Definição dos parâmetros de interesse	19
2.2 Definição dos indicadores de impacto	20
2.3 Fontes e bancos de dados utilizados	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 Métodos econométricos de avaliação de impactos	27
3.2 Definição dos grupos	36
4 RESULTADOS	48
4.1 Estatísticas descritivas e considerações sobre os grupos de comparação	48
4.2 Resultados das estimações — impactos sobre o conjunto dos 45 municípios atingidos	58
4.3 Resultados das estimações — análise de heterogeneidade nos impactos para municípios atingidos do Alto e Médio Rio Doce	70
4.4 Resultados das estimações — análise sobre transbordamento dos impactos em outros municípios	80
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS	93
APÊNDICE A	97
APÊNDICE A.1	100
APÊNDICE B	105
APÊNDICE B.1	108
APÊNDICE C	111
APÊNDICE C.1	114

SUMÁRIO EXECUTIVO

Neste relatório são apresentadas evidências de possíveis impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias. Para isto, são utilizados dados municipais referentes ao período de 2011 a 2018 sobre o Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) e referentes aos anos de 2006 e 2017 provenientes do Censo Agropecuário (IBGE). Estas informações permitiram a análise de possíveis impactos sobre os seguintes indicadores: (i) Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário; (ii) Valor da Produção; (iii) Valor da Receita; (iv) Valor da Despesa; (v) Produção por Área; e (vi) Valor da Despesa Não Salarial.

Para identificar relações causais entre o rompimento e tais indicadores, utiliza-se um método econométrico denominado diferença-em-diferenças, a partir do qual são estimados efeitos médios do rompimento nos indicadores relacionados com renda e produção agropecuárias para os 45 municípios atingidos. Tais estimativas podem indicar efeitos com sentido de aumento ou diminuição em tais indicadores, sendo sempre acompanhados de testes estatísticos que permitem distinguir se tal efeito encontrado pode ser considerado estatisticamente diferente do valor zero.

Todos os resultados destas estimativas são obtidos a partir de comparações ao longo do tempo entre as trajetórias dos indicadores do grupo atingido e as trajetórias dos mesmos indicadores para outro grupo de municípios, denominado grupo de comparação. Assim, é preciso que seja utilizado um grupo de comparação que reflita bem o cenário que se observaria para a trajetória de cada indicador do grupo atingido na ausência do rompimento. Nesta análise são construídos três grupos de comparação (GCs) a partir de municípios localizados em diferentes recortes geográficos. Além disso, os municípios são selecionados para compor tais GCs com base em uma métrica que mede a semelhança em termos de características observáveis entre os municípios do grupo atingido e municípios não atingidos, denominada distância de Mahalanobis. De maneira sucinta, escolhe-se, para cada um dos 45 municípios do grupo atingido, três pares de municípios não atingidos localizados no recorte geográfico de determinado GC e que tenham os menores valores desta distância, que por sua vez é calculada ao serem utilizadas variáveis socioeconômicas e demográficas em momentos prévios ao rompimento. Desta forma, os três grupos de comparação são: (i) GC 1: municípios não atingidos que se localizam nas mesmas mesorregiões onde situam-se os 45 atingidos, que foram pareados aos atingidos; (ii) GC 2: municípios não atingidos localizados no Espírito Santo, Minas Gerais, sul da Bahia ou norte do Rio de Janeiro, que foram

pareados aos atingidos; e (iii) GC 3: municípios não atingidos localizados nas Unidades da Federação (UFs) vizinhas a ES e MG, que foram pareados aos atingidos.

A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados da avaliação de impactos sobre o indicador de Valor Adicionado Bruto Agropecuário (VAB Agro) nos municípios do grupo atingido. As colunas mais à direita, localizadas abaixo do título “Ano pós”, indicam para qual ano pós rompimento é feita a análise de impactos, havendo na coluna “Grupo de comparação” um indicativo de qual GC é utilizado para o cômputo da estimativa. Os impactos sempre se referem aos efeitos médios, oriundos da comparação entre as trajetórias do indicador desde 2014 até o ano em questão do grupo atingido e de um dos três GCs (indicados nas linhas). Os efeitos são apresentados de duas maneiras. A primeira maneira, indicada por “%”, fornece o efeito do impacto em termos de proporção, a partir do coeficiente de impacto estimado. A segunda maneira, “R\$ (em milhões)”, indica, baseada na média do VAB Agro em 2014 do grupo atingido, qual seria o tamanho daquele impacto, apenas para os casos em que foi estimado um impacto estatisticamente diferente de zero a 5% de significância. Os símbolos “*”, “**” e “***” referem-se aos níveis de significância de 10%, 5% e 1%, respectivamente, indicando a qual nível o impacto sobre o VAB Agro é estatisticamente diferente de zero.

Tabela 1 — Resumo dos resultados da avaliação de impactos do rompimento sobre o Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário nos municípios atingidos

Indicador do PIB Municipal	Efeito	Grupo de comparação	Ano pós			
			2015	2016	2017	2018
Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário	%	GC 1	-0,029	-0,027	-0,043	-0,063
		GC 2	-0,011	-0,052	-0,086	-0,096
		GC 3	-0,058	-0,161***	-0,242***	0,249***
	R\$ (em milhões)	GC 1	-	-	-	-
		GC 2	-	-	-	-
		GC 3	-	-R\$ 5,33	-R\$ 8,49	-R\$ 8,57

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: Valores em milhões de Reais de 2017, calculados por meio do deflator implícito do PIB. * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01.

Considerando a avaliação de impactos sobre o VAB Agropecuário (Tabela 1), nota-se que todos os coeficientes de impacto estimados para os anos pós-rompimento foram negativos, em todas as análises baseadas nos três grupos de comparação. Entretanto, apenas para o caso quando se usa o GC 3 é possível distinguir estatisticamente a 5% (e também 1%) tal impacto de zero. Ainda na comparação do grupo atingido com o GC

3, pelos efeitos em R\$, tem-se que, desde 2014, um município do grupo atingido teria perdido, em média, R\$ 5,33 milhões, R\$ 8,49 milhões ou R\$ 8,57 milhões nos anos de 2016, 2017 ou 2018, respectivamente, comparado ao caso em que tivesse trajetória de evolução do indicador similar àquela do GC 3. Os resultados completos (Figura 6 e Tabela 13 do texto) mostram que esta evidência não é proveniente de diferenças entre as trajetórias pré-rompimento entre o grupo atingido e o GC 3.

São apresentados ainda indícios de que os impactos estimados são maiores, em %, quando se utiliza um recorte de municípios do grupo atingido que é mais dependente economicamente do setor agropecuário: aqueles localizados na região do Alto e do Médio Rio Doce. Além disso, as análises de robustez conduzidas mostram que os resultados encontrados não são sensíveis ao tipo de método de pareamento utilizado para a construção dos grupos de comparação, uma vez que se aplica uma variação na metodologia e os resultados seguem no mesmo sentido, qualitativamente.

Como tais efeitos são encontrados apenas na comparação da trajetória do Valor Adicionado Bruto Agro do grupo atingido com a do grupo de comparação 3, investiga-se um possível efeito de transbordamento dos impactos do rompimento para outros municípios geograficamente próximos do grupo atingido. Essa possibilidade é levantada porque o GC 3 é composto de municípios pareados localizados em UFs vizinhas a MG e ES, sendo este recorte geográfico mais distante do grupo atingido quando comparado com o recorte geográfico do GC 1 (mesorregiões dos atingidos) e GC 2 (UFs dos atingidos acrescidas de norte do RJ e sul da BA). Assim, um exercício investigativo de efeitos de transbordamento dos impactos para além dos 45 municípios atingidos é realizado, no qual utilizam-se os municípios do GC 1 e do GC 2 como novos grupos “atingidos” e o recorte geográfico do GC 3 para definir dois novos grupos de comparação, um para cada novo grupo atingido. Os resultados da análise do impacto do VAB do setor agropecuário indicam que os municípios do GC 1 e GC 2 teriam sido impactados pelo rompimento, ainda que em menor escala do que o grupo atingido original, quando comparados à trajetória do indicador dos respectivos GCs 3 desde 2014 nos anos posteriores ao rompimento (2015 a 2018), sendo este resultado estatisticamente significativo a 5%. Assim, existe um indício de transbordamento dos impactos do rompimento no VAB Agro para além dos municípios do grupo atingido, em particular, para regiões mais próximas geograficamente deles (mesorregiões nas quais situam-se os 45 atingidos). Considerando as análises de robustez realizadas, quanto à escolha metodológica do método de pareamento para seleção dos municípios do GC, os resultados sugerem que as evidências de transbordamento de impacto no VAB Agro encontradas não advêm de uma escolha metodológica específica desse aspecto.

Os resultados da avaliação de impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre indicadores derivados do Censo Agropecuário estão dispostos na Tabela 2. Assim como na tabela anterior, tais resultados são separados por grupo de comparação usado e dimensionados em termos de % ou monetários, e novamente se expõem os últimos apenas em casos de efeitos com significância estatística a 5%. Os indicadores estão na primeira coluna, “Indicadores do Censo Agropecuário”. Para este caso, como só são utilizados dois anos (2006 e 2017) para a análise, o efeito encontrado é apenas para o ano de 2017, na comparação com a trajetória, de 2006 a 2017, do indicador de impacto em questão do grupo atingido com algum dos GCs.

Tabela 2 — Resumo dos resultados da avaliação de impactos do rompimento sobre indicadores do Censo Agropecuário nos municípios atingidos

Indicadores do Censo Agropecuário	Grupo de Comparação	Efeito em 2017	
		%	R\$ (em milhões)
Valor da Produção (ln)	GC 1	-0,116	-
	GC 2	-0,063	-
	GC 3	-0,035	-
Valor da Receita (ln)	GC 1	-0,270**	-R\$ 36,76
	GC 2	-0,255**	-R\$ 34,02
	GC 3	0,062	-
Valor da Despesa (ln)	GC 1	0,081	-
	GC 2	0,194	-
	GC 3	0,254*	-
Produção por Área (ln)	GC 1	-0,176	-
	GC 2	-0,139	-
	GC 3	-0,326***	-R\$ 0,54 (em milhares de R\$)
Valor da Despesa Não Salarial (ln)	GC 1	0,174	-
	GC 2	0,322*	-
	GC 3	0,362**	R\$ 15,93

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: Valores monetários em milhões de Reais de setembro de 2017, calculados por meio do IPCA. * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Nota-se que os coeficientes estimados para os indicadores Valor da Produção e Valor da Despesa possuem, respectivamente, sinais negativos e positivos, indicando um efeito de redução no valor da produção e de aumento no valor da despesa, ainda que tais resultados não indiquem impactos estatisticamente significantes a 5%. Na comparação com a trajetória do GC 3 de 2006 a 2017, os indicadores de produção por

área e de valor da despesa não salarial apresentam reduções no grupo atingido, em 2017, na ordem de 32,6% e 36,2%, sendo tais resultados estatisticamente significantes a 5%. Em termos monetários, tais reduções seriam de R\$ 0,54 mil por hectare (produção por área) e R\$ 15,93 milhões (despesa não salarial), em média, para um município do grupo atingido devido ao rompimento.

Ademais, encontram-se evidências de impactos estatisticamente significantes, ao nível de 5%, do rompimento da Barragem de Fundão sobre o indicador Valor da Receita do grupo atingido, quando comparado com o GC 1 ou GC 2. Neste caso, ao tomar como base a trajetória de 2006 a 2017 de tal indicador para tais GCs, a redução no valor da receita em 2017 para municípios do grupo atingido seria, em média, de R\$ 36,76 milhões (usando o GC 1) ou R\$ 34,02 milhões (usando o GC 2). Os impactos estimados são maiores, em %, quando se utiliza apenas o recorte de municípios do grupo atingido localizados na região do Alto e do Médio Rio Doce. Assim como no caso do indicador do VAB Agro, os resultados que sugerem a evidência de impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre indicadores ligados à renda e produção agropecuárias derivados do Censo Agro são robustos à escolha do método de pareamento usado para a construção dos grupos de comparação.

Para o caso dos efeitos estatisticamente significantes a 5% quando se utiliza o GC 3 na comparação, o resultado da análise de transbordamento de impactos vai na mesma linha do que o encontrado para o VAB Agro, sugerindo possíveis efeitos do rompimento para além dos 45 municípios atingidos em termos de Produção por Área e Valor da Despesa Não Salarial. Nestas análises, quando o GC 1 é definido como grupo “atingido”, existe uma evidência de impactos de aumento no indicador do valor da despesa não salarial. Quando o GC 2 é definido como grupo “atingido”, a evidência de impactos do rompimento aponta para uma redução no indicador de produção por área.

Além disso, a evidência de impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre o indicador de Valor da Receita para o grupo atingido em 2017 na comparação com o GC 1 e o GC 2 levanta uma possibilidade de efeito de transbordamento no sentido de alterar as demandas por produtos de origem agropecuária do município atingido e por produtos de outras regiões próximas. Essa hipótese é levantada pelo fato de ser observado um efeito em redução do valor da receita do grupo atingido ante o GC 1 e GC 2, estes localizados geograficamente mais próximos ao grupo atingido do que o GC 3. O valor da receita, por sua vez, leva em conta apenas a produção vendida pelo estabelecimento agropecuário. Assim, uma possibilidade para tal resultado aparecer apenas na comparação do grupo atingido com os dois grupos (GCs 1 e 2) é de que a demanda

local por produtos agropecuários de origem dos municípios do grupo atingido tenha se reduzido. A análise de efeitos de transbordamento dos impactos do rompimento mostra que, quando o GC 1 ou o GC 2 são definidos como grupo “atingido”, a comparação da trajetória do valor da receita desde 2006 deles com a dos respectivos GCs 3 construídos para essa análise específica aponta para, em 2017, um aumento no valor da receita. Assim, tem-se uma evidência favorável para tal hipótese de que possa ter havido uma transferência da demanda local por produtos agropecuários de municípios do grupo atingido por produtos de outros municípios em regiões próximas, fazendo com que tais regiões aumentassem suas vendas e, por consequência, o valor das receitas dos estabelecimentos agropecuários.

1 INTRODUÇÃO

O rompimento da Barragem de Fundão, ocorrido em 5 de novembro de 2015, levou a diversas mudanças na dinâmica social e econômica dos municípios atingidos. Com o intuito de avaliar os danos socioeconômicos causados pelo rompimento, a Fundação Getúlio Vargas (FGV) vem conduzindo uma série de avaliações de impacto considerando dimensões diversas, entre as quais, a de renda e produção agropecuárias.

O foco deste estudo está nos possíveis prejuízos que as atividades agropecuárias da região atingida pelo rompimento podem ter sofrido por conta do mesmo, fazendo com que os estabelecimentos agropecuários da região tenham menores níveis de produção e rendimento advindos destas atividades, além de maiores despesas relacionadas. Para esta investigação se utilizam as informações provenientes do Produto Interno Bruto dos Municípios (PIB Municipal)¹ dos anos de 2011 a 2018 e do Censo Agropecuário (Censo Agro)^{2 3} dos anos de 2006 e 2017, ambos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados referentes a estas fontes foram obtidos por meio de *download* dos dados do Censo Agro disponibilizados publicamente no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA/IBGE)⁴.

Nos dados do Censo Agro disponibilizados pelo IBGE no SIDRA, as informações estão agrupadas por estabelecimentos na mesma localização (municípios, unidades de federação, grandes regiões ou Brasil), não sendo possível nenhum tipo de identificação dos estabelecimentos. Assim, o menor nível de agregação com o qual se pode analisar estes dados é o de município, da mesma forma que os dados do PIB Municipal, sendo, portanto, o nível de agregação utilizado nas análises deste relatório.

Como indicativo dos possíveis efeitos do rompimento sobre aspectos relacionados com a renda e produção agropecuárias, pretende-se investigar os impactos médios do

¹ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto dos municípios:** o que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021f.

² O Censo Agropecuário é a maior pesquisa em território nacional que abrange informações a respeito do meio rural, com um questionário que aborda questões a respeito do estabelecimento agropecuário, sua produção, despesas e receitas, além de informações básicas sobre o produtor do local.

³ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário:** o que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a.

⁴ O SIDRA é uma plataforma digital para acesso de dados de todas as pesquisas e estudos feitos pelo IBGE. Dados do PIB Municipal disponíveis em IBGE (2018b). Dados do Censo Agro disponíveis em IBGE (2017a).

rompimento nos municípios atingidos⁵ sobre indicadores relacionados com: (i) valor adicionado bruto (VAB) do setor agropecuário; (ii) valor da produção, da receita ou da despesa (total ou excetuando-se pagamento de salários) dos estabelecimentos agropecuários; e (iii) valor da produção por área. Na seção 4.4, são feitas também análises para investigar possíveis transbordamentos dos impactos do rompimento nesta dimensão em outros municípios localizados próximos dos atingidos.

A estimação dos impactos é feita por meio de métodos econométricos, detalhados na seção 3. Em essência, a evolução ao longo do tempo do indicador de impacto em análise é comparada entre municípios atingidos (grupo atingido)⁶ e não atingidos (grupos de comparação)⁷ com o objetivo de produzir evidências quantitativas da existência, direção e magnitude do impacto causal do rompimento, isto é, de causa e efeito. Ainda, os métodos recuperam parâmetros específicos, como o efeito médio sobre todos os municípios considerados atingidos, implicando que as estimativas aqui apresentadas não retratam efeitos específicos a um ou outro município em particular, mas sim um efeito médio considerando o conjunto deles.

Os possíveis canais de causalidade entre o rompimento da Barragem de Fundão e alterações nas variáveis relacionadas com renda e produção agropecuárias se dão a partir de mudanças nas condições de produção da região. O fluxograma apresentado na Figura 1 procura ilustrar estas relações. Destacam-se quatro principais fontes para estas mudanças, que foram levantadas a partir de relatos e estudos de campo: (i) alterações na demanda e na oferta de produtos das atividades agropecuárias; (ii) alterações nos vínculos de trabalho; (iii) danos a equipamentos e máquinas; e (iv) contaminação do solo e de recursos hídricos. As principais consequências geradas por estas mudanças para o meio agropecuário afetado podem ser perda de produtividade, alteração ou perda da produção, aumento nas despesas e a redução das receitas, conforme ilustra o último bloco à direita no fluxograma.

Primeiramente, podem existir efeitos do rompimento sob a demanda e oferta dos produtos locais. Na ótica da demanda, é possível que tenha ocorrido um impacto negativo na renda dos indivíduos (ex.: por conta de desemprego ou pela redução na produção) fazendo com que o consumo de produtos seja menor. Além disso, produtos

⁵ Os municípios atingidos considerados nesta análise são listados na subseção 3.2. Ressalta-se que esta lista de municípios atingidos foi utilizada para a produção do presente documento, não configurando uma lista final de municípios atingidos que serão utilizados nos demais estudos produzidos pela FGV. Ressalta-se ainda que essa lista de municípios atingidos não configura um posicionamento da FGV quanto à delimitação de áreas atingidas para qualquer finalidade.

⁶ Veja a nota de rodapé 5.

⁷ A definição dos grupos de comparação é apresentada na subseção 3.2.

advindos de regiões à margem do rio podem ser menos procurados por conta de receio de contaminação (ex.: no caso do leite produzido à margem do rio, pode haver menos procura por ele após o rompimento por receio da população de que esteja impróprio para consumo humano), o que também reduz as receitas dos produtores. No lado da oferta, é possível que tenha ocorrido um aumento nos preços dos insumos agrícolas ou dos produtos finais por conta de todos os prejuízos sofridos pelos produtores.

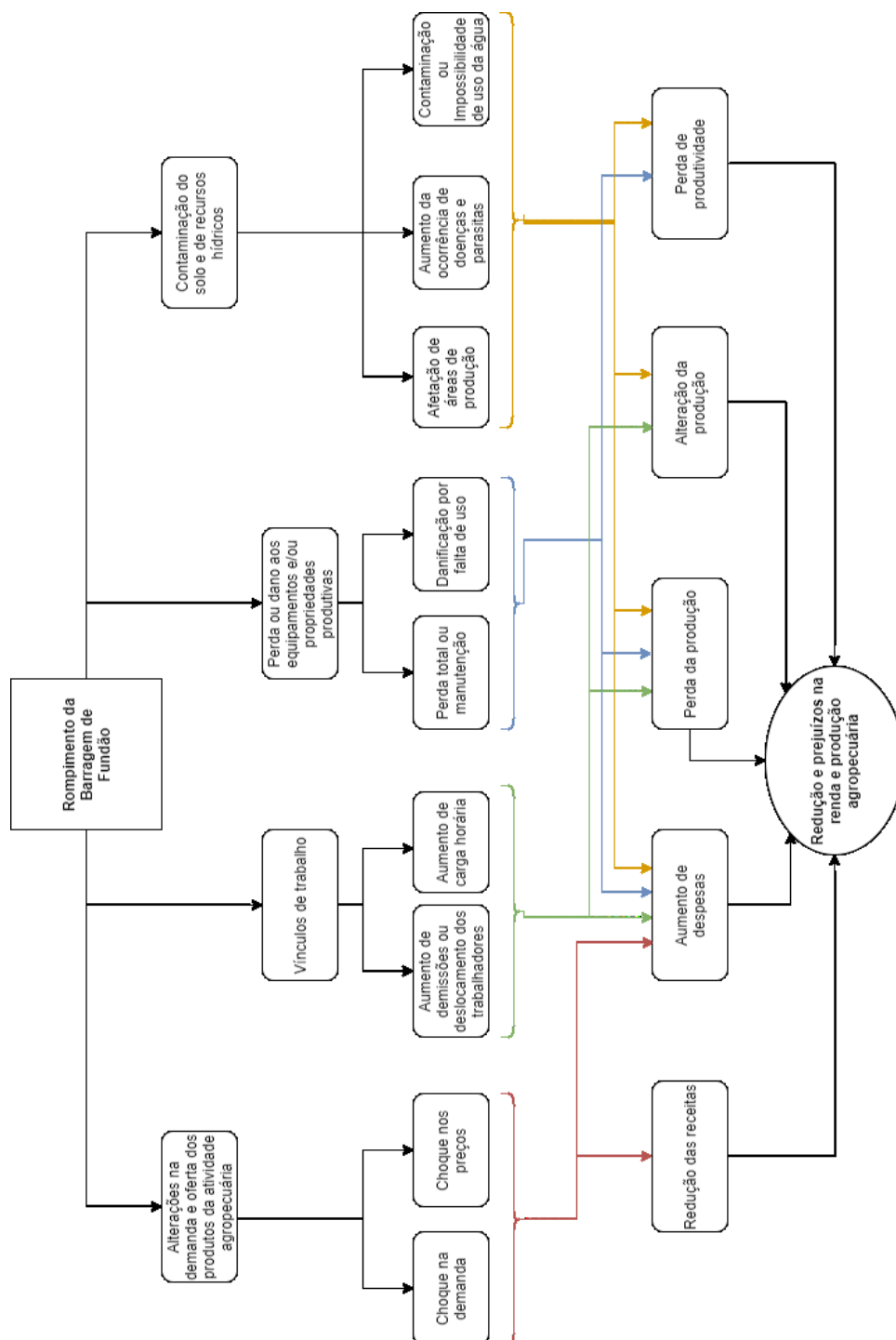
Além disso, o rompimento pode ter sido responsável por um choque nos vínculos de trabalho da região afetada. Neste sentido, tanto uma redução do número de vínculos de trabalho (por conta de demissões ou deslocamento dos indivíduos) quanto um aumento da carga horária de trabalho (para compensar a redução na quantidade de trabalhadores e/ou outras mudanças nas condições de produção) podem ter emergido. Como consequência, este cenário pode fazer com que a produção seja menor do que antes ou até mesmo tenha que ser alterada para outro produto, além do fato de que a produtividade em si pode ter caído.

No caso de equipamentos e máquinas, o rompimento pode ter danificado em parte ou totalmente aqueles que ficavam em regiões afetadas diretamente pela passagem da lama de rejeitos, o que pode ter causado a perda ou um aumento da necessidade de manutenção deles, elevando as despesas, por conta de uma necessidade de troca/substituição/reparos. Também pode haver casos de equipamentos e máquinas que não foram afetados diretamente pela lama de rejeitos, mas foram danificados pela falta de uso devido a alterações e/ou impossibilidade de continuidade das atividades produtivas causadas pelas mudanças nas condições de produção. Além disso, cabe destacar que o uso de maquinário ou equipamentos danificados pode acabar reduzindo a produtividade local.

No que tange à afetação do solo e dos recursos hídricos, tem-se que o rompimento pode ter sido responsável por prejuízos a partir de três principais canais. O primeiro destes seria a afetação de áreas pela lama de rejeitos ainda afetando a produção local de forma a gerar prejuízo na produção (ex.: o gado que ficou preso na lama de rejeitos e culturas que foram afetadas), redução na produtividade ou alteração da produção (ex.: por conta do solo estar comprometido, a produção que antes era de determinado produto passou a ser de outro) e também um aumento em despesas (ex.: uso de fertilizantes que não eram necessários anteriormente ou em maior quantidade). Além disso, outro canal seria a partir do fato de a passagem da lama de rejeitos ter causado um aumento à suscetibilidade a doenças e parasitas, devido a alterações nos ecossistemas da região atingida, que podem ter causado prejuízo à produção (ex.: gado afetado por doenças que antes não eram tão comuns), além de um possível aumento com serviços de

veterinária e gastos com medicamentos, defensivos agrícolas e adubos, que também se refletem em queda da produtividade. O terceiro seria a contaminação ou impossibilidade de uso da água, afetando tanto a produção local que depende da água do rio (ex.: uso para irrigação e para dessedentação animal) como também elevando gastos (necessidade de fazer/ampliar uso de poços artesianos, por exemplo).

Figura 1 — Fluxograma ilustrando potenciais canais e possíveis impactos na área de renda e produção agropecuária



Fonte: Elaboração própria (2021).

Deve ser feita a ressalva de que já estão em curso no território atingido programas da Fundação Renova estabelecidos com o objetivo de reparar os impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão e que, portanto, podem atenuar os impactos investigados nesse estudo sobre aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias. Portanto, os impactos estimados neste estudo possivelmente não refletem os efeitos isolados do rompimento, não fazendo parte do escopo do presente estudo a dissociação de efeitos do rompimento dos de ações de reparação. Em particular, vale destacar aqui três programas que são monitorados pela Câmara Técnica de Economia e Inovação (CT-EI): Programa de Retomada das Atividades Aquícolas e Pesqueiras (PG 16)⁸; Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias (PG 17)⁹; e Programa de Desenvolvimento e Diversificação Econômica (PG 18)¹⁰. Além disso, destacam-se dois programas que são monitorados pela Câmara Técnica de Organização Social e Auxílio Emergencial (CT-OS): o Programa de Indenização Mediada (PG 02) (Fundação Renova, 2017); e o Programa de Auxílio Financeiro Emergencial (AFE – PG 21) (Fundação Renova, 2019)¹¹.

Além desta seção de introdução, este relatório é composto por mais quatro seções. Na seção 2, são apresentados os objetivos da análise e os dados utilizados para tal, detalhando quais são os parâmetros de interesse e apresentando os indicadores de impacto analisados. Na seção 3, discute-se a metodologia utilizada, detalhando os métodos econométricos para avaliação de impactos empregados e as definições de grupo atingido e grupos de comparação. Na seção 4, são apresentadas estatísticas descritivas e os resultados da avaliação de impactos. Por fim, na última seção são expostas as considerações finais.

⁸ Para ver mais, consulte Fundação Renova (2021a).

⁹ Para ver mais, consulte Fundação Renova (2021b).

¹⁰ Para ver mais, consulte Fundação Renova (2021c).

¹¹ Informações sobre o status de programas da Fundação Renova podem ser encontradas em Ramboll (2021).

2 OBJETIVOS E DADOS UTILIZADOS

A avaliação de impactos sobre aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias tem como objetivo mensurar os impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre indicadores de impacto selecionados, buscando identificar relações de causa e efeito entre o rompimento e possíveis alterações observadas nesses indicadores. Trata-se de uma das abordagens possíveis para a investigação de impactos nessa dimensão, não excluindo a possibilidade de investigações futuras que façam uso de outras metodologias, dados e recortes regionais e/ou sociodemográficos. Nesta seção, são apresentados os parâmetros de interesse da análise, os indicadores de impacto considerados e as fontes e bancos de dados utilizados.

2.1 Definição dos parâmetros de interesse

O parâmetro de interesse da avaliação é o efeito médio do rompimento da Barragem de Fundão nos municípios atingidos nos anos posteriores ao rompimento, considerando diferentes indicadores de impacto relacionados com renda e produção agropecuárias (descritos na seção 2.2). Utilizando a terminologia da literatura de avaliação econométrica de impactos, o parâmetro estimado neste relatório é o “efeito médio do tratamento sobre os tratados” (em inglês, *average treatment effects on the treated* (ATT)), com a diferença de que neste caso não se trata de um tratamento, mas sim do rompimento da Barragem de Fundão. Ressalta-se que pode ter havido alterações na composição sociodemográfica dos municípios atingidos em si, fruto de movimentos migratórios, por exemplo. Não faz parte do escopo da presente avaliação a dissociação dos efeitos do rompimento sobre aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias de outros efeitos advindos de migrações provocadas por ele¹². Assim, as estimativas aqui obtidas se referem ao resultado conjunto destes efeitos simultâneos.

¹² A FGV investigou os impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre migração nos municípios atingidos no estudo intitulado “Avaliação de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre Fluxos Migratórios e Tamanho da População dos Municípios Atingidos” (FGV, 2020a). Nele analisou-se a migração da população escolar, que possuía entre seis e 12 anos de idade no início de cada um dos biênios analisados (entre 2007 e 2017), e foi feita também uma investigação sobre a população estimada em 2017 dos municípios atingidos, nesse caso considerando pessoas com cinco anos de idade ou mais. Os resultados principais indicam: i) uma queda no saldo migratório após o rompimento nas regiões do Baixo Rio Doce e do Litoral Adjacente, a partir dos dados de alunos de seis a 12 anos; ii) redução na probabilidade de emigração de alunos na região do Alto Rio Doce e aumento da mesma probabilidade na região do Baixo Rio Doce; iii) redução geral na probabilidade de imigração de alunos para a região atingida, principalmente para o Baixo Rio Doce e Litoral Adjacente; iv) na análise sobre tamanho da população, que considera pessoas a partir de cinco anos idade, foi encontrada uma contração adicional de 1,1% na população de 2017, atribuída ao rompimento.

2.2 Definição dos indicadores de impacto

Nesta seção serão descritos os indicadores de impacto utilizados neste estudo. Apresentar-se-ão também as formas de cálculos e definições relevantes para o entendimento e interpretação dos resultados apresentados na seção 4. As subseções a seguir referem-se aos seguintes indicadores de impacto: (i) valor adicionado bruto (VAB) do setor agropecuário; (ii) valor da produção dos estabelecimentos agropecuários; (iii) valor da receita dos estabelecimentos agropecuários; (iv) valor da despesa dos estabelecimentos agropecuários; (v) produção por área; e (vi) valor da despesa não salarial dos estabelecimentos agropecuários.

2.2.1 Valor adicionado bruto (VAB) do setor agropecuário

O valor adicionado bruto (VAB) municipal é divulgado anualmente pelo IBGE em suas estimativas que fazem parte do Produto Interno Bruto Municipal e segue metodologia própria, de acordo com os padrões internacionais do Sistema de Contas Nacionais definidos em United Nations e World Bank (2009), podendo ser dividido em alguns setores principais da economia, sendo um destes o agropecuário (VAB_{agro}^{CN}), que será o utilizado neste relatório¹³. Ele é definido como a diferença entre o Valor de Produção (VP) e Consumo Intermediário (CI), ambos dentro do setor agropecuário:

$$VAB_{agro}^{CN}_{mt} = VP_{mt}^{CN} - CI_{mt}^{CN}$$

onde m é um município, t é um ano e o sobrescrito CN indica que estes indicadores são aqueles calculados pelas Contas Nacionais (e não diretamente pelo Censo Agropecuário). As definições de Valor de Produção e Consumo Intermediário para o

Cabe mencionar que estes resultados não são facilmente incorporáveis na avaliação dos impactos do rompimento na renda e produção agropecuárias, devido tanto ao fato de que alguns destes resultados citados são estimados a partir de dados exclusivamente de alunos com idade entre seis e 12 anos, além de não serem separáveis por situação da localidade (rural ou urbana) e, em alguns casos, serem agregados para toda a região considerada atingida. Assim, não é possível “distribuir” tais resultados citados para o território considerando o nível de análise municipal. Também deve ser feita a ressalva de que atualmente no Brasil a maior parte da migração ocorre entre áreas urbanas, onde a presença de locais com produção agropecuária é bem menor.

¹³ O Produto Interno Bruto (PIB) é usualmente calculado por três óticas: produção, renda ou dispêndio. No caso da produção, calcula-se ele a partir da diferença do Valor Adicionado Bruto (VAB) e Impostos, e o VAB pode ser dividido em setores da economia: indústria, serviços, agropecuária, administração pública e governo. Sob essa ótica, todas as atividades econômicas estão em algum setor, nunca ficando de fora. No caso deste relatório, utiliza-se o VAB do setor agropecuário.

caso agropecuário podem ser encontradas nas notas metodológicas referentes ao Produto Interno Bruto dos municípios^{14 15}.

Destaca-se que o IBGE não utiliza o Censo Agropecuário como fonte exclusiva para o cálculo dessa variável, fazendo uso de dados de pesquisas¹⁶ também do próprio IBGE como a Produção Agrícola Municipal (PAM)¹⁷, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS)¹⁸ e a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)¹⁹.

Além disso, o IBGE deixa claro que a variável Valor de Produção presente no Censo Agropecuário não é equivalente ao conceito de Valor de Produção das Contas Nacionais, sendo necessário um ajuste metodológico para o cálculo do mesmo. Nas palavras do IBGE: “[...] para alguns produtos da pecuária foi necessária a elaboração de algoritmos para estimar o valor de produção desses produtos, uma vez que o conceito de valor de produção censitário difere do conceito definido pelas Contas Nacionais”²⁰. Assim, calcula-se um *VP* para cada produto da agropecuária seguindo uma metodologia própria, de acordo com as características do mesmo (por exemplo, no caso dos bovinos leva-se em conta o fato de que os bois possuem um ciclo de vida de cerca de três anos até serem abatidos). No caso do *CI*, é dito apenas que as variáveis presentes no bloco de despesas do Censo Agropecuário 2006 são aquelas que servem como guia de variáveis para que o IBGE se baseie e construa o indicador.

Para esta análise, será analisado o logaritmo natural (*ln*) da variável *VABagro*, correspondente a $\ln(VABagro)$.

2.2.2 Valor da Produção

O indicador de impacto *Valor da Produção_{mt}* corresponde ao somatório do valor total da produção dos estabelecimentos agropecuários localizados no município *m* no ano

¹⁴ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema de contas nacionais** — Brasil: Referência 2010. Nota metodológica nº 20 — Consumo intermediário. Rio de Janeiro: IBGE, 2016a.

¹⁵ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema de contas nacionais** — Brasil: Referência 2010. Nota metodológica nº 21 — Atividade agropecuária. Rio de Janeiro: IBGE, 2016b.

¹⁶ Todas estas pesquisas, indicadas nas notas de rodapé a seguir, podem ser compreendidas conceitual e metodologicamente por meio da Série Relatórios Metodológicos (IBGE, 2018c).

¹⁷ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal — PAM**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019c.

¹⁸ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal — PAM: o que é**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021d.

¹⁹ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da Pecuária Municipal — PPM**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b.

²⁰ Ver referência na nota de rodapé 15.

de referência t . Os valores de produção do Censo Agropecuário englobam: (i) no caso de produção vegetal, a quantidade produzida no estabelecimento multiplicada pelo preço médio do produto vendido; e (ii) no caso de produção animal, o valor da venda de animais e o valor referente à quantidade de produtos derivados que foram produzidos (por exemplo, ovos e leite) multiplicada pelo preço médio do produto derivado vendido.²¹ Nas estimações foi utilizado o logaritmo natural ($\ln$) desta variável, então usou-se $\ln(\text{Valor da Produção}_{mt})$.

2.2.3 Valor da Receita

O indicador de impacto $\text{Valor da Receita}_{mt}$ corresponde ao somatório do valor total das receitas dos estabelecimentos agropecuários localizados no município m no ano de referência t . No caso das receitas, diferente da produção, registra-se apenas o valor do que foi vendido da produção da agropecuária²², além de outras receitas de atividades não agropecuárias²³ desenvolvidas no estabelecimento. Nas estimações foi utilizado o logaritmo natural ($\ln$) desta variável, então usou-se $\ln(\text{Valor da Receita}_{mt})$.

2.2.4 Valor da Despesa

O indicador de impacto $\text{Valor da Despesa}_{mt}$ corresponde ao somatório do valor total das despesas dos estabelecimentos agropecuários localizados no município m no ano de referência t . Nas estimações foi utilizado o logaritmo natural ($\ln$) desta variável, então usou-se $\ln(\text{Valor da Despesa}_{mt})$.

²¹ Por exemplo, o valor da produção de um produtor que produziu 100 sacas de feijão, vendeu 50 sacas de feijão, vendeu 10 vacas, produziu 1.000 litros de leite e vendeu 500 litros de leite é calculado a partir da seguinte soma: $100 \times \text{PreçoMédio}_{\text{feijão}} + 10 \times \text{PreçoMédio}_{\text{vaca}} + 1000 \times \text{PreçoMédio}_{\text{leite}}$, onde os valores de PreçoMédio_j se baseiam sempre no preço médio do produto j vendido, obtido via questionário do Censo Agro.

²² Tomando o mesmo exemplo da nota de rodapé 21, o valor da receita daquele produtor é calculado a partir da seguinte soma: $50 \times \text{PreçoMédio}_{\text{feijão}} + 10 \times \text{PreçoMédio}_{\text{vaca}} + 500 \times \text{PreçoMédio}_{\text{leite}}$, onde os valores de PreçoMédio_j se baseiam sempre no preço médio do produto j vendido, obtido via questionário do Censo Agro.

²³ Tais atividades podem ser, por exemplo: desinvestimentos, turismo rural, exploração mineral, atividades de artesanato, tecelagem etc. Cabe mencionar que os resultados encontrados na presente avaliação de impactos para este indicador não diferem quando ele é construído considerando-se apenas receitas oriundas da produção vegetal ou animal. Estes resultados não foram apresentados neste relatório por motivos de concisão, mas podem ser obtidos mediante solicitação aos autores.

2.2.5 Produção por Área

Um dos indicadores mais estudados quando se trata de medidas de produção do setor agropecuário é a produtividade. Neste estudo é utilizada uma medida conforme Garcia, Helfand e Souza (2015) e Costa, Helfand e Souza (2018), que definem o conceito como a razão entre o valor total da produção agropecuária e a área total do estabelecimento. Neste relatório, usou-se um indicador de produção por área dos estabelecimentos agropecuários localizados no município m no ano de referência t , dado pela seguinte razão:

$$Produção\ por\ área_{mt} = \frac{Valor\ da\ Produção_{mt}}{Área\ dos\ Estabelecimentos_{mt}}$$

onde:

- $Valor\ da\ Produção_{mt}$ corresponde ao indicador de valor da produção definido anteriormente;
- $Área\ dos\ Estabelecimentos_{mt}$ corresponde à soma de todas as áreas dos estabelecimentos agropecuários do município m no ano t .

Nas estimações foi utilizado o logaritmo natural ($\ln$) desta variável, então usou-se $\ln(Produção\ por\ área_{mt})$.

2.2.6 Valor da Despesa Não Salarial

O indicador de impacto $Valor\ da\ Despesa\ Não\ Salarial_{mt}$ corresponde ao somatório do valor total das despesas, exceto pagamento de salários, dos estabelecimentos agropecuários localizados no município m no ano de referência t .

O objetivo do uso deste indicador é tentar captar um movimento parecido com o do Consumo Intermediário, utilizado no cálculo do VAB. Como dito na descrição do indicador VAB_{agro} , o cômputo deste é baseado na diferença entre Valor de Produção (VP) e Consumo Intermediário (CI). Ainda que o IBGE considere distintos o VP das Contas Nacionais do indicador $Valor\ da\ Produção$ censitário, pode ser que este último seja uma aproximação razoável do VP . De forma análoga, o CI pode ter alguma similaridade com o indicador $Valor\ da\ Despesa$ censitário. Entretanto, alguns itens do bloco de despesas do Censo Agro não devem ser classificados como Consumo Intermediário e, teoricamente, deveriam ser retirados a fim de se testar uma aproximação mais fiel ao CI .

O item do bloco de despesas que é mais relevante para a despesa total é o de salários, com participação média de 20% a 30% nas despesas totais, e o salário não é considerado como *CI*, sendo, portanto, descartado desta conta²⁴. Assim, o indicador *Valor da Despesa Não Salarial_{mt}* pode indicar alguma evidência sobre o comportamento do *CI* e, por sua vez, do indicador de Valor Adicionado Bruto Agropecuário.

Nas estimações foi utilizado o logaritmo natural (*ln*) desta variável, então usou-se *ln(Valor da Despesa Não Salarial_{mt})*.

2.3 Fontes e bancos de dados utilizados

Para a construção dos indicadores de impacto e demais variáveis descritas ao longo do texto, são utilizados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que são apresentados a seguir.

Censo Agropecuário — IBGE

O Censo Agropecuário (Censo Agro), realizado pelo IBGE, é a maior pesquisa a respeito das características e da estrutura de produção da agropecuária brasileira. Seu objeto de análise são estabelecimentos agropecuários, que são definidos como unidades de produção onde há dedicação total ou parcial às atividades da agropecuária, independentemente do tamanho e do uso dos produtos (IBGE, 2019a). A pesquisa tem periodicidade quinquenal²⁵ e abrangência geográfica nacional com representatividade de diversos recortes regionais, como setores censitários e municípios. Para este trabalho, foram utilizadas informações provenientes do Censo Agro de 2006 e do Censo Agro de 2017. Foram utilizados dados do Índice de Preços ao Consumidor Amplo — IPCA — (IBGE) para colocar as variáveis monetárias a valores de Reais no mesmo período de referência — no caso, em setembro de 2017²⁶.

²⁴ Entende-se que outros itens do bloco de despesas, como o arrendamento de terras e pagamento de impostos, deveriam ser também retirados da conta para uma aproximação mais fiel do Consumo Intermediário. Entretanto, as informações sobre tais itens, ao nível municipal, muitas vezes acabam censuradas pelo IBGE pela baixa quantidade de estabelecimentos que as fornece. Assim, um possível indicador construído a partir de dados de despesas que exclua muitos itens além do pagamento de salários acabaria podendo ser observado para uma amostra de municípios de tamanho reduzida. Em algumas tentativas de construção de tal indicador, a amostra de municípios atingidos acabava sendo reduzida de 45 no total para apenas 10, tornando a análise deste indicador inviável, pois seriam obtidos resultados não comparáveis aos do restante do relatório.

²⁵ Ver nota de rodapé 3.

²⁶ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo — IPCA**. Séries históricas. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b.

A pesquisa se baseia em um questionário que aborda tópicos referentes tanto ao produtor quanto ao estabelecimento agropecuário em si, como a área do mesmo; o uso de corretivos do solo, irrigação e preparo do solo; uso de maquinário ou veículos; pessoal ocupado; tipos de produtos (da pecuária e da agricultura); receitas; despesas; financiamentos; entre outros. Para o caso da pecuária e agricultura, o questionário é aberto para diversos produtos (bovinos, suínos, aves, lavouras permanentes, lavouras temporárias, horticultura, entre outros), com perguntas sobre o valor da produção, valor de vendas e quantidade produzida. Dependendo do produto e da quantidade existente ou produzida do mesmo no estabelecimento, o questionário inclui também itens específicos (por exemplo, no caso de bovinos, quando o estabelecimento possui ao menos 50 cabeças, abre-se um bloco de perguntas referente a idade dos bovinos, finalidade dos mesmos, produção de leite de vacas, entre outras).

Produto Interno Bruto Municipal — IBGE

O IBGE realiza estimativas para o Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios, de acordo com as séries do Sistema de Contas Nacionais brasileiro. As variáveis divulgadas²⁷ são o PIB, PIB *per capita*, Valor Adicionado Bruto (VAB) e Impostos líquidos de subsídios. No caso do VAB, é possível observá-lo por grandes setores da economia, sendo um deles o agropecuário (VAB Agro). As informações utilizadas neste relatório são para o período entre 2002 e 2017 e têm como referência o ano de 2017 (utilizou-se o deflator implícito do PIB²⁸ para toda a série do VAB Agropecuário ficar a valores de Reais de 2017).

Neste estudo, foram utilizadas as informações referentes ao VAB Agro municipal para a construção de um dos indicadores de impacto, descrito em seção anterior. Além disso, utiliza-se o VAB Agro da microrregião para a construção de uma das variáveis usadas na estimação da distância de Mahalanobis, conforme será descrito na seção de metodologia. Neste último caso, a fim de utilizar o dado mais próximo ao momento do rompimento, mas anterior a ele, utilizam-se as projeções para ano de 2014.

Censo Demográfico — IBGE

O Censo Demográfico, realizado pelo IBGE, é a principal fonte de referência sobre dados de condições de vida da população de todos os municípios do Brasil e de seus

²⁷ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto dos Municípios**: tabelas. Tabela 5938 — Produto interno bruto a preços correntes, impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos a preços correntes e valor adicionado bruto a preços correntes total e por atividade econômica, e respectivas participações — Referência 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b.

²⁸ O deflator implícito do PIB é calculado tomando-se a razão entre o PIB Nominal e PIB Real. A série utilizada está disponível em IBGE (2018a).

recortes territoriais. Ele consiste em um questionário básico, com o intuito de coletar informações sobre características do domicílio e dos moradores, e um questionário da amostra, que além dos quesitos do questionário básico também coleta informações sobre temas específicos como educação e deslocamento, trabalho e rendimento, trabalho infantil, entre outros. A pesquisa tem periodicidade decenal e abrangência geográfica nacional com representatividade de diversos recortes regionais, inclusive municípios.

Para fins de estimar a distância de Mahalanobis, conforme descrito na próxima seção, foram utilizados os dados mais recentes, do Censo Demográfico de 2010, sobre população, escolaridade, situação de ocupação, atividade da ocupação, renda familiar, e zonas de residência²⁹.

Bases Cartográficas Contínuas (BCIM) — IBGE

As Bases Cartográficas Contínuas do Brasil ao Milionésimo (BCIM) são conjuntos de dados geoespaciais de referência que permitem uma visão integrada do território nacional na escala de 1:1.000.000. Suas principais aplicações e produtos são o planejamento e a gestão de programas de governo com enfoque territorial, as análises que demandam uma visão de conjunto (país, região e estados), a elaboração de mapas em escalas menores (mapas do Brasil, regionais, estaduais e atlas) e as representações de aspectos temáticos do território (estatística, recursos naturais e pesquisa ambiental). Neste trabalho, as bases cartográficas são usadas para produzir representações visuais dos municípios analisados em diferentes contextos³⁰.

²⁹ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a.

³⁰ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao Milionésimo — BCIM**: 4ª versão. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. v. 1.

3 METODOLOGIA

3.1 Métodos econométricos de avaliação de impactos

Para avaliar os impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias, são utilizados métodos econométricos de avaliação de impactos. Essa abordagem tem como objetivo identificar relações de causa e efeito entre o objeto de análise, isto é, o rompimento da Barragem de Fundão, e possíveis alterações observadas em indicadores quantitativos de interesse em um momento posterior ao rompimento. Tais indicadores referem-se a representações de aspectos específicos mensuráveis de um constructo e geralmente se baseiam em processos estatísticos e/ou de contagem, provendo assim uma métrica objetiva passível de ser explorada por análises quantitativas.

Neste estudo, a abordagem metodológica segue aquela já implementada nos relatórios de avaliação de impactos do rompimento da Barragem de Fundão nas áreas de Assistência Social³¹, Educação³², Segurança Pública³³, Migração³⁴, Empregos e Salários no Mercado de Trabalho Formal³⁵ e Violência Doméstica contra as Mulheres³⁶ elaborados previamente pela FGV. Assim, os efeitos do rompimento sobre indicadores relacionados com aspectos da renda e produção agropecuárias serão estimados a partir da comparação de um grupo de municípios atingidos pelo desastre com um de municípios não afetados. Este segundo, denominado “grupo de comparação”, deve ser construído de maneira a prover uma representação aproximada do que teria acontecido com o grupo atingido caso não tivesse ocorrido o rompimento — isto é, o grupo de comparação deve fornecer uma indicação de como os indicadores quantitativos de impacto do grupo atingido se comportariam tivesse o rompimento da Barragem de Fundão não ocorrido.

³¹FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Impactos sobre Assistência Social a partir de dados secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019d.

³²FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Impactos sobre Educação Básica a partir de Dados Secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019b.

³³FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Impactos sobre Segurança Pública a partir de Dados Secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019c.

³⁴FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Avaliação de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre Fluxos Migratórios e Tamanho da População dos Municípios Atingidos**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020a.

³⁵FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Avaliação de impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre o Mercado de Trabalho Formal dos Municípios Atingidos**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020b.

³⁶FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **A Violência Doméstica contra as Mulheres Atingidas pelo Rompimento da Barragem de Fundão**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021a.

O ideal para a identificação das relações de causa e efeito entre o rompimento e as alterações observadas na dimensão de interesse seria a comparação do indicador de impacto do grupo atingido em dois cenários: real e contrafactual. O primeiro corresponde ao que foi observado de fato com relação ao indicador, enquanto o segundo corresponde ao que teria sido observado para o mesmo indicador caso o rompimento não tivesse ocorrido. Naturalmente, os dois cenários são mutualmente excludentes e somente um deles é observado, o real. Por este motivo, é preciso construir um grupo de comparação adequado, de forma a prover uma boa representação do cenário contrafactual para o grupo atingido.

Existem diversas hipóteses sob as quais se torna viável obter na realidade uma representação aproximada à situação contrafactual dos atingidos. Entre os métodos econométricos de avaliação de impactos, podem ser utilizadas abordagens distintas que variam no que diz respeito a quais dessas hipóteses serão adotadas e como serão feitas as comparações entre os diferentes cenários. Na prática, esses métodos baseiam-se na comparação entre dois grupos, sendo a definição para o presente caso:

- I Grupo atingido³⁷: corresponde ao grupo de municípios que foram atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão; e
- II Grupo de comparação³⁸: corresponde a um grupo de municípios que não foram atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão, mas que se assemelham àqueles que foram atingidos e, supõe-se, provêm uma representação aproximada do que teria acontecido com os atingidos caso não tivesse ocorrido o rompimento (situação contrafactual).

Satisfeitas as hipóteses do método econométrico escolhido, a comparação entre os dois grupos permite verificar a existência e estimar a magnitude do impacto socioeconômico gerado pelo rompimento sobre a população analisada. Ressalta-se que a escolha metodológica necessita ser pautada por profunda reflexão sobre as características da dimensão à qual se refere o indicador de impacto em questão e do nível de agregação dos dados. Só é razoável atribuir interpretação causal à relação estimada entre o rompimento e os indicadores de impacto se as chamadas hipóteses de identificação do método selecionado forem plausíveis, conforme será discutido a seguir.

³⁷ O grupo que sofre a intervenção em análise é tipicamente chamado de “grupo de tratamento” na literatura de avaliação econométrica de impactos. Na presente avaliação, esse grupo será identificado como “grupo atingido”.

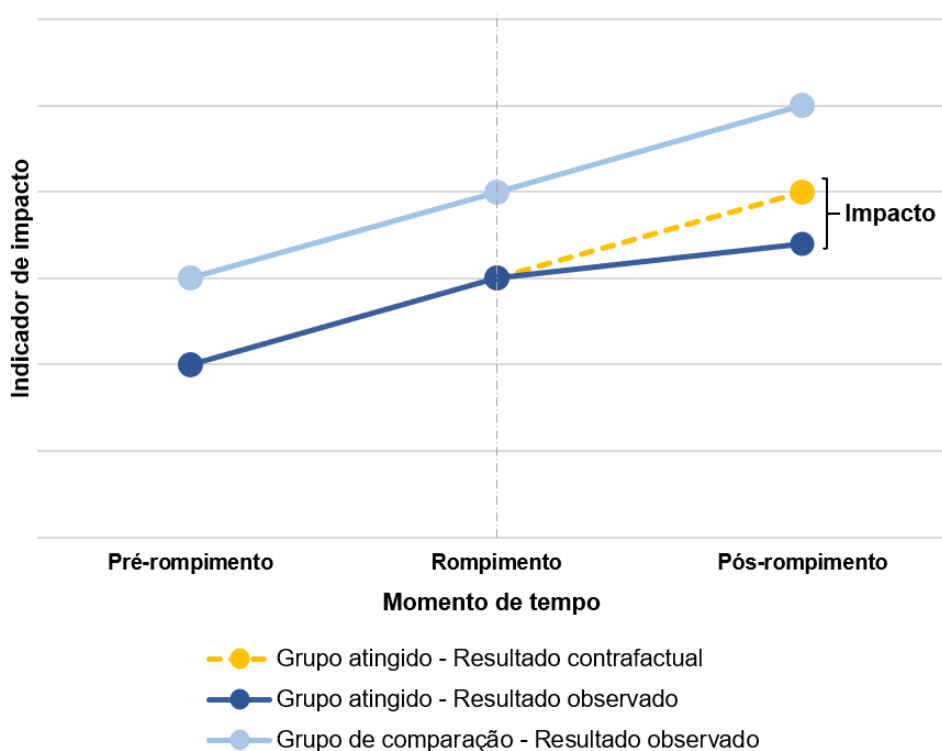
³⁸ Na literatura de avaliação econométrica de impactos esse grupo também é tipicamente chamado de “grupo de controle”.

Especificamente, no presente relatório o método econométrico utilizado é o de diferença-em-diferenças combinado com o método de pareamento via distância de Mahalanobis. A seção seguinte apresenta este método e sua aplicação na presente avaliação de impactos.

3.1.1 Método de diferença-em-diferenças

A estimação de impacto por meio do método de diferença-em-diferenças é feita a partir da comparação dos indicadores de impacto entre os grupos atingido e de comparação em dois momentos do tempo: antes e depois do rompimento, conforme ilustrado na Figura 2³⁹. Nela, observam-se as evoluções do indicador de impacto de interesse para os grupos atingido e de comparação (pontos conectados por linhas em tons de azul). Ilustra-se também qual teria sido a evolução do grupo atingido caso o rompimento não tivesse ocorrido, que corresponde à situação contrafactual que não é observada na prática (linha tracejada e ponto em amarelo).

Figura 2 — Ilustração do método de diferença-em-diferenças



Fonte: FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (2019d).

³⁹ Os valores e trajetórias de evolução representados na Figura 2 são hipotéticos, apresentados para fins de ilustração no método apenas.

Na ausência de um fator que influencie somente o indicador de impacto do grupo atingido (neste caso, o rompimento da Barragem de Fundão), esperar-se-ia que a diferença calculada para o indicador de impacto entre os dois grupos no momento pré-rompimento (ponto azul-escuro subtraído do azul-claro) fosse igual à que se observaria no pós-rompimento entre os grupos (ponto amarelo subtraído do azul-claro). Entretanto, quando se consideram os resultados de fato observados, se a diferença destas diferenças não for igual a zero, é possível que o rompimento seja responsável por essa discrepância, que é interpretada como impacto médio estimado sobre o grupo atingido⁴⁰ neste indicador em questão (ponto azul-escuro subtraído do amarelo)⁴¹. Para que tal interpretação seja válida, é preciso que as seguintes hipóteses de identificação do modelo sejam satisfeitas:

- Na ausência do rompimento, os indicadores de impacto dos grupos atingido e de comparação apresentariam evoluções semelhantes ao longo do tempo (isto é, teriam tendências “paralelas”). É importante enfatizar que os dois grupos não precisam apresentar magnitudes similares do indicador de impacto antes do rompimento, basta que este evoluísse de maneira semelhante para os dois grupos, conforme ilustrado na Figura 2.
- Os grupos atingido e de comparação não podem ter sido afetados de maneira particular e distinta um do outro por um fator concomitante ao rompimento;
- A composição dos grupos atingido e de comparação não pode se alterar de forma significativa ao longo do tempo (antes e depois do rompimento).

É importante notar que é impossível verificar se algumas dessas hipóteses são válidas na prática. Por exemplo, não há como saber se a trajetória contrafactual do grupo atingido na ausência do rompimento seria de fato semelhante à do grupo de comparação escolhido porque, por definição, o cenário contrafactual não é o que se observa na realidade. Não obstante, é possível realizar análises específicas que servem como indicativos de credibilidade desta hipótese no contexto estudado, as quais são

⁴⁰ Utilizando a terminologia da literatura de avaliação econométrica de impactos, o método de diferença-em-diferenças recupera o chamado “efeito médio do tratamento sobre os tratados” (em inglês, *average treatment effect on the treated* (ATT)). No caso aqui abordado, não se trata de um “tratamento” em si, mas sim do rompimento da Barragem de Fundão.

⁴¹ A Figura 1 ilustra um caso hipotético em que o impacto é negativo. O método de diferença-em-diferenças também pode ser utilizado em caso de impacto positivo, sendo sua aplicação e intuição exatamente iguais às expostas nesta seção.

apresentadas conjuntamente com os resultados na seção 4.2.1 para apenas um dos indicadores de impacto utilizados (VAB Agro)⁴².

O método de diferença-em-diferenças possui uma vantagem, que é comum aos métodos de estimação com dados em painel, por conta de observar a mesma unidade (municípios) em mais de um momento no tempo. Trata-se do fato de que nestes casos é possível eliminar efeitos de características destas unidades que sejam invariantes no tempo, ainda que as mesmas não sejam observáveis (como fatores culturais e aspectos relacionados com localização geográfica dos municípios). Com isso, nenhuma característica das unidades de observação que seja invariante no tempo poderá causar viés nas estimações dos parâmetros de interesse.

Conforme mencionado na seção 2.1, a estimativa de impacto obtida por meio do método de diferença-em-diferenças corresponde ao impacto médio do rompimento sobre o grupo atingido. Isso significa que, supondo satisfeitas as hipóteses de identificação, o parâmetro que o modelo estima a partir dos dados é a variação média do indicador de impacto nos municípios atingidos causada pelo rompimento. Ele não informa, portanto, o impacto sobre um município em particular, mas sim uma estimativa referente ao conjunto dos 45 municípios atingidos.

Especificamente, a estimação dos impactos se dá em dois passos:

1. Computa-se a variação média ao longo do tempo do indicador de impacto para o grupo atingido e para o grupo de comparação (“primeiras diferenças”):

$$\Delta y^{atingido} = \mathbb{E}[y_i | d_i = 1, t = 1] - \mathbb{E}[y_i | d_i = 1, t = 0]$$

$$\Delta y^{comparação} = \mathbb{E}[y_i | d_i = 0, t = 1] - \mathbb{E}[y_i | d_i = 0, t = 0]$$

em que:

- $\mathbb{E}$ indica cálculo do valor esperado (isto é, a média);
- i indica a unidade de observação (município);
- Y_i é o valor do indicador de impacto do município i ;

⁴² Em alguns casos de estimações pela metodologia de diferença-em-diferenças, como na do indicador de VAB Agro, é possível realizar análises específicas que servem como indicativos de credibilidade da primeira hipótese citada. Para que isso ocorra, é necessário que estejam disponíveis dados sobre os indicadores de interesse em mais de um momento no tempo anterior ao evento estudado. Como para o restante dos indicadores deste relatório utiliza-se apenas o Censo Agropecuário de 2006 como momento anterior ao rompimento neste relatório, esta análise não pôde ser realizada para eles. A possibilidade de uso de dados do Censo Agropecuário anteriores a 2006 para viabilizar tal análise foi descartada devido ao fato de ter havido alterações substanciais na metodologia e nas informações coletadas entre as diferentes edições desta pesquisa.

- $d_i = 1$ indica que o município i é atingido pelo rompimento e $d_i = 0$, que não é atingido; e
- $t = 1$ indica o período posterior ao rompimento e $t = 0$, o anterior.

2. Subtrai-se a variação média do grupo de comparação da variação média do grupo atingido (“diferença das diferenças”):

$$\text{impacto médio} = \Delta y^{\text{atingido}} - \Delta y^{\text{comparação}}$$

Nesta avaliação, o método de diferença-em-diferenças visa estimar o efeito médio do rompimento sobre o grupo atingido no período pós-rompimento. O estimador de diferença-em-diferenças para este efeito é obtido por meio de dois diferentes modelos de regressão linear. O primeiro será aplicado apenas para o indicador de VAB Agro, por conta da frequência anual de dados para o período de 2011 a 2018. O segundo modelo será aplicado para os demais indicadores, oriundos do Censo Agropecuário, já que os dados do mesmo estão disponíveis para apenas um momento pré-rompimento (2006) e outro pós (2017).

Como falado, o modelo de regressão adotado para o indicador VAB_{agro} implementa uma versão modificada do diferença-em-diferenças na qual não se trabalha com a comparação entre apenas um período posterior e um anterior ao rompimento, como ilustrado na Figura 2. O modelo, de maneira distinta, toma um ano como referência e então calcula as diferenças dos demais anos com relação a ele. Apesar dessa mudança, a mecânica do método é essencialmente a mesma da descrita anteriormente. Este modelo de regressão estimado é apresentado na Equação 1.

Equação 1 — Diferença-em-diferenças: especificação para indicador VAB Agropecuário

$$VAB_{agro_{mt}} = \alpha + \sum_{\substack{j \in \{2011, 2012, \dots, 2018\}, \\ j \neq 2014}} \beta_j (T_m \cdot D_j) + \gamma_t + \lambda_m + \varepsilon_{mt}$$

em que:

- m é o indexador de municípios;
- t é o indexador de ano;
- $VAB_{agro_{mt}}$ corresponde ao indicador de impacto definido em 2.2.1;
- α é o parâmetro correspondente ao intercepto do modelo, que capta fatores relevantes para determinar VAB_{agro} cuja influência é comum a todas as

observações — ou seja, comuns a todos os municípios em todos os anos considerados;

- Σ é o somatório com indexador j tomado sobre os anos de 2011 até 2018, excetuando-se o ano de 2014, que é o ano de referência utilizado nas estimações;
- T_m é uma variável indicadora (*dummy*) que assume valor 1 se o município m for um município considerado atingido (isto é, faz parte do grupo atingido) pelo rompimento e 0 em caso contrário (ou seja, se faz parte do grupo de comparação);
- D_j é uma variável indicadora (*dummy*) que assume valor 1 se o indexador j do somatório for igual ao ano t da observação e 0 em caso contrário;
- β_j , com j indo de 2011 a 2018 (exceto 2014), são os parâmetros que representam os estimadores de diferença-em-diferenças para cada ano. O ano de 2014 é tomado como referência, de modo que os β_j expressam o quanto a diferença entre atingidos e não atingidos se modificou entre o ano j e 2014⁴³;
- γ_t é o parâmetro associado ao “efeito fixo” do ano t , que capta o efeito de todos os fatores relevantes para determinar $VABagro$ que são comuns a todos os municípios e aconteceram especificamente naquele ano;
- λ_m é o parâmetro associado ao “efeito fixo” do município m , que capta o efeito de todas as características fixas no tempo de m que são relevantes para determinar $VABagro$;
- ε_{mt} é o termo de erro do modelo, que contém a parte de $VABagro_{mt}$ não explicada pelos demais elementos. Consideradas as demais variáveis independentes, supõe-se que este termo tem média condicional igual a zero.

Os modelos estimados contêm, portanto, sete parâmetros que correspondem a estimadores de diferença-em-diferenças: $\beta_{2011}, \beta_{2012}, \beta_{2013}, \beta_{2015}, \beta_{2016}, \beta_{2017}$ e β_{2018} . De principal interesse para a avaliação de impactos do rompimento, no entanto, são apenas os anos que se referem a momentos posteriores ao rompimento da Barragem de Fundão: 2015⁴⁴, 2016, 2017 e 2018. São estes parâmetros que, satisfeitas as

⁴³ Por este motivo o modelo não contém um parâmetro β_{2014} , já que a diferença do ano 2014 com relação a si próprio é nula por construção.

⁴⁴ Cabe lembrar que o VAB Agro calculado pelo IBGE tem periodicidade anual e diz respeito ao ano de referência como um todo. Assim, para o caso do ano de 2015, como o rompimento da Barragem de Fundão se deu em 5 de novembro, há uma parte deste ano (aproximadamente

hipóteses de identificação do método, informarão o impacto médio do rompimento sobre os municípios atingidos em relação à situação de 2014.

Os parâmetros de diferença-em-diferenças referentes aos anos anteriores ao rompimento são também importantes, pois servem como indicativos de credibilidade da hipótese de tendências paralelas. Como mencionado anteriormente, o método de diferença-em-diferenças exige que a trajetória do indicador de impacto do grupo de comparação seja uma representação aproximada da trajetória contrafactual do grupo atingido. Assim, se ao menos um dos parâmetros pré-rompimento do modelo captar que a diferença entre os indicadores dos grupos é distinta da que se observa em 2014, torna-se muito menos convincente o argumento de que os grupos atingido e de comparação evoluíram de maneira semelhante tivesse o rompimento não ocorrido.

É importante ter em mente que, mesmo se nenhum dos parâmetros pré-rompimento do modelo captar diferenças com relação ao ano de 2014, não é possível afirmar que a hipótese de tendências paralelas é totalmente garantida no período pós-rompimento. Trata-se apenas de um indício de que esta é crível, de forma que as estimativas de impacto têm maior credibilidade quanto à interpretação de relação causal. Mantém-se a ressalva de que para poder interpretar eventuais mudanças observadas nos indicadores de impacto a partir do método de diferença-em-diferenças como impactos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão é preciso que as hipóteses de identificação do método sejam satisfeitas, conforme exposto anteriormente.

Por sua vez, os efeitos do rompimento mensurados a partir do uso de indicadores provenientes do Censo Agropecuário serão estimados a partir do modelo de regressão linear especificado em seguida, na Equação 2:

Equação 2 — Diferença-em-diferenças: especificação para indicadores do Censo Agro

$$Y_{mt} = \alpha + \beta D_{mt} + \gamma_m + \lambda_t + \varepsilon_{mt}$$

onde

- m indexa os municípios;
- t indexa os anos;
- Y_{mt} corresponde ao indicador de impacto Y do município m no ano t ;

dois meses) que é posterior ao rompimento, por isso ele é considerado um momento pós-rompimento.

- D_{mt} é uma variável binária que assume o valor 1 quando m se refere a um dos municípios do grupo atingido no momento pós-rompimento ($t = 2017$) e 0 caso contrário;
- γ_m é o parâmetro associado ao “efeito fixo” do município m , que capta o efeito de todas as características fixas no tempo de m que são relevantes para determinar Y ;
- λ_t é o parâmetro associado ao “efeito fixo” do ano t , que capta o efeito de todos os fatores relevantes para determinar Y que são comuns a todos os municípios e aconteceram especificamente naquele ano;
- β é o parâmetro que recupera o efeito médio do rompimento sobre o grupo atingido no período pós-rompimento;
- ε_{mt} corresponde ao termo de erro do modelo, que contém a parte de Y_{mt} não explicada pelos demais elementos. Consideradas as demais variáveis independentes, supõe-se que este termo tem média condicional igual a zero.

O parâmetro de interesse nesse caso é o β . Satisfeitas as hipóteses de identificação do método, ele informará o impacto médio do rompimento sobre os municípios atingidos ante os do grupo de comparação em relação à situação de 2006.

Um aspecto importante do modelo de regressão ao qual se fez alusão anteriormente é o fato de as estimativas dos parâmetros serem acompanhadas de intervalos de confiança. Estes intervalos descrevem um conjunto de valores ao redor da estimativa que busca levar em conta as incertezas no processo de estimação oriundas da variabilidade de Y entre os municípios ou mesmo de problemas no registro dos dados que alimentam a análise (erros de medida).

Por meio dos intervalos de confiança, é possível avaliar quão precisas são as estimativas obtidas. Um intervalo pequeno significa que, se a magnitude verdadeira estiver dentro do intervalo, então ela estará relativamente próxima ao valor da estimativa. Em contraposição, um intervalo demasiadamente amplo permite que, mesmo se estiver no intervalo, a magnitude verdadeira possa ser bastante diferente da estimativa, tornando esta última pouco informativa⁴⁵.

⁴⁵ Um detalhamento conceitual maior a respeito dos intervalos de confiança e sua intuição pode ser encontrado na página 37 de FGV (2019d).

Nas estimações, assegurou-se que os erros-padrão fossem calculados de forma a acomodar autocorrelação municipal⁴⁶. Ou seja, a capacidade de avaliar a precisão e significância estatística dos estimadores de impacto é preservada mesmo que o resultado de cada município no indicador de interesse seja correlacionado ao longo do tempo. Isto é importante porque os erros-padrão são um componente determinante do tamanho dos intervalos de confiança das estimativas.

3.2 Definição dos grupos

Para que o método de avaliação econométrica de impactos seja capaz de estimar o efeito causal do rompimento, é preciso que seja utilizado um grupo de comparação apropriado, que represente o que teria acontecido com o grupo atingido caso o rompimento não tivesse ocorrido (situação contrafactual). Assim, a proposição de grupos de comparação adequados é um aspecto crucial para a plausibilidade dos resultados da avaliação de impactos.

Nas subseções a seguir, são definidos o grupo atingido e os grupos de comparação utilizados para a avaliação dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão em aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias. Ressalta-se que serão apresentados resultados considerando diferentes grupos de comparação. Ao enfatizar as razões favoráveis e desfavoráveis ao uso de cada um desses grupos de comparação, aumenta-se a transparência e tornam-se explícitos os fatores que devem ser considerados na interpretação dos resultados, entre eles o de que as estimativas são sempre do efeito médio do rompimento sobre os atingidos em relação ao grupo de comparação utilizado.

3.2.1 Grupo atingido

O grupo atingido é composto por 45 municípios atingidos⁴⁷, sendo eles:

- I Em Minas Gerais: Aimorés, Alpercata, Barra Longa, Belo Oriente, Bom Jesus do Galho, Bugre, Caratinga, Conselheiro Pena, Córrego Novo, Dionísio,

⁴⁶ Em outras palavras, os erros-padrão são robustos a heterocedasticidade intra-*cluster*, sendo municípios os *clusters* da análise.

⁴⁷ A lista de municípios atingidos considerada no presente documento é composta por 45 municípios, tendo sido formada a partir da lista de municípios que constam no TTAC (BRASIL, 2016), dos municípios onde se situam nas áreas que constam na Deliberação nº 58 do CIF (CIF, 2017) e Ponte Nova (devido ao distrito de Chopotó ter sido atingido). Ressalta-se que essa lista de municípios atingidos foi utilizada para a produção do presente relatório, não configurando uma lista final de municípios atingidos que serão utilizados nos demais estudos produzidos pela FGV. Ademais, esta lista de municípios atingidos não configura um posicionamento da FGV quanto à delimitação de áreas atingidas para qualquer finalidade.

Fernandes Tourinho, Galiléia, Governador Valadares, Iapu, Ipaba, Ipatinga, Itueta, Mariana, Marliéria, Naque, Periquito, Pingo d'Água, Ponte Nova, Raul Soares, Resplendor, Rio Casca, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Santana do Paraíso, São Domingos do Prata, São José do Goiabal, São Pedro dos Ferros, Sem-Peixe, Sobralia, Timóteo e Tumiritinga; e

- II No Espírito Santo: Aracruz, Baixo Guandu, Colatina, Conceição da Barra, Fundão, Linhares, Marilândia, Serra e São Mateus.

3.2.2 Grupos de comparação

Para compor um grupo de comparação, devem ser levadas em consideração as características dos municípios atingidos com o objetivo de selecionar municípios não atingidos semelhantes. Note que não é necessário que estes sejam similares em todas as dimensões possíveis, mas apenas naquelas consideradas relevantes para que as trajetórias dos indicadores de impacto do grupo de comparação representem quais teriam sido as trajetórias destes indicadores para o grupo atingido caso o rompimento não tivesse acontecido, isto é, sua situação contrafactual.

Dessas características relevantes, algumas podem ser observadas a partir de dados disponíveis (ex.: perfil etário, escolaridade e renda da população), ao passo que outras não, sendo comumente denominadas características “não observáveis” (ex.: qualidade e eficiência da gestão dos serviços públicos, capacidade de resiliência, aspectos culturais). Portanto, ao selecionar o conjunto de municípios que comporá o grupo de comparação, é importante levar em consideração aspectos geográficos, sociodemográficos, socioeconômicos e institucionais que podem ser observados, além de fazer considerações sobre quão razoável seria a homogeneidade entre eles no que se refere a aspectos não observáveis.

A estratégia adotada para selecionar municípios para compor os grupos de comparação faz uso da chamada distância de Mahalanobis, que consiste na elaboração de uma métrica para o grau de similaridade entre os municípios, de modo que os municípios não atingidos que, segundo tal métrica, apresentarem as menores diferenças em relação aos atingidos são os que se decide incluir no grupo de comparação. A motivação por trás desta estratégia é a hipótese de que seriam boas aproximações à situação contrafactual dos municípios atingidos aqueles não atingidos cujas características observadas antes do rompimento eram próximas das dos atingidos. Sendo eles parecidos antes do desastre, espera-se que tivessem continuado assim na ausência do rompimento, podendo então a evolução dos indicadores de impacto do grupo de

comparação ser considerada uma representação aproximada daquela que os atingidos teriam demonstrado em seu cenário contrafactual. A distância de Mahalanobis pode ser calculada a partir da seguinte fórmula:

$$D_{m,n} = [(X_m - X_n)' \Sigma^{-1} (X_m - X_n)]^{\frac{1}{2}}$$

onde

- m e n são indexadores de municípios;
- D é o valor da distância de Mahalanobis;
- X é o vetor contendo os valores das características do município que se considera importante serem similares entre atingidos e não atingidos;
- Σ é a matriz de covariância das características consideradas⁴⁸.

A distância de Mahalanobis sintetiza em um único número o quão diferentes são dois municípios m e n em termos das características consideradas em X , levando ainda em consideração como essas características variam entre os municípios como um todo. Se dois municípios comparados forem semelhantes, a distância de Mahalanobis terá um valor baixo; quanto mais diferentes forem, maior seu valor será.

A distância de Mahalanobis é central para o procedimento de pareamento, por meio do qual efetivamente se constroem os grupos de comparação. Para determinado município atingido, calcula-se a distância de Mahalanobis com relação a cada um dos não atingidos considerados. Os três municípios com as menores distâncias com relação ao atingido em questão são incluídos no grupo de comparação, e passa-se então ao próximo município atingido, com o qual se calculam as distâncias com relação aos não atingidos. O processo se repete até que todos os 45 municípios atingidos tenham feito três pares com não atingidos, resultando em um grupo de comparação de até 135 municípios. Esse procedimento pode ser descrito como um de pareamento de municípios atingidos aos três “vizinhos mais próximos” com reposição, onde “com reposição” reflete o fato de que um município atingido pode ser pareado a um não atingido que já tenha sido escolhido como par para outro atingido em etapa anterior.

Serão feitas análises de robustez dos resultados, variando-se o número de vizinhos considerados no pareamento e o fato de ser com ou sem reposição. Tais resultados serão apresentados no APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção

⁴⁸ Seguindo Imbens e Rubin (2015, p. 342), Σ é calculada como a média ponderada entre a matriz de covariância sobre os municípios atingidos e a sobre os não atingidos, onde os pesos correspondem ao número de municípios existente em cada um dos dois grupos.

4.2 e APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3. Por esse motivo, o ordenamento de municípios atingidos no procedimento de pareamento é sempre definido de maneira aleatória, ou seja, sorteia-se qual será o primeiro dos 45 municípios para o qual se buscarão os três vizinhos mais próximos, depois o segundo e assim por diante, até completar a lista de municípios atingidos. Procura-se evitar assim que os resultados das estimações sejam dependentes de um ordenamento particular dos municípios quando da execução do pareamento.

As variáveis consideradas para o cálculo da distância de Mahalanobis, incluídas no vetor X da fórmula apresentada anteriormente, são descritas na Tabela 3:

Tabela 3 — Variáveis utilizadas para o cálculo da distância de Mahalanobis

Variável	Descrição	Fonte - Ano
Proporção da população com Ensino Médio completo	Proporção de pessoas com Ensino Médio completo considerando a população do município com pelo menos 18 anos de idade em 2010.	Censo Demográfico (IBGE) — 2010
Proporção da população que residia em zonas rurais	Proporção de pessoas que residiam em zona rural na população do município em 2010.	Censo Demográfico (IBGE) — 2010
Proporção da população que estava ocupada	Proporção de pessoas que estavam ocupadas considerando a população do município com pelo menos 10 anos de idade em 2010.	Censo Demográfico (IBGE) — 2010
Proporção de ocupados em atividades de agropecuária e pesca	Proporção de pessoas que trabalhavam em atividades de agropecuária e pesca considerando a população do município com pelo menos 10 anos de idade e que estava ocupada em 2010.	Censo Demográfico (IBGE) — 2010
Renda familiar <i>per capita</i> média (ln)	Logaritmo natural da média da renda familiar <i>per capita</i> do município em 2010.	Censo Demográfico (IBGE) — 2010
Índice de Gini municipal	Índice de Gini para o município em 2010. O índice assume valores de 0 a 1 e mede a desigualdade de renda, calculando o quanto a distribuição de renda entre indivíduos numa economia desviam de uma distribuição perfeitamente igualitária. Quanto maior o valor do índice, maior é a desigualdade.	Censo Demográfico (IBGE) — 2010

Variável	Descrição	Fonte - Ano
População em Idade Ativa (PIA)	Proporção de pessoas no município que fazem parte da População em Idade Ativa (PIA), isto é, com idade entre 14 e 64 anos (incluindo ambos).	Censo Demográfico (IBGE) — 2010
Proporção do VAB Agro municipal no VAB Agro da microrregião (%)	Proporção do VAB agropecuário municipal sobre VAB agropecuário da microrregião.	Produto Interno Bruto dos Municípios (IBGE) — 2014
Proporção de estabelecimentos agropecuários do município com atividade principal sendo as lavouras (%)	Proporção de estabelecimentos agropecuários no município em que a atividade principal realizada no estabelecimento (maior valor de produção da atividade dentre as atividades totais) é a lavoura.	Censo Agropecuário (IBGE) — 2006
Número de estabelecimentos agropecuários no município (ln)	Logaritmo natural do número de estabelecimentos agropecuários localizados no município	Censo Agropecuário (IBGE) — 2006
Área média dos estabelecimentos agropecuários no município (ln)	Logaritmo natural da razão entre a área total dos estabelecimentos agropecuários e o número de estabelecimentos agropecuários do município.	Censo Agropecuário (IBGE) — 2006
Proporção de estabelecimentos agropecuários no município que faziam uso de agrotóxicos	Razão entre o número de estabelecimentos que utilizou agrotóxicos no ano e o número total de estabelecimentos no município.	Censo Agropecuário (IBGE) — 2006
Proporção de estabelecimentos agropecuários no município que faziam uso de corretivos do solo	Razão entre o número de estabelecimentos que utilizou corretivos do solo no ano e o número total de estabelecimentos no município.	Censo Agropecuário (IBGE) — 2006

Fonte: Elaboração própria (2021).

Além das características listadas, o tamanho da população do município em 2010 (calculado a partir de dados do Censo Demográfico (IBGE)) também foi usado na execução do pareamento, porém não por meio de sua inclusão no vetor de variáveis sobre o qual a distância de Mahalanobis é calculada. O procedimento consiste em definir cinco faixas de tamanho populacional distintas, a saber: (i) até 5 mil habitantes; (ii) de 5.001 a 10 mil hab.; (iii) de 10.001 a 20 mil hab.; (iv) de 20.001 a 50 mil hab.; e (v) acima de 50 mil hab. Os municípios, tanto atingidos quanto não atingidos candidatos a pares, são agrupados nessas cinco faixas conforme seu tamanho populacional em 2010. O pareamento com distância de Mahalanobis é então aplicado “dentro” de cada um dos

grupos, de maneira que um município atingido só possa ser pareado a não atingidos que estejam na mesma faixa de tamanho populacional que ele⁴⁹.

A seguir, são apresentadas três alternativas para formar os grupos de comparação que são utilizadas neste relatório. Cabe ressaltar que todas elas são similares às já utilizadas anteriormente nos relatórios de avaliação de impactos do rompimento da Barragem de Fundão em fluxos migratórios e no mercado de trabalho formal dos municípios atingidos elaborados pela FGV em 2020⁵⁰. Elas diferem entre si por considerarem conjuntos de municípios não atingidos distintos nos quais podem ser selecionados os municípios que irão compor o grupo de comparação via pareamento com base na distância de Mahalanobis. A seguir, são descritos cada um deles e apresentadas as respectivas motivações.

Um caminho possível para a construção de um grupo de comparação é selecionar para sua composição os municípios geograficamente próximos dos atingidos, que possuam uma mesma identidade regional. Nesse sentido, opta-se por priorizar a homogeneidade de aspectos ligados a, por exemplo, cultura, instituições e governos, que podem condicionar os processos de ocupação do território, o que afeta os padrões da renda e produção agropecuária. Assim, motiva-se a construção grupo de comparação 1 (GC 1), que é definido a partir do uso do pareamento via distância de Mahalanobis com reposição para selecionar três vizinhos mais próximos para cada município atingido, entre os municípios localizados nas mesmas mesorregiões⁵¹ onde se situam os municípios atingidos. Por restringir o conjunto de municípios que podem ser selecionados para compor o grupo de comparação para aqueles mais próximos dos atingidos, é provável que estes guardem maiores semelhanças aos atingidos, em particular no que se refere a características não observáveis. No entanto, note que o GC 1 pode estar sujeito a eventuais efeitos de transbordamento, mas, caso estes inexistam ou sejam muito pequenos, pode ser considerado um grupo de comparação adequado.

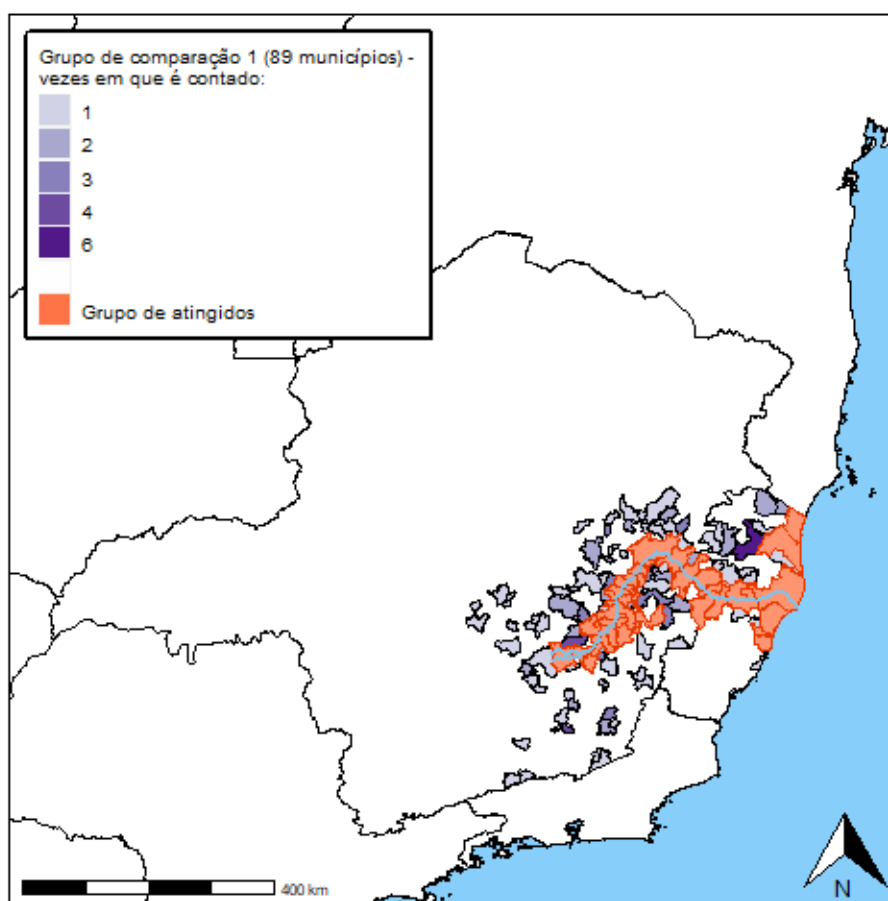
⁴⁹ Quando ocorre de determinada faixa de tamanho populacional não conter municípios não atingidos suficientes para pareamento com todos os atingidos nela existentes, aglutina-se a faixa com a de tamanho imediatamente inferior. Quando este problema ocorre na primeira faixa de tamanho populacional, aglutina-se com a de tamanho imediatamente superior.

⁵⁰ Ver notas de rodapé 34 e 35. A definição dos grupos de comparação na análise é similar à destes dois estudos.

⁵¹ A definição de mesorregião considerada neste capítulo é a apresentada em IBGE (1990, p. 8). Não foram utilizadas as definições das regiões geográficas imediatas e intermediárias de 2017 (IBGE, 2017a) por ela basear-se em informações e características de períodos pós-rompimento da Barragem de Fundão, de forma que não se pode descartar a hipótese de que impactos socioeconômicos do rompimento possam ter influenciado essa proposta de divisões regionais.

Na construção deste grupo de comparação, não foi imposta exigência de que o pareamento de municípios se desse entre aqueles que estivessem localizados na mesma Unidade da Federação e que possuísem a mesma faixa de estimativa de tamanho populacional. Assim, um município atingido, independentemente de pertencer a Minas Gerais ou Espírito Santo, pode ser pareado a qualquer município não atingido localizado nas mesorregiões consideradas. No entanto, além das variáveis consideradas para o cálculo da distância de Mahalanobis previamente citadas, foram incluídas duas outras variáveis: o logaritmo natural ($\ln$) da população do município de acordo com o Censo Demográfico 2010 (IBGE) e uma variável binária de se o município se localiza em Minas Gerais. A Figura 3 exibe os municípios selecionados para GC 1, indicando também a quantidade de vezes com a qual cada município foi selecionado como par de algum dos 45 atingidos.

Figura 3 — Mapa ilustrando o grupo atingido e o grupo de comparação 1 (GC 1)



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE), do Censo Demográfico (IBGE) e de bases cartográficas (ANA e IBGE).
 Observações: O grupo de comparação 1 é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos.

O grupo de comparação 2 (GC 2) é definido a partir do uso do pareamento via distância de Mahalanobis com reposição para selecionar três vizinhos mais próximos para cada município atingido entre os municípios não atingidos de Minas Gerais e Espírito Santo, sul da Bahia e do norte do Rio de Janeiro⁵². A seleção desta área como aquela na qual podem ser selecionados os municípios que irão compor este grupo de comparação motiva-se pela relevância de assegurar homogeneidade em características não observáveis, tal como no GC 1, como aspectos culturais, institucionais e governamentais. Espera-se que as características e o contexto no qual estão inseridos os demais municípios dos dois estados atingidos (Minas Gerais e Espírito Santo) sejam mais parecidos com os dos atingidos que os municípios localizados em outras Unidades da Federação, especialmente naquelas mais distantes, apresentariam. A inclusão de municípios não atingidos no sul da Bahia e no norte do Rio de Janeiro justifica-se pelo fato de que, por serem geograficamente próximos do Espírito Santo, potencialmente guardam semelhanças importantes com os municípios desta localidade, podendo ser uma alternativa importante para a seleção de municípios de comparação para aqueles atingidos deste estado. Isso é particularmente relevante considerando que a quantidade de municípios existentes no Espírito Santo é relativamente pequena (78 no total) e que os municípios atingidos neste estado cobrem grande parte do litoral, de forma que poucos municípios com esse perfil ficam de fora do grupo atingido, o que poderia fazer com que o procedimento de pareamento não promovesse bons pares pela falta de opções adequadas para tal dentro desta Unidade da Federação. A inclusão destas duas áreas, portanto, pretende prover possibilidades mais adequadas de municípios para formar o grupo de comparação considerando os atingidos do Espírito Santo. Além disto, nestas duas áreas há rios de portes semelhantes⁵³ ao do Rio Doce, estando suas respectivas fozes também localizadas ali, de forma que é provável que as dinâmicas socioeconômica e demográfica deles sejam parecidas com as dos atingidos na região da foz do Rio Doce. Note que, assim como o GC 1, o GC 2 pode estar sujeito a eventuais efeitos de transbordamento, mas, caso estes inexistam ou sejam muito pequenos, pode ser considerado um grupo de comparação adequado.

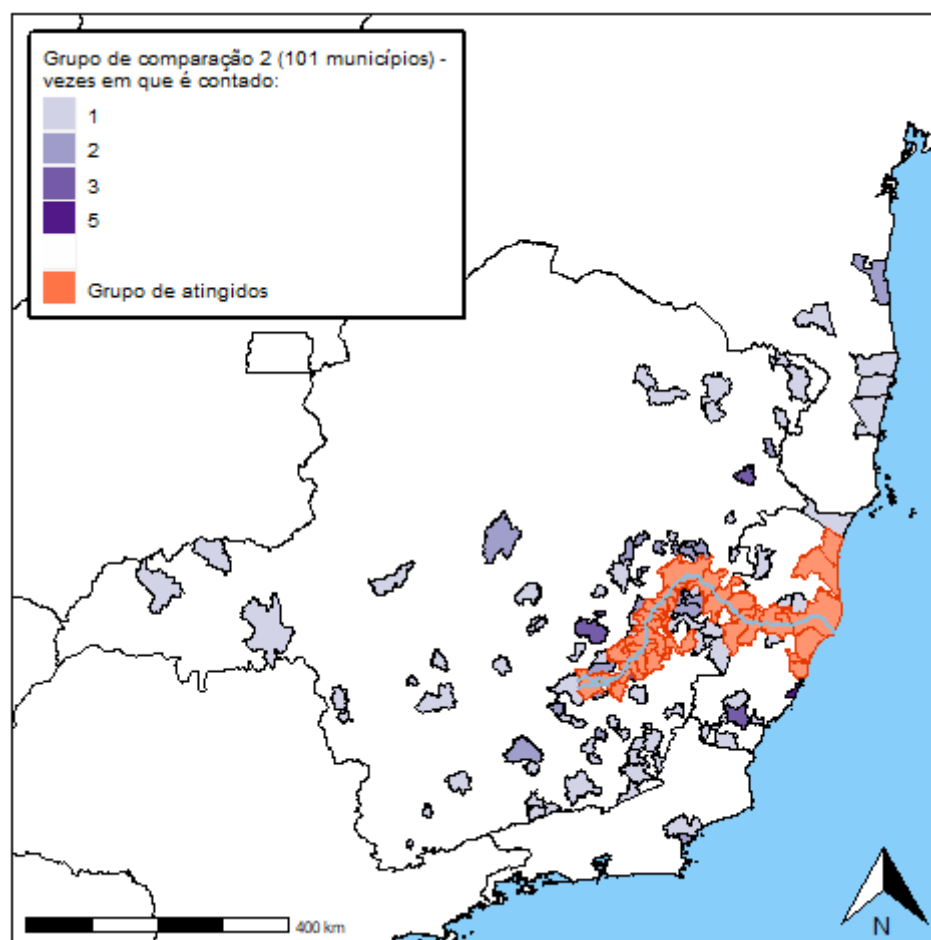
Quanto ao paramento realizado neste caso, determina-se que municípios atingidos de Minas Gerais só possam ser pareados a não atingidos localizados também em Minas Gerais, enquanto os atingidos do Espírito Santo devem ser pareados a não atingidos

⁵² Os municípios da Bahia considerados candidatos a pares são os pertencentes às mesorregiões denominadas “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”. Os do Rio de Janeiro, por sua vez, são aqueles localizados nas mesorregiões “Norte Fluminense” e “Baixadas”. Mais detalhes sobre o conceito de mesorregião são apresentados em IBGE (1990).

⁵³ São eles: rio Jequitinhonha (Bahia), rio Pardo (Bahia) e rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro).

também do próprio Espírito Santo ou com municípios do sul da Bahia ou do norte do Rio de Janeiro. Assim, o uso tanto do tamanho populacional quanto da localização do município faz com que o pareamento com reposição a três vizinhos mais próximos via distância de Mahalanobis seja executado em até 10 subgrupos de municípios.⁵⁴ Este grupo de comparação é ilustrado na Figura 4, indicando também a quantidade de vezes com a qual um município foi selecionado como par de algum dos 45 atingidos.

Figura 4 — Mapa ilustrando o grupo atingido e o grupo de comparação 2 (GC 2)



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE), do Censo Demográfico (IBGE) e de bases cartográficas (ANA e IBGE).
 Observações: O grupo de comparação 2 é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos.

⁵⁴ Da nota de rodapé 49 se extrai o motivo de não serem necessariamente 10 grupos.

O grupo de comparação 3 (GC 3) tem como motivação a possibilidade de que o rompimento da Barragem de Fundão possa ter afetado a dinâmica da renda e produção agropecuária de outros municípios para além dos 45 atingidos, em particular aqueles localizados próximos a eles, cujas economias tendem a apresentar maior interdependência com as dos atingidos. Em outras palavras, pode ser que haja efeitos de transbordamento nos demais municípios localizados em Minas Gerais e Espírito Santo (em inglês, *spillover effects*), por exemplo. Alguns resultados de avaliações de impactos do rompimento realizados pela FGV trazem evidências sugestivas disto, como é o caso dos impactos no mercado de trabalho formal dos municípios atingidos⁵⁵ e do presente relatório, que traz análises específicas sobre isto na seção 4.4.

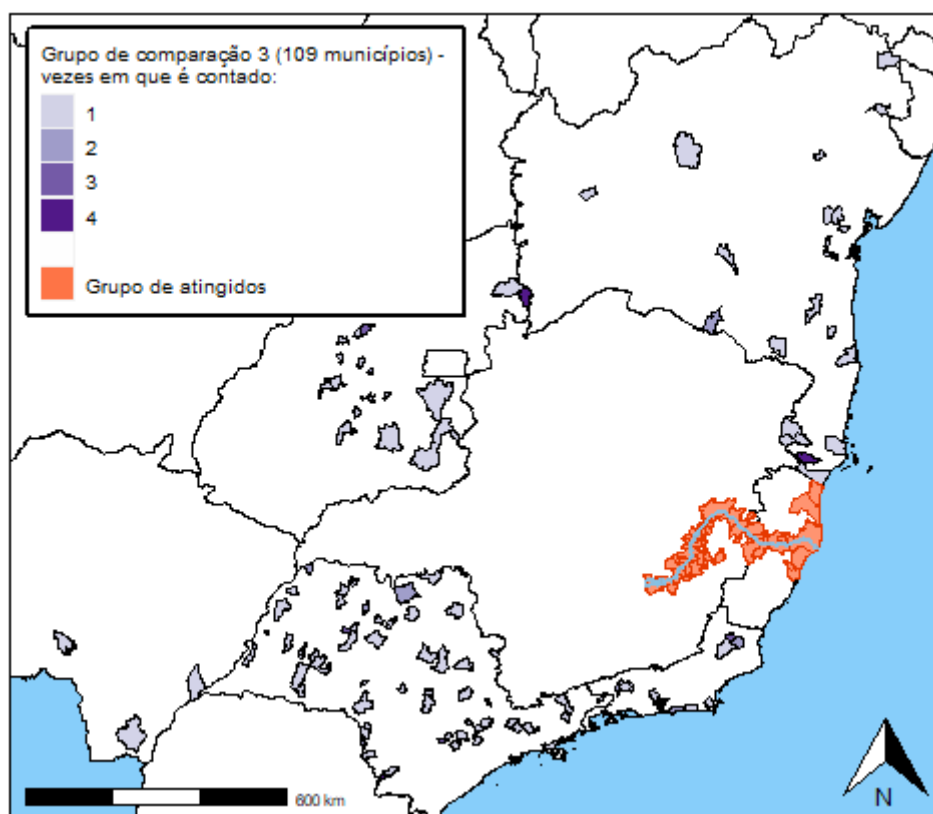
Assim, o grupo de comparação 3 (GC 3) também é definido a partir do uso do pareamento via distância de Mahalanobis com reposição para selecionar três vizinhos mais próximos para cada município atingido, mas entre os municípios localizados em estados vizinhos a Minas Gerais e Espírito Santo, especificamente, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo⁵⁶. Em contraste com o GC 2, neste caso, um município atingido, independentemente de pertencer a Minas Gerais ou Espírito Santo, pode ser pareado a qualquer município não atingido destes cinco estados. Assim, o pareamento com distância de Mahalanobis é executado em até cinco subgrupos de municípios⁵⁷, definidos apenas pelas faixas de tamanho populacional. A Figura 5 ilustra a composição obtida para o GC 3, indicando também a quantidade de vezes com a qual um município foi selecionado como par de algum dos 45 atingidos.

⁵⁵ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Avaliação de impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre o Mercado de Trabalho Formal dos Municípios Atingidos**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020b.

⁵⁶ Ainda foi testado um quarto grupo de comparação (GC 4), onde municípios localizados em todo o território nacional, com exceção dos situados no Espírito Santo e em Minas Gerais, podiam ser selecionados para o pareamento (seguindo a regra de faixas de tamanho populacional). Os resultados encontrados quando se utiliza o GC 4 foram qualitativamente os mesmos dos encontrados ao usar o GC 3. Estes resultados não foram apresentados neste relatório por motivos de concisão, mas podem ser obtidos mediante solicitação aos autores.

⁵⁷ Ver nota de rodapé 49.

Figura 5 — Mapa ilustrando o grupo atingido e o grupo de comparação 3 (GC 3)



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) e do Censo Demográfico (IBGE) e de bases cartográficas (ANA e IBGE).

Observações: O grupo de comparação 3 é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Conforme discutido ao longo da apresentação dos três grupos de comparação, cada um deles possui vantagens e desvantagens, relacionados com possíveis vieses nas estimações. Ao utilizar municípios geograficamente mais próximos (e provavelmente mais semelhantes em termos de aspectos não observáveis, possivelmente reduzindo o viés), há o risco de que haja eventuais efeitos de transbordamento (aumentando o viés), por exemplo. Assim, justifica-se a realização das estimações de impacto utilizando os três grupos, de forma a permitir a comparação dos resultados e observar a robustez dos mesmos quanto à seleção do grupo de comparação.

Sobre a questão de robustez dos resultados, conforme mencionado, duas variações do pareamento descrito anteriormente são executadas para fins de análise de robustez dos resultados das estimações de impacto. A motivação por trás desses pareamentos adicionais é verificar se os resultados das estimações são demasiadamente sensíveis à composição dos grupos de comparação, uma vez que a utilização destes pareamentos alternativos forma novos grupos de controle. Os dois exercícios realizados para promover a variação do processo de pareamento utilizado são: (i) pareamento a três

vizinhos mais próximos sem reposição; e (ii) pareamento a cinco vizinhos mais próximos com reposição. A primeira variação altera o procedimento ao impedir que um município atingido seja pareado a um não atingido que já foi incluído no grupo de comparação. O efeito prático dessa mudança é que, por exemplo, se um dos três pares escolhidos de qualquer município atingido já tiver sido incluído no grupo de comparação, um novo vizinho (o quarto mais próximo) deverá ser buscado para substituir tal par que já havia sido incluído no GC. Com isso, pode haver um aumento de viés (pois se utilizam municípios mais diferentes) mas um aumento na precisão, uma vez que a variabilidade aumenta ao considerar mais municípios diferentes. A segunda variação, por sua vez, mantém a possibilidade de uso de reposição de municípios selecionados para formar o GC, mas aumenta o número de vizinhos selecionados para cada município atingido que devem integrar o grupo de comparação, que vai de três para cinco. Com isso, caso de fato estejam sendo incluídos municípios que não eram incluídos no caso original (três vizinhos), pode haver um aumento de viés (pois se utilizam municípios mais diferentes) mas um aumento na precisão, uma vez que a variabilidade aumenta ao considerar mais municípios diferentes. Os resultados das estimações para fins de análise de robustez são apresentados no APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.2 e APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3.

4 RESULTADOS

Esta seção apresenta as estatísticas descritivas e os resultados das estimações de impacto para cada um dos indicadores listados na seção 2.2. Especificamente, na seção 4.1.1 apresentam-se as estatísticas descritivas das variáveis dependentes utilizadas nas estimações. A seção 4.1.2 reporta os resultados de testes de diferença de médias entre o grupo atingido e os grupos de comparação, considerando variáveis de características observáveis consideradas relevantes, justamente aquelas utilizadas para a estimação da distância de Mahalanobis (detalhadas na seção 3.2.2). Por fim, as seções 4.2 a 4.4 apresentam os resultados das estimações dos impactos.

4.1 Estatísticas descritivas e considerações sobre os grupos de comparação

4.1.1 Estatísticas descritivas sobre os indicadores de impacto

As tabelas desta seção apresentam estatísticas descritivas dos indicadores utilizados na análise dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias. As informações estão separadas por grupos de municípios, isto é, para o grupo dos municípios atingidos e para os três grupos de comparação construídos.

A Tabela 4 apresenta os valores totais do indicador de VAB Agropecuário para cada ano da série de 2011 a 2018, sendo possível observar a soma da variável por grupo de municípios, anualmente. Como o grupo atingido é composto por 45 municípios, mas os três grupos de comparação (GCs) possuem três pares para cada, é natural que a quantidade de municípios seja maior nos três GCs (tais quantidades estão dispostas nos mapas da seção 3.2.2). Pode-se ver pela Tabela 4 que, tanto para os municípios do grupo atingido quanto para os municípios do grupo de comparação 1, os anos com maior soma do VAB Agropecuário foram, respectivamente, 2011, 2014 e 2012, todos prévios ao rompimento. Já analisando os grupos de comparação 2 e 3, os dois anos com maiores somas do VAB Agro foram 2016 e 2017, posteriores ao rompimento. Para lidar com eventuais questões de heterogeneidade temporal e regional, foram incluídos nas estimativas de impactos efeitos fixos de ano e de município.

Tabela 4 — Estatísticas descritivas: somatório do VAB Agropecuário por grupos de municípios, 2011 a 2018 (em mil Reais de 2017)

Ano	Grupo Atingido	Grupo Comp. 1	Grupo Comp. 2	Grupo Comp. 3
2011	1.456.698	2.115.164	3.791.767	5.638.856
2012	1.310.853	1.802.579	3.583.148	5.601.230
2013	1.241.754	1.773.923	3.518.379	5.916.332
2014	1.380.626	1.894.083	3.557.363	5.684.273
2015	1.288.198	1.741.851	3.250.832	5.259.250
2016	1.250.142	1.704.482	4.011.412	6.648.075
2017	1.199.451	1.596.809	3.688.976	6.320.053
2018	1.162.245	1.442.798	3.186.006	5.343.855

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: Valores em mil de Reais de 2017, calculados por meio do deflator implícito do PIB.

A seguir, na Tabela 5, estão disponíveis as descritivas de média, mediana e desvio-padrão do indicador de VAB Agropecuário para cada ano da série de 2011 a 2018. No painel A, onde estão reportadas as médias anuais por grupo de municípios, observa-se que não há uma tendência clara para os grupos de comparação 2 e 3 ao longo dos anos, já que os valores médios possuem uma dinâmica com eventuais crescimentos e quedas ao longo da série. Já para o grupo dos municípios atingidos e para o grupo de comparação 1, observa-se uma queda da média do indicador em praticamente todos os anos da série, inclusive em todo o período pós-rompimento (de 2015 a 2018).

Note também que, para a média e mediana, o grupo dos atingidos apresenta maior similaridade com os GC 1 e 2 do que com o GC 3, que possui, em todos os anos, valores mais altos (painéis A e B). Em termos de heterogeneidade da composição de cada grupo, observa-se no painel C que o grupo 2 é o que apresenta municípios com VAB Agropecuário mais diversos entre si (o desvio-padrão para esse grupo é praticamente o dobro da média para a maioria dos anos), ainda que os demais grupos possuam indícios de serem bastante heterogêneos também, visto que seus desvios-padrão são relativamente altos e superiores à média para todos os anos.

Tabela 5 — Estatísticas descritivas: média, mediana e desvio-padrão do VAB Agropecuário por grupos de municípios, 2011 a 2018 (em mil Reais de 2017)

Ano	Grupo Atingido	Grupo de comp. 1	Grupo de comp. 2	Grupo de comp. 3
Painel A: Média				
2011	32.371	23.766	37.542	51.733
2012	29.130	20.254	35.477	51.387
2013	27.595	19.932	34.835	54.278
2014	30.681	21.282	35.221	52.149
2015	28.627	19.571	32.186	48.250
2016	27.781	19.151	39.717	60.992
2017	26.654	17.942	36.525	57.982
2018	25.828	16.211	31.545	49.026
Painel B: Mediana				
2011	15.396	11.005	15.006	30.042
2012	16.117	9.784	14.776	27.692
2013	13.936	13.546	16.035	31.441
2014	15.271	14.082	16.412	31.507
2015	13.137	12.435	13.722	30.218
2016	13.979	12.233	14.731	33.699
2017	17.042	10.811	14.536	31.638
2018	9.463	9.399	11.847	28.914
Painel C: Desvio-padrão				
2011	47.507	35.046	76.861	59.366
2012	41.855	25.082	80.867	65.694
2013	37.672	20.999	74.225	67.980
2014	42.405	24.806	70.662	60.760
2015	43.671	23.108	59.619	54.452
2016	38.161	20.777	85.218	73.513
2017	38.397	20.140	83.822	74.211
2018	42.935	18.742	64.462	61.162

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: Valores em mil Reais de 2017, calculados por meio do deflator implícito do PIB.

A Tabela 6 apresenta os valores totais do número de estabelecimentos agropecuários⁵⁸ para os dois anos do Censo Agropecuário utilizados no relatório. Nesta tabela, vê-se, portanto, a soma do número de estabelecimentos por grupo de municípios. De maneira geral, observa-se um aumento no número de estabelecimentos por grupo entre os anos de 2006 e 2017 (variação de 10% a 13% aproximadamente, a depender do grupo) — à exceção do grupo de comparação 3, que apresenta uma queda de aproximadamente 8% no número de estabelecimentos agropecuários.

⁵⁸ O indicador *Número de Estabelecimentos_{mt}* corresponde ao número de estabelecimentos agropecuários do município *m* no ano *t*. Na Tabela 6, vê-se o somatório do *Número de Estabelecimentos_{mt}* de todos os municípios que fazem parte do grupo em questão (grupo atingido ou grupo de comparação 1, 2, ou 3).

Tabela 6 — Estatísticas descritivas: somatório do número de estabelecimentos agropecuários por grupos de municípios, 2006 e 2017

Ano	Grupo Atingido	Grupo Comp. 1	Grupo Comp. 2	Grupo Comp. 3
2006	31.542	54.124	75.374	76.043
2017	36.333	61.513	83.665	70.443

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

A Tabela 7 exibe as informações de média, mediana e desvio-padrão dos indicadores: (i) o número de estabelecimentos agropecuários por município; e (ii) a soma das áreas de todos os estabelecimentos agropecuários por município. Essas informações são provenientes do Censo Agropecuário, para os anos de 2006 e 2017. Observa-se no painel A que, tanto em relação ao número quanto em relação à soma das áreas de estabelecimentos agropecuários, o grupo dos municípios atingidos está mais próximo, em termos da média, dos grupos de comparação 2 e 3, apesar de o GC 1 estar geograficamente mais próximo dos atingidos. Isso reforça o fato de que existem características inerentes ao grupo dos municípios atingidos que os tornam distintos dos municípios de seu entorno em relação a essas variáveis e que sua situação contrafactual talvez seja mais bem representada por municípios mais distantes — o próprio fato de os atingidos serem cortados por um importante rio da região seria um exemplo.

Já sobre a heterogeneidade entre os municípios por grupo, analisando os painéis A e C, nota-se que os grupos são relativamente similares com relação a este aspecto — com desvio-padrão variando de 0,77 a 1,23 da média a depender do grupo e do ano. Apesar das similaridades entre os grupos, assim como observado na Tabela 5 para o caso do VAB Agropecuário, o grupo de comparação 3 é o que apresenta maior heterogeneidade — sendo seu desvio-padrão comparativamente maior que os dos demais grupos tanto para a soma das áreas quanto para o número de estabelecimentos.

Tabela 7 — Estatísticas descritivas: média, mediana e desvio-padrão do número de estabelecimentos agropecuários e da soma das áreas destes por município, por grupos de municípios, 2006 e 2017

Indicador	Ano	Grupo Atingido	Grupo de comp. 1	Grupo de comp. 2	Grupo de comp. 3
Painel A: Média					
Número de Estabelecimentos	2006	701	608	746	698
	2017	807	691	828	646
Soma das áreas dos Estabelecimentos	2006	40.790	22.995	40.930	45.694
	2017	46.656	27.802	46.868	46.528
Painel B: Mediana					
Número de Estabelecimentos	2006	523	420	626	487
	2017	468	443	640	421
Soma das áreas dos Estabelecimentos	2006	24.968	18.535	24.286	28.330
	2017	24.880	21.021	29.245	24.185
Painel C: Desvio-padrão					
Número de Estabelecimentos	2006	611	558	594	714
	2017	847	657	713	698
Soma das áreas dos Estabelecimentos	2006	43.986	17.598	46.751	52.942
	2017	50.434	23.242	52.535	57.285

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: Área mensurada em hectares (1 ha = 10.000m²).

Por fim, a Tabela 8 exibe as informações de média, mediana e desvio-padrão dos indicadores de impacto utilizados que são provenientes do Censo Agropecuário, para os anos de 2006 e 2017. Observando, no painel A, as médias de valores da produção, receita e despesa (total e não salarial), nota-se que houve um aumento destes valores em todos os grupos de 2006 a 2017. Em termos das despesas não salariais, apesar de ter ocorrido um aumento em todos os grupos, vale destacar que o aumento para o grupo dos municípios atingidos foi consideravelmente maior, sendo o valor em 2017 3,5 vezes maior que o valor em 2006, enquanto para os outros grupos a variação deste indicador ficou entre 1,87 a 2,6 vezes. Em relação à produção por área, também houve um aumento para todos os grupos de 2006 a 2017. Como no período houve um crescimento da média da soma das áreas dos estabelecimentos agropecuários (reportado na Tabela 7), esse indicador sugere que o crescimento da produção superou o crescimento da área.

Além disso, comparando os valores do painel B com os do painel A, observa-se que os valores das medianas são consideravelmente inferiores aos valores médios para todas as variáveis (menores do que a metade na maioria dos casos). Isso é devido à existência de expressiva heterogeneidade entre os municípios que compõem cada grupo, que é vista também pelos desvios-padrão, reportados no painel C. Em particular, para um

dado grupo, a possível presença de alguns municípios com altas produção, receita e despesas faz com que as médias dessas variáveis para esse grupo cresçam, ao passo que têm pouco efeito sobre a mediana, que é uma medida de posição pouco afetada por valores extremos. À exceção da produção por área, os desvios-padrão reportados são pelo menos iguais ao valor da média, indicando uma composição de municípios diversificados em cada grupo.

Tabela 8 — Estatísticas descritivas: média, mediana e desvio-padrão dos indicadores de impacto derivados do Censo Agropecuário por grupos de municípios, 2006 e 2017 (em mil Reais de setembro/2017)

Indicador	Ano	Grupo Atingido	Grupo de comp. 1	Grupo de comp. 2	Grupo de comp. 3
Painel A: Média					
Valor da Produção	2006	43.337	25.777	42.871	74.786
	2017	58.105	40.805	67.286	97.502
Valor da Receita	2006	38.939	22.644	37.750	72.363
	2017	99.387	47.947	74.052	122.467
Valor da Despesa	2006	28.587	14.676	27.826	48.168
	2017	72.668	32.942	53.087	77.520
Produção por área (mil R\$ por ha)	2006	1,094	1,204	1,022	2,095
	2017	1,125	1,710	1,335	2,458
Despesa não salarial	2006	17.139	9.889	19.926	32.332
	2017	59.924	25.717	41.687	60.426
Painel B: Mediana					
Valor da Produção	2006	17.432	15.620	19.020	31.348
	2017	26.440	22.432	24.984	44.702
Valor da Receita	2006	15.517	11.425	13.843	26.984
	2017	29.977	29.373	34.855	52.649
Valor da Despesa	2006	13.027	8.941	11.377	18.291
	2017	19.101	16.571	19.228	31.465
Produção por área (mil R\$ por ha)	2006	0,708	0,736	0,766	1,015
	2017	0,841	0,972	0,947	1,901
Despesa não salarial	2006	7.250	6.291	7.998	13.532
	2017	15.999	12.954	14.498	23.456
Painel C: Desvio-padrão					
Valor da Produção	2006	64.671	30.092	78.774	99.741
	2017	97.828	54.659	138.531	132.920
Valor da Receita	2006	59.738	29.550	76.557	103.391
	2017	260.153	56.207	138.845	325.515
Valor da Despesa	2006	43.761	17.534	57.431	77.825
	2017	210.479	52.486	129.420	132.570
Produção por área (mil R\$ por ha)	2006	0,953	1,367	0,798	2,981
	2017	0,766	2,401	1,228	2,306
Despesa não salarial	2006	22.090	11.289	43.602	50.135
	2017	190.908	45.539	105.565	104.040

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: Valores monetários em mil Reais de setembro de 2017, calculados por meio do IPCA.

4.1.2 Testes de diferença de médias entre grupos

A seguir, são apresentados os resultados de testes de diferenças de médias entre o grupo atingido e cada grupo de comparação (Tabela 9). Esses testes têm o intuito de analisar quão diferentes são os grupos em termos de características observáveis relevantes em um momento pré-rompimento (especificamente, o ano de 2010 para as variáveis provenientes do Censo Demográfico de 2010, o ano de 2014 para a variável derivada do PIB Municipal e, para as demais, o ano de 2006).

Foram analisadas justamente as variáveis utilizadas para estimar a distância de Mahalanobis usada na definição dos grupos de comparação, conforme detalhado na seção 3.2.2. O teste adotado para verificar o balanceamento entre os grupos é o T de Student, um teste de hipótese operacionalizado para avaliar individualmente se a média de cada uma das variáveis utilizadas no cálculo da distância de Mahalanobis pode ser considerada estatisticamente diferente entre o grupo atingido e cada um dos grupos de comparação. No contexto desta seção, a hipótese nula do teste é que não se pode distinguir entre as médias dos grupos (isto é, elas são iguais). Se, ao realizá-lo, a conclusão for que tal diferença é estatisticamente significativa considerando um determinado nível de significância⁵⁹, rejeita-se a hipótese nula e confirma-se, portanto, que os grupos são diferentes em relação à característica em análise em termos da média. Caso não seja possível rejeitar a hipótese nula, não se pode afirmar que as médias são diferentes entre os grupos.

A estatística que caracteriza este teste de hipótese é a estatística T. A rejeição da hipótese nula ocorre quando, comparada a um valor crítico da distribuição T de Student determinado pelo nível de significância estatística considerado, a estatística T se mostra superior em valor absoluto. Da estatística T calcula-se ainda o p-valor, que serve também como forma de interpretar o resultado do teste de hipótese. Se o p-valor for menor do que o nível de significância considerado, pode-se rejeitar a hipótese nula. Caso contrário, não há evidência suficiente para acreditar que há diferenças entre as médias dos grupos para a característica em análise.

Além do p-valor encontrado por meio do teste T de diferença de médias, também podem-se observar na Tabela 9 os valores das médias e desvios-padrão de cada variável analisada para os grupos atingido e comparação. Nela, GC 1 refere-se ao grupo de comparação 1, GC 2 ao grupo de comparação 2 e GC 3 ao grupo de comparação 3. Sobre p-valor, para cada variável analisada, nesta tabela, ele está preenchido apenas

⁵⁹ Os níveis de significância tipicamente utilizados na literatura de avaliação econométrica de impactos são 10%, 5% e 1%.

nas colunas referentes aos grupos de comparação, uma vez que sempre se refere à comparação entre o grupo atingido e o referido GC.

Nas linhas finais da Tabela 9, há também o resultado de um teste de significância conjunta de um modelo de regressão no qual a variável dependente é a variável indicadora de município atingido (isto é, assume 1 se o município for um dos 45 considerados atingidos, e 0 caso seja um dos municípios do grupo de comparação já selecionados pelo pareamento) e as variáveis explicativas são todas as utilizadas no cálculo da distância de Mahalanobis (listadas nesta mesma tabela). A estatística de teste neste caso é a F (distribuição *Fisher-Snedecor*) e seu valor calculado para cada um dos testes está indicado pela linha “Estatística F”. A hipótese nula é de que as variáveis são conjuntamente irrelevantes para explicar que o município faz parte do grupo atingido. Assim, a rejeição desta hipótese indica que ao menos uma das variáveis é relevante para ajudar a explicar se o município faz parte do grupo atingido ou de comparação em questão.

Tabela 9 — Resultados dos testes de diferença de médias entre grupos e de teste de significância global

Variável	Estatística	Grupo Atingido	GC 1	GC 2	GC 3
<i>Dummy</i> de município localizado em Minas Gerais	Média	0,80	0,83		
	Desvio-padrão	0,40	0,38		
	p-valor		0,66		
Tamanho da população (ln)	Média	9,75	9,45		
	Desvio-padrão	1,33	1,20		
	p-valor		0,19		
Proporção da população na PIA	Média	0,69	0,69	0,69	0,70
	Desvio-padrão	0,02	0,02	0,03	0,02
	p-valor		0,81	0,80	0,03
Proporção da população com Ensino Médio completo	Média	0,26	0,25	0,26	0,30
	Desvio-padrão	0,09	0,08	0,09	0,10
	p-valor		0,46	0,77	<0,01
Proporção da população que residia em zonas rurais	Média	0,24	0,28	0,26	0,21
	Desvio-padrão	0,16	0,17	0,18	0,17
	p-valor		0,21	0,54	0,26
Proporção da população que estava ocupada	Média	0,48	0,49	0,50	0,52
	Desvio-padrão	0,06	0,06	0,05	0,05
	p-valor		0,31	0,07	<0,01
Proporção da população ocupada em atividades de agricultura e pesca	Média	0,27	0,31	0,29	0,23
	Desvio-padrão	0,16	0,17	0,18	0,17
	p-valor		0,23	0,65	0,20
Renda familiar <i>per capita</i> média (ln)	Média	6,30	6,28	6,33	6,46
	Desvio-padrão	0,27	0,27	0,32	0,39
	p-valor		0,66	0,55	0,01
Índice de Gini	Média	0,48	0,49	0,49	0,48
	Desvio-padrão	0,04	0,05	0,05	0,05
	p-valor		0,87	0,29	0,95

Área média por estabelecimento (ln)	Média	3,84	3,70	3,87	4,11
	Desvio-padrão	0,69	0,63	0,72	0,72
	p-valor		0,25	0,84	0,04
Número de Estabelecimentos Agropecuários (ln)	Média	6,14	6,02	6,28	6,15
	Desvio-padrão	0,99	0,94	0,89	0,91
	p-valor		0,48	0,39	0,98
Proporção de estabelecimentos que utilizaram corretivos no ano	Média	0,15	0,15	0,14	0,18
	Desvio-padrão	0,17	0,17	0,16	0,15
	p-valor		0,87	0,93	0,22
Proporção de estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos no ano	Média	0,12	0,12	0,12	0,18
	Desvio-padrão	0,12	0,14	0,14	0,16
	p-valor		0,88	0,81	0,03
Proporção do VAB agro sobre o VAB agro da microrregião	Média	10,37	8,23	9,50	10,25
	Desvio-padrão	11,07	9,09	9,54	11,38
	p-valor		0,24	0,63	0,95
Proporção de estabelecimentos com Lavouras como atividade principal	Média	0,34	0,33	0,31	0,31
	Desvio-padrão	0,24	0,25	0,21	0,21
	p-valor		0,83	0,46	0,55
<i>Teste de Significância Global</i>	<i>Estatística F</i>		1,20	1,57	2,60
	<i>p-valor</i>		0,28	0,10	<0,01

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006, Censo Demográfico (IBGE) de 2010 e do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2014.

Nota-se que: (i) comparando o grupo atingido com o grupo de comparação 1 (GC 1⁶⁰), suas médias não são estatisticamente diferentes considerando o nível de significância de 5% para nenhuma das variáveis utilizadas no pareamento, de modo que o grupo de atingidos e o GC 1 são semelhantes nestas características pré-rompimento; (ii) assim como na comparação do grupo atingido com o GC 1, na comparação do grupo atingido com o GC 2, as médias das variáveis analisadas não se mostraram estatisticamente diferentes entre os grupos, considerando o nível de significância de 5%; e, por fim, (iii) comparando o grupo atingido e o GC 3, e ainda considerando o nível de significância estatística de 5%, suas médias são estatisticamente diferentes para a proporção de população na PIA (menor no grupo atingido, com média de 69% contra 70% do GC 3), para a proporção da população com Ensino Médio completo (também menor para o grupo atingido: 26% vs. 30% do GC 3), para a proporção da população ocupada (menor para o grupo atingido: 48% vs. 52% do GC 3), para o logaritmo da renda familiar *per capita* (menor para o grupo atingido: 6,30 vs. 6,46), para o logaritmo da área média por

⁶⁰ Deve-se lembrar, como já explicado na definição dos grupos de comparação na seção 3.2.2, que no processo de pareamento utilizado para selecionar os municípios que compõem o GC 1 não foram impostas restrições de localização (por UF, por exemplo) ou de tamanho populacional, como nos casos do GC 2 e GC 3. Desta forma, incluiu-se a variável de logaritmo natural (ln) do tamanho da população em 2010 e uma variável binária indicadora de município localizado em Minas Gerais no cálculo da distância de Mahalanobis para a realização posterior do pareamento de municípios para formar o GC 1. Por este motivo, há resultados do teste de diferenças de médias destas duas variáveis nas primeiras linhas da tabela entre o grupo atingido e o GC 1 apenas.

estabelecimento (menor para o grupo atingido: 3,84 vs. 4,11) e para proporção de estabelecimentos que utilizaram agrotóxico no ano de 2006 (menor para o grupo atingido: 12% vs. 18%). Portanto, considerando o nível de significância de 5%, o grupo de comparação 3 (GC 3) tem um número expressivamente maior de variáveis (6) com médias consideradas estatisticamente diferentes das do grupo atingido quando comparado ao demais (GC 1 e GC 2).

Em relação ao teste F, nota-se pela linha indicada com o p-valor associado a este teste que, considerando o nível de significância de 5%, para os casos dos grupos de comparação 1 e 2, não se rejeita a hipótese nula em questão. Isto indica que, entre as características observáveis analisadas, anteriores ao rompimento, não existem diferenças sistemáticas entre os grupos atingido e o GC 1 e atingido e o GC 2. Para o caso em que se compara o grupo atingido com o grupo de comparação 3 (GC 3), entretanto, a hipótese nula é rejeitada a um nível de significância de 1%. Neste caso, existem características observáveis relevantes, anteriores ao rompimento, que ajudam a distinguir, no geral, os municípios atingidos dos municípios deste grupo de comparação. Diante disso, é importante notar que os efeitos fixos de municípios que foram incluídos nas regressões (ver especificação das Equação 1 e Equação 2) são úteis para controlar por características dos municípios que sejam invariantes no tempo e que podem ser diferentes entre os grupos de atingidos e comparação, o que pode ajudar a mitigar essas diferenças encontradas entre os grupos.

É válido também lembrar que, como definido na seção 3.2.2, o grupo de comparação 3 é formado por municípios mais distantes geograficamente dos atingidos e que, como mencionado em tal seção, outro grupo de comparação ainda mais abrangente foi considerado, aquele formado por municípios localizados em todo território nacional (exceto no Espírito Santo ou Minas Gerais) selecionados via pareamento⁶¹. Os resultados das estimações dos modelos seguiram na mesma direção para esse último caso, ainda que os resultados do balanceamento das médias destas variáveis entre o grupo atingido e este grupo de comparação adicional tenham apresentado menos diferenças entre eles⁶².

Por fim, há de se fazer a ressalva de que foi analisado o balanceamento das médias de características entre os grupos somente para as que foram explicitamente incluídas no cálculo da distância de Mahalanobis usada no processo de pareamento para seleção dos grupos de comparação. Não é possível assegurar que os grupos atingido e de

⁶¹ Veja a nota de rodapé 56 para mais detalhes.

⁶² Os resultados destes testes e destas estimações não foram apresentados neste relatório por motivos de concisão, mas podem ser obtidos mediante solicitação aos autores.

comparação sejam similares em aspectos não observáveis e nem mesmo que nos anos pré-rompimento não analisados essa semelhança nas médias das características consideradas observadas na maioria dos casos também se verifique. Assim, novamente, a inclusão de efeitos fixos de municípios nas regressões é útil para controlar características deles invariantes no tempo, independentemente de serem ou não observáveis.

4.2 Resultados das estimações — impactos sobre o conjunto dos 45 municípios atingidos

Esta seção contém as estimativas para o efeito médio do rompimento da Barragem de Fundão sobre os municípios atingidos para cada um dos indicadores de impacto analisados. Como discutido, o resultado que se refere ao indicador de VAB Agropecuário é uma estimação da Equação 1, obtido utilizando cada um dos grupos de comparação, sendo β_{2015} , β_{2016} , β_{2017} e β_{2018} os parâmetros de interesse no que tange a investigar os impactos do rompimento. O resultado desta estimação se encontra na seção 4.2.1.

Além disso, as estimações da Equação 2 se referem a resultados que utilizam os indicadores provenientes do Censo Agropecuário e possuem β como parâmetro de interesse para a investigação de efeitos do rompimento. Estes resultados se encontram na seção 4.2.2.

Em todas as estimações, tanto da Equação 1 quanto da Equação 2, utilizam-se ponderações por frequência com base na quantidade de vezes em que o município do grupo de comparação foi escolhido como par de algum município atingido. Isto ocorre porque o método de pareamento com reposição permite que um mesmo município do grupo de comparação tenha sido selecionado como par para mais de um município atingido. Assim, na prática, é como se ele fosse duas (ou mais) vezes o par de algum atingido. Caso isso não ocorra com muita frequência, os resultados de estimações sem nenhum tipo de ponderação se aproximariam muito dos aqui apresentados. De fato, ao realizar estas estimações sem os pesos, os resultados são bastante similares e não divergem em termos qualitativos⁶³.

⁶³ Tais resultados não são apresentados neste relatório, mas estão disponíveis para envio sob requisição aos autores.

4.2.1 Valor adicionado bruto (VAB) do setor agropecuário

Para os resultados referentes ao indicador de VAB Agropecuário, a apresentação dos mesmos será feita a partir de gráficos, estando os resultados completos disponíveis em tabelas no APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2. Como discutido anteriormente, o ano de 2014, imediatamente anterior ao rompimento da Barragem de Fundão, foi tomado como base de comparação, de maneira que os coeficientes estimados para os outros anos expressam a diferença em relação ao ano de 2014 entre as diferenças do grupo atingido com o de comparação (diferença-em-diferenças). Por conta disso, o coeficiente referente a este ano é propositalmente marcado com o valor zero nos gráficos. Os resultados serão apresentados considerando a comparação entre o grupo atingido e cada um dos grupos de comparação utilizados (GC 1, GC 2 e GC 3).

A Figura 6 ilustra os resultados da estimação do modelo definido na Equação 1 para o indicador de Valor Adicionado Bruto do setor agropecuário (VAB Agro) quando se utiliza cada um dos três grupos de comparação considerados (GC 1, GC 2 e GC 3). Nela, é possível observar os coeficientes estimados para os parâmetros β_j da Equação 1 com j indicado no eixo horizontal, sendo as estimativas pontuais demarcadas pelos círculos e seus intervalos de confiança de 95% (nível de significância de 5%) pelas linhas verticais ao redor de cada círculo. O valor da estimativa do coeficiente pode ser visto no eixo vertical à esquerda. A linha horizontal destacada no zero serve para facilitar a identificação de se o valor estimado pode ser considerado estatisticamente diferente de zero considerando o nível de significância de 5%. Isso acontecerá se o valor zero não estiver contido em seu intervalo de confiança.

Os valores estimados podem ser interpretados como diferenças médias, em %, do VAB Agro no ano j em relação ao ano de 2014, entre o grupo atingido e de comparação. Por conta disso, o coeficiente deste ano é propositalmente marcado com o valor zero. A linha vertical tracejada no ano 2015 demarca o início do período pós-rompimento, justamente o período de interesse para a avaliação de impactos. Os valores estimados para os coeficientes de todas as variáveis incluídas na regressão se encontram em tabelas do APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2. Além disso, no APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.2 estão os resultados das estimações quando consideradas duas outras alternativas de construção dos grupos de comparação. A seção 4.3.1 traz os resultados do modelo quando se considera apenas um recorte específico de municípios atingidos, que são aqueles localizados no Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce.

Pelos gráficos na Figura 6, é possível ver que os coeficientes estimados para os quatro anos posteriores ao rompimento (2015 a 2018) são sempre negativos, indicando que o VAB Agro no grupo atingido foi, em média, menor do que seria se tivesse uma trajetória do indicador desde 2014 como a dos GCs. Entretanto, para os casos quando se utiliza o GC1 e o GC2, tais coeficientes não se mostraram estatisticamente diferentes de zero ao nível de 5%, conforme se vê pelas linhas verticais de seus respectivos intervalos de confiança, que incluem o valor zero. Posto de outra maneira, nenhuma das quatro estimativas para os coeficientes dos anos pós-rompimento quando se usa o GC1 ou o GC2 podem ser consideradas diferentes de zero ao nível de significância de 5% (e também ao nível de 10%).

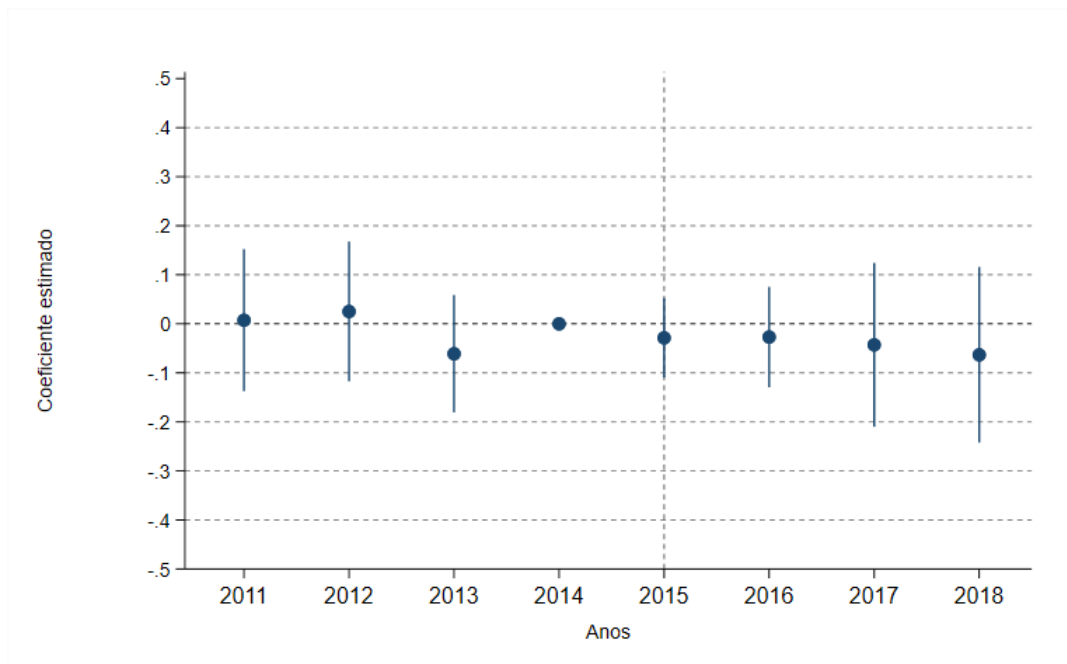
Para o caso em que é utilizado na comparação com o grupo atingido o GC 3, por sua vez, se tem um resultado diferente quanto à significância estatística das variáveis que medem o impacto, como se vê no item (c) da Figura 6, já que os intervalos de confiança dos anos de 2016 a 2018 não incluem o valor zero. Assim, pode-se dizer que os três coeficientes estimados associados a tais anos são estatisticamente diferentes de zero ao nível de 5% (e também o são ao nível de 1%). Em 2016, a estimativa do modelo foi de -0,161, indicando que o VAB Agro no grupo atingido foi aproximadamente 16,1% menor do que seria se a evolução de tal indicador tivesse sido similar à situação contrafactual expressa pelo GC 3, em média. Em 2018, tal redução teria sido de aproximadamente 24,9%, em média. Tomando como base a Tabela 5, nota-se que o VAB Agro médio nos municípios atingidos em 2018 foi de R\$ 25,83 milhões, então estima-se que cada município do grupo atingido teve uma redução em seu VAB Agro de cerca de R\$ 8,56 milhões desde 2014 comparado ao cenário em que sua trajetória tivesse se comportado como a do GC 3⁶⁴. Para os anos de 2016 e 2017, tal perda é estimada em, respectivamente, R\$ 5,33 milhões e R\$ 8,51 milhões, sempre em comparação a 2014⁶⁵.

⁶⁴ Tal valor é calculado da seguinte maneira: $25.828.000 \times \left[1 - \frac{1}{1-0,249}\right] \approx -8.563.000$.

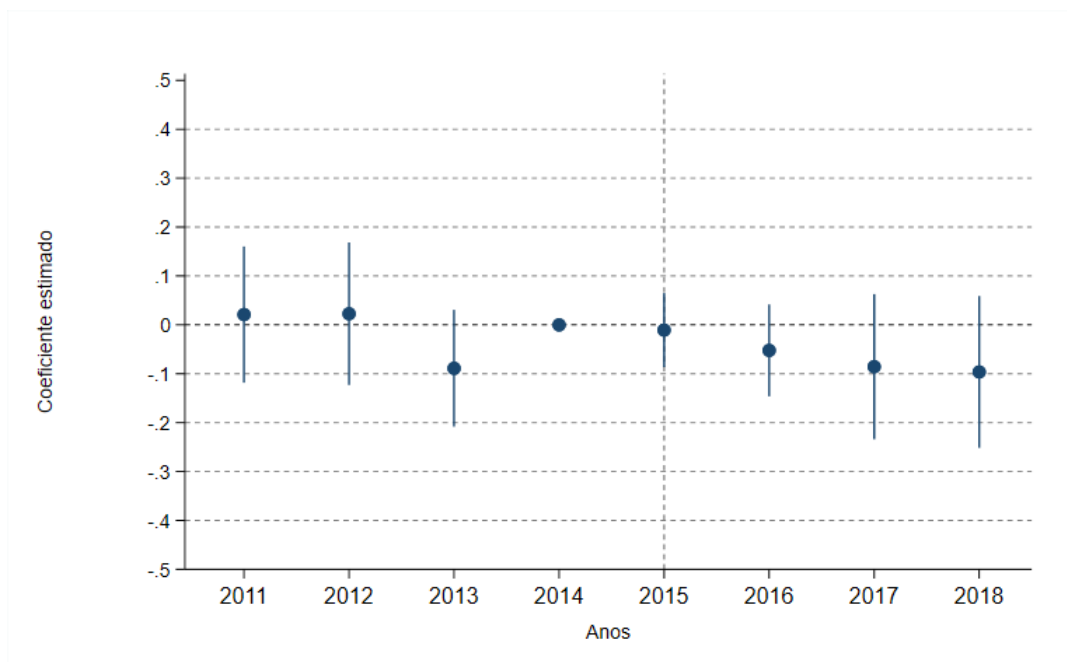
⁶⁵ As duas contas tomam como base os valores médios do VAB agro no grupo atingido em 2016 e 2017, a partir da Tabela 5, e seguem o cômputo análogo ao da nota de rodapé 64.

Figura 6 — Resultados da avaliação de impactos: VAB Agropecuário (ln)

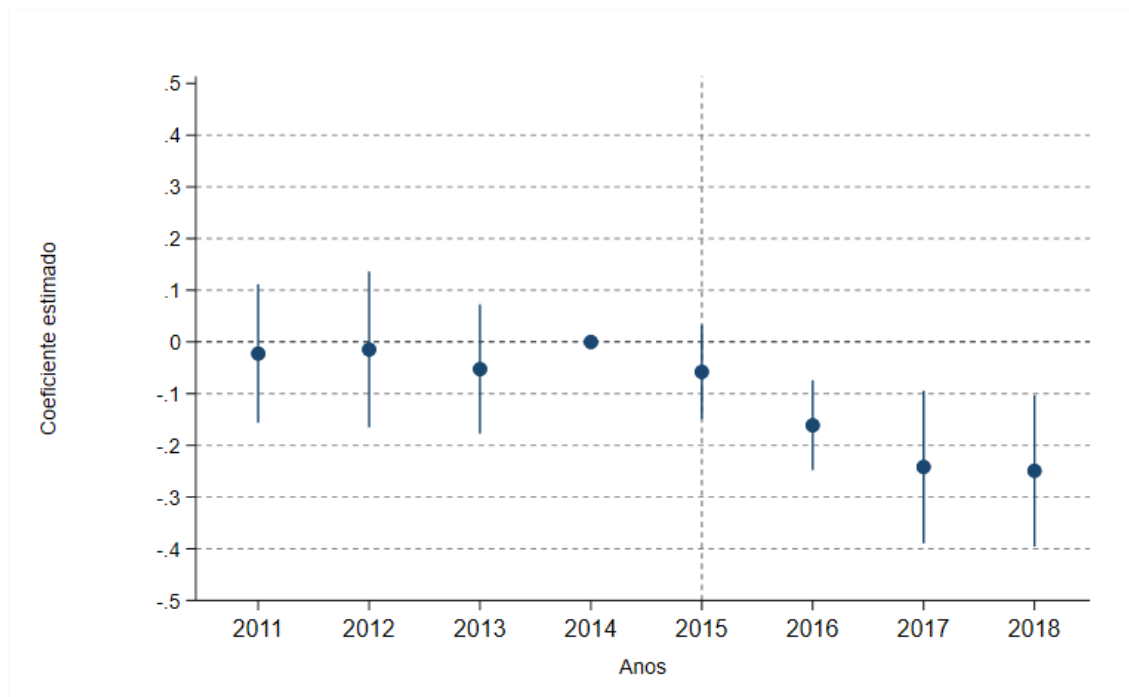
(a) Grupo de comparação 1:



(b) Grupo de comparação 2:



(c) Grupo de comparação 3:



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: Intervalos de Confiança com índice de 95% reportados pelas linhas verticais e estimativas pontuais indicadas pelos círculos. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Além disso, pelos coeficientes estimados para os anos de 2011, 2012 e 2013, momentos prévios ao rompimento, nota-se que nenhum deles é estatisticamente diferente de zero ao nível de significância de 5%, independentemente do grupo de comparação utilizado na análise. Assim, não há evidência de que as trajetórias do indicador de impacto do grupo atingido e dos GCs sejam divergentes antes do rompimento, tornando mais plausível (mas não a garantindo, conforme discutido na seção 3.1.1) a hipótese de tendências paralelas. Assim, a evidência encontrada para a redução do VAB Agropecuário em decorrência do rompimento da Barragem de Fundão, quando se utiliza o GC 3 na análise, se torna mais plausível.

Os exercícios de robustez realizados no APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.2 levam a concluir que tais evidências não são sensíveis à escolha dos municípios que compõem o GC 3, já que os coeficientes estimados para os

anos posteriores ao rompimento para as duas versões alternativas adicionais de pareamento utilizadas são sempre negativos e estatisticamente significantes a 5%, além de possuírem magnitude similar à encontrada nesta seção.

Dessa forma, os resultados encontrados nesta seção servem como evidência de impacto do rompimento da Barragem de Fundão sobre o Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário nos municípios do grupo atingido, tendo havido uma redução em tal indicador. Entretanto, tal impacto somente se verificou ao utilizar na análise o GC 3, que inclui municípios pareados e que se localizam em UFs vizinhas ao Espírito Santo e a Minas Gerais. Quando utilizados municípios do GC 1 ou GC 2, mais próximos geograficamente aos atingidos do que aqueles do GC 3, tal resultado foi similar no sentido de magnitude (redução no VAB Agro), mas não em significância estatística. Este resultado levanta uma hipótese de que o impacto sobre o VAB Agro pode não ter se dado apenas no grupo de 45 municípios atingidos, mas também sobre um grupo mais abrangente de localidades próximas a eles. Possivelmente, os municípios que possuam maior interdependência no setor Agropecuário com os do grupo atingido teriam sofrido tal impacto, e é provável que estes estejam localizados também nas UFs de ES e MG. Portanto, se de fato existe tal transbordamento de impactos do rompimento, a construção do GC 3, discutida na seção 3.2.2, e seu uso nesta avaliação de impactos do rompimento se torna muito relevante. Como será apresentado na seção 4.4, são encontradas algumas evidências sugestivas de que tenha havido alguns efeitos de transbordamento dos impactos do rompimento em outros municípios de Minas Gerais e do Espírito Santo. Assim, o uso do grupo de comparação 3 na avaliação de impacto que mede os efeitos do rompimento sobre os municípios atingidos torna-se ainda mais atrativo, pois pode ajudar a evitar possíveis vieses.

Como discutido na seção 2.2.1, O VAB é composto pela diferença entre duas variáveis: Valor de Produção (*VP*) e Consumo Intermediário (*CI*), definido como $VAB = VP - CI$. Portanto, tal evidência (na comparação com o GC 3) de impacto do rompimento em redução do VAB Agro pode ter como causa, por exemplo, tanto uma queda do *VP* como um aumento do *CI* (ou ainda ambos os movimentos simultaneamente). Ademais, sabe-se que o indicador de Valor Adicionado é uma medida que indica a situação econômica de maneira extremamente agregada, não sendo capaz de apontar para possíveis danos específicos que o rompimento possa ter causado. Assim, é importante que sejam analisados também indicadores e dados de outras fontes, caso do Censo Agropecuário (IBGE). Dessa forma, pode ser possível encontrar alguma evidência da fonte ou de parte do motivo para ter sido observada uma redução no VAB Agropecuário dos municípios do grupo atingido na comparação com o GC 3 no período considerado. A próxima seção

de resultados, 4.2.2, busca evidências sobre a existência de impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre indicadores obtidos a partir de dados do Censo Agropecuário de 2006 (pré-rompimento) e de 2017 (pós-rompimento).

4.2.2 Indicadores derivados do Censo Agropecuário

Esta seção contém os resultados das estimativas da Equação 2 sobre o efeito médio do rompimento da Barragem de Fundão sobre os municípios atingidos para cada um dos indicadores provenientes do Censo Agropecuário. Na análise, β é o parâmetro de interesse no que tange a investigar os impactos do rompimento. Os resultados serão apresentados considerando o uso de cada uma das alternativas de grupos de comparação definidas previamente (GC 1, GC 2 e GC 3). Na seção 4.3.2 este exercício é repetido para um recorte regional específico, considerando apenas municípios do grupo atingido localizados no Alto ou Médio Rio Doce.

A Tabela 10 exibe os resultados da estimação do modelo definido na Equação 2 para os indicadores derivados do Censo Agropecuário quando se utiliza cada um dos três grupos de comparação considerados (GC 1, GC 2 e GC 3), sendo tais grupos indicados pelas colunas (“GC”). Portanto, cada coluna indica o resultado de uma estimação da equação quando considerado na análise aquele grupo de comparação indicado em seu título. Na tabela, é possível observar o coeficiente estimado para o parâmetro β da Equação 2, indicado pela linha “DiD”, com seu respectivo erro-padrão indicado na linha logo abaixo. Além disso, a linha “P-valor” mostra o p-valor associado à estimativa para um teste de significância do coeficiente, isto é, um teste para ver se o coeficiente pode ser considerado estatisticamente diferente de zero. Por fim, a linha “N” indica o número de observações daquela estimação. Para efeitos de visualização, os indicadores foram agrupados em uma mesma tabela. A coluna mais à esquerda indica qual o indicador em questão associado aos resultados.

Justamente devido à transformação $\ln$ aplicada em todos os indicadores, os resultados podem ser interpretados como uma aproximação à variação percentual do indicador. Assim, os coeficientes estimados indicam a diferença média, em %, de cada indicador em 2017 com relação a 2006, entre o grupo atingido e de comparação. Além disso, no APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.2, estão os resultados das estimações quando consideradas as duas alternativas adicionais de método de pareamento usado na construção dos grupos de comparação, realizadas para fins de análise de robustez dos resultados. Ainda, foram realizadas estimações suplementares seguindo o mesmo modelo econométrico para os indicadores de número

de estabelecimentos e de área dos estabelecimentos, cujos resultados se encontram no APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2.

A Tabela 10 reporta, assim, os resultados da estimação considerando os indicadores de Valor da Produção, Valor da Receita, Valor da Despesa, Produção por Área e Valor da Despesa Não Salarial dos estabelecimentos agropecuários. É possível ver que, no caso do indicador Valor da Produção, os coeficientes estimados associados ao impacto do rompimento são sempre negativos (entre -0,035 e -0,116), indicando um efeito médio negativo sobre tal indicador para os municípios do grupo atingido em 2017 em comparação aos três GCs. Entretanto, tal efeito não é distinto de zero considerando níveis estatísticos de 5% ou 10%, como é possível ver na linha do p-valor para cada estimação, indicando que não se pode rejeitar que o impacto seja igual a zero para este indicador. Os resultados para o indicador de despesa (terceira linha da tabela) são similares, já que todos os coeficientes foram estimados com sinal positivo (valores entre 0,081 e 0,254, em média), mas as respectivas variáveis, que medem o impacto do rompimento, não são estatisticamente significantes a 5% (no caso do uso do GC 3, a significância ocorre a 10%).

Para o indicador de receita, o coeficiente estimado é positivo quando a comparação é feita com o GC 3, mas a respectiva variável não é estatisticamente significativa. Assim, tomando como base a trajetória deste grupo de comparação, não é possível dizer que o grupo atingido teria o Valor da Receita se comportando de maneira diferente em 2017 a um nível de significância de 5%. Ainda analisando a trajetória deste indicador, a comparação dela no grupo atingido com a dos grupos de comparação 1 e 2 indica que o grupo atingido teve uma redução no valor da receita, na ordem de 27% se comparado ao GC 1, ou 25,5% se comparado ao GC 2 (em média). Estes resultados, em contraponto ao resultado da comparação com o GC 3, possuem significância estatística a 5%. Desta forma, tomando como base a Tabela 8, vê-se que a média do Valor da Receita para os municípios atingidos foi cerca de R\$ 99,39 milhões em 2017, então estima-se que cada município do grupo atingido teve uma redução neste indicador na ordem de R\$ 36,76 milhões (usando o GC 1 na avaliação) ou R\$ 34,02 milhões (usando o GC 2 na avaliação), em média, desde 2006 comparado ao cenário em que sua trajetória tivesse ficado similar às do GC 1 ou GC 2⁶⁶.

⁶⁶ Estas contas utilizam a mesma metodologia explicitada na nota de rodapé 64.

Tabela 10 — Resultados da avaliação de impactos: indicadores derivados do Censo Agropecuário

Indicador		GC 1	GC 2	GC 3
Valor da Produção (ln)	DiD	-0,116	-0,063	-0,035
	Erro-padrão	0,113	0,107	0,113
	P-valor	0,303	0,559	0,756
	N	360	360	360
Valor da Receita (ln)	DiD	-0,27	-0,255	0,062
	Erro-padrão	0,119	0,123	0,12
	P-valor	0,025	0,04	0,607
	N	360	360	360
Valor da Despesa (ln)	DiD	0,081	0,194	0,254
	Erro-padrão	0,147	0,147	0,152
	P-valor	0,584	0,189	0,097
	N	360	360	360
Produção por Área (ln)	DiD	-0,176	-0,139	-0,326
	Erro-padrão	0,106	0,098	0,108
	P-valor	0,10	0,158	0,003
	N	360	360	360
Valor da Despesa não salarial (ln)	DiD	0,174	0,322	0,362
	Erro-padrão	0,168	0,167	0,171
	P-valor	0,303	0,056	0,036
	N	360	360	360

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos à autocorrelação municipal.

Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Além disso, encontram-se impactos negativos do rompimento sobre o indicador de produção por área, já que os coeficientes estimados do modelo de diferenças-em-diferença são sempre negativos (entre -0,139 e -0,326). No caso da comparação com o GC 1 e com o GC 2, tal impacto não pode, a 5% (e nem a 10%), ser dito estatisticamente diferente de zero. Na comparação com o GC 3, entretanto, a variável que mede o impacto é estatisticamente significativa a 5% (e também a 1%), o que aponta para um impacto do rompimento sobre este indicador para o grupo atingido, em comparação ao GC 3. Especificamente, tem-se que a Produção por área foi, em média, 32,6% menor do que seria nos municípios do grupo atingido, em 2017, se sua trajetória desde 2006 tivesse seguido como a do grupo de comparação 3. Usando o valor médio deste indicador em 2017, disponível na Tabela 8, estima-se que a magnitude do efeito é de uma redução, em média, em cerca de 0,54 mil Reais por hectare para cada município

do grupo atingido tomando como comparação o cenário em que sua trajetória fosse similar à do mesmo indicador para o GC 3⁶⁷. Ainda sobre isto, cabe mencionar que os resultados do APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2 mostram que, também utilizando-se o GC 3 na avaliação de impactos, para um indicador de área dos estabelecimentos agropecuários há uma evidência de aumento em 2017, em média, do mesmo para os municípios do grupo atingido. Portanto, a redução aqui encontrada para o indicador de produção por área pode estar associada a dois resultados que o afetam em simultâneo: (i) aumento da área dos estabelecimentos do grupo atingido em comparação ao que se observa para GC 3 ao longo do período; e (ii) ausência de diferença entre a trajetória do indicador de valor da produção para o grupo atingido e a trajetória deste indicador para o GC 3.

O último indicador derivado do Censo Agropecuário analisado, Valor da Despesa Não Salarial, também apontou para uma evidência de impacto estatisticamente significativa quando utilizado o grupo de comparação 3 na avaliação — ainda que, quando se usam os GC 1 e GC 2, o sinal tenha sido na mesma direção, as respectivas variáveis não são estatisticamente significantes a 5%. Neste caso, o coeficiente positivo estimado em 0,362 aponta para um aumento em cerca de 36,2% no valor do indicador para municípios do grupo atingido em 2017 em relação a 2006, quando comparados ao GC 3, em média. Especificamente, considerando este cenário, o aumento na despesa não salarial seria na ordem de R\$ 15,93 milhões, em média, para um município do grupo atingido⁶⁸. Vale lembrar que a motivação de tal indicador está no fato de que ele pode ser um bom indicativo da situação do Consumo Intermediário (*CI*), variável importante na determinação do VAB e que o influencia negativamente. Assim, se de fato a despesa não salarial consegue ser uma boa medida do *CI*, então o resultado de impacto em aumento deste indicador está alinhado com a redução no VAB Agro, visto na seção anterior.

Exercícios de robustez para fins de análise da sensibilidade destes resultados quanto à maneira como foram escolhidos os municípios que compõem os grupos de comparação foram realizados e corroboram as evidências encontradas nesta seção, já que seus resultados estão alinhados com os aqui expostos. Eles estão disponíveis no APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2.

Em suma, as evidências encontradas sobre possíveis efeitos do rompimento da Barragem de Fundão sobre os indicadores derivados do Censo Agropecuário apontam

⁶⁷ Este cômputo utiliza a mesma metodologia explicitada na nota de rodapé 64.

⁶⁸ Tal cômputo aqui realizado utiliza a mesma metodologia explicitada na nota de rodapé 64 e tem como base a média do indicador em 2017 exibida na Tabela 8.

para impactos nos municípios do grupo atingido nos seguintes casos: (i) quando comparados ao GC 3, uma redução na produção por área e aumento na despesa não salarial; e (ii) quando comparados ao GC 1 e GC 2, uma redução no valor da receita. Vale lembrar que foi utilizado o método de diferença-em-diferenças, tal que a comparação de cada indicador de impacto entre o grupo atingido e o GC é feita em dois períodos: antes e depois do rompimento, sendo comparadas, portanto, suas respectivas trajetórias ao longo do tempo.

Dos primeiros resultados, destaca-se o fato de que o indicador de produção por área está com uma situação pior do que estaria, caso sua trajetória entre 2006 e 2017 fosse similar à observada para o GC 3, possivelmente por conta do aumento da área dos estabelecimentos agropecuários dos municípios do grupo atingido (resultado este disponível no APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2) e da similaridade das trajetórias do valor da produção entre o grupo atingido e o GC 3. Isso evidencia o fato de que, mesmo com um crescimento da soma das áreas dos estabelecimentos agropecuários nos municípios do grupo atingido, o valor da produção se manteve igual ou até se reduziu (já que os coeficientes foram sempre negativos para o indicador de valor da produção), não acompanhando tal “expansão”⁶⁹. Nas análises da seção 4.4.2, os resultados indicam que, quando o GC 1 ou GC 2 são definidos como grupo “atingido”, e não os 45 municípios originais, na comparação deste mesmo indicador de 2006 a 2017 contra um grupo de comparação construído de forma similar ao GC 3, houve redução da produção por área nestes dois conjuntos de municípios. No caso do GC 2, tal resultado é estatisticamente diferente de zero ao nível de 5% de significância. Assim, é possível que tenha ocorrido algum efeito de transbordamento sobre tal indicador, para além do grupo atingido.

Sobre o aumento da despesa não salarial, sabe-se que este resultado vai de encontro com o resultado de queda do VAB Agro, sendo o impacto encontrado estatisticamente significativo apenas quando se utiliza o GC 3 para fazer a avaliação. Isso porque o VAB Agro é afetado negativamente pelo Consumo Intermediário (*CI*) e, por sua vez, a despesa não salarial é uma medida criada justamente com a motivação de captar a dinâmica do *CI*. Assim, tal aumento na despesa não salarial poderia estar refletindo um aumento do *CI* e este, por sua vez, acaba refletindo em redução do VAB Agro. Como não houve evidência sobre mudanças no Valor da Produção do Censo Agro quando

⁶⁹ Como evidenciado pelo APÊNDICE A, tal expansão parece ser oriunda da expansão do número de estabelecimentos agropecuários no grupo atingido na comparação dele com o GC 3, e não uma expansão do tamanho médio dos estabelecimentos agropecuários.

utilizado o mesmo GC, supondo que este indicador seja uma medida razoavelmente próxima do Valor de Produção (*VP*) que compõe o VAB, é corroborada a hipótese de que é a mudança na despesa não salarial que explica a queda do VAB Agropecuário⁷⁰. Note que esta é apenas uma sugestão do mecanismo que pode explicar, parcialmente, a queda verificada no VAB Agro, desde que a despesa não salarial seja de fato uma boa medida do *CI*. Nas análises da seção 4.4.2, os resultados indicam, quando o GC 1 ou GC 2 são definidos como grupo “atingido”, na comparação deste mesmo indicador de 2006 a 2017 a um grupo de comparação construído de forma similar ao GC 3, que também houve aumento da produção por área nestes dois conjuntos de municípios. No caso do GC 1, tal resultado é estatisticamente diferente de zero ao nível de 5% de significância. Assim, é possível que tenha ocorrido algum efeito de transbordamento sobre tal indicador para além do grupo atingido.

Do resultado de queda do Valor da Receita, verificado ao comparar a trajetória deste indicador para o grupo atingido com a trajetória do mesmo indicador para os casos do GC 1 e GC 2, é preciso também levar em conta o fato de que não foram encontrados impactos para o Valor da Produção quando utilizados os mesmos GCs. Assim, ainda que em termos do valor da produção as trajetórias do grupo atingido e grupos de comparação 1 e 2 tenham sido similares de 2006 a 2017, o valor da receita dos municípios do grupo atingido teria sido maior caso a trajetória deste indicador tivesse sido similar às trajetórias do mesmo para o GC 1 e para o GC 2. Sabe-se que as maiores diferenças entre a composição do valor da produção e do valor da receita é o fato de que, no segundo, apenas as vendas estão contempladas (conforme as definições em 2.2.2 e 2.2.3), ao passo que, no primeiro, além das vendas, está contemplado o valor da produção de produtos que não foram vendidos. Diante disso, um possível mecanismo para explicar tal resultado na queda do valor da receita do grupo atingido diante do GC 1 e GC 2 seria de que os valores referentes às vendas dos estabelecimentos agropecuários localizados em municípios do grupo atingido ficaram menores após o rompimento, em comparação aos dos municípios do GC 1 e do GC 2. Como esta queda no valor da receita diante dos GCs não acontece quando se considera o GC 3, que inclui apenas municípios pareados localizados em UFs vizinhas à ES e MG, supõe-se que pode haver alguma espécie de efeito de competição local entre municípios do grupo atingido e os dos GCs formados por municípios localizados geograficamente mais próximos a ele. Por exemplo, é possível que nos municípios do GC 1 e do GC 2 agora

⁷⁰ Na hipótese de que o indicador Valor da Produção analisado seja realmente uma boa aproximação do *VP* do VAB, o resultado de que o impacto do rompimento sobre tal indicador não foi estatisticamente significativo sugere que não seria uma possível queda do *VP* que estaria fazendo com que o VAB estivesse caindo (uma vez que $VAB = VP - CI$).

haja maior preferência por consumir produtos derivados da agropecuária não provenientes de municípios do grupo atingido, por conta de possíveis riscos de contaminação e incerteza quanto à adequação para consumo dos mesmos. Também por conta de motivos similares, tal efeito de redução do valor da receita diante dos GC 1 e GC 2 poderia ser decorrente de um aumento do preço de tais produtos produzidos nos municípios do GC 1 ou no GC 2, ou ainda de uma redução nos preços de produtos produzidos em municípios do grupo atingido⁷¹. Na seção 4.4, encontram-se evidências de que de fato os municípios que compõe o GC 1 e o GC 2 teriam tido aumento no valor da receita de 2017 em relação a 2006, quando comparados a um grupo de comparação específico, construído de maneira similar ao GC 3, o que pode servir como evidência favorável a essas hipóteses levantadas.

4.3 Resultados das estimações — análise de heterogeneidade nos impactos para municípios atingidos do Alto e Médio Rio Doce

Esta seção contém os resultados das estimações dos modelos de regressão a partir da Equação 1 e da Equação 2 para um recorte específico de municípios atingidos: apenas aqueles localizados nos no Alto Rio Doce⁷² ou no Médio Rio Doce⁷³.

Esta escolha se baseia na importância do setor agropecuário dentro da dinâmica econômica dos municípios, que pode ser vista a partir da comparação entre o Valor Adicionado Bruto do setor agropecuário e do Valor Adicionado Bruto total⁷⁴. Para tal, cria-se uma razão entre as duas variáveis e, quanto maior (em %) for a medida, maior

⁷¹ Outra hipótese seria um aumento da produção para consumo próprio entre os municípios do grupo atingido maior do que o dos municípios do GC 1 e do GC 2. Neste caso, uma produção que antes seria vendida passa a ser consumida pelos produtores e, por conta disso, verifica-se uma queda no valor da receita, já que agora menos vendas acontecem. Algumas métricas da produção para autoconsumo foram consideradas, conforme em Grisa e colaboradores (2013), mas para calculá-las seria preciso que os dados do Censo Agropecuário estivessem em nível de estabelecimentos, o que não é o caso desse relatório.

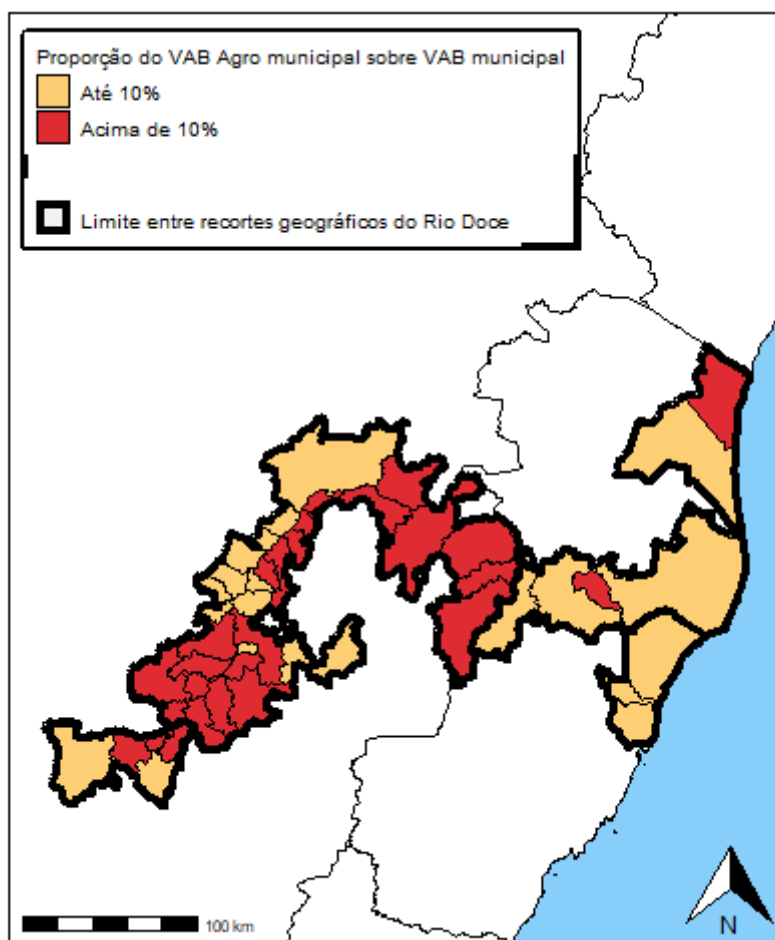
⁷² Contém cinco municípios mineiros, sendo eles: Mariana, Barra Longa, Ponte Nova, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado.

⁷³ Incluem-se 31 municípios de Minas Gerais, a saber: Raul Soares, São Domingos do Prata, São José do Goiabal, Santana do Paraíso, Marliéria, Ipatinga, Pingo D'água, Naque, Periquito, Sobralia, Timóteo, São Pedro dos Ferros, Sem-Peixe, Dionísio, Fernandes Tourinho, Córrego Novo, Iapu, Ipaba, Bom Jesus do Galho, Bugre, Belo Oriente, Caratinga, Rio Casca, Resplendor, Ituaeta, Tumiritinga, Conselheiro Pena, Galiléia, Governador Valadares, Aimorés e Alpercata.

⁷⁴ O VAB total é composto pela soma do VAB de todos os setores, inclusive o agropecuário. Portanto, quanto maior for o % do VAB agro em relação ao VAB total, maior é a importância do setor agropecuário dentro da dinâmica da economia do município, pela ótica deste indicador.

assume-se que é a importância do setor agropecuário naquele município, a partir de tal ótica. Assim, entende-se que os possíveis efeitos do rompimento da Barragem de Fundão sobre a renda e produção agropecuários podem ser maiores em regiões onde tal setor é mais importante na dinâmica econômica. O mapa da Figura 7 ilustra, para os 45 municípios atingidos, o resultado deste indicador com base nos valores do VAB Agro e no VAB total de 2014, ano imediatamente anterior ao rompimento. Nele, é indicado pelas cores dos municípios se tal medida fica acima ou abaixo de 10% e nos contornos destacados, os limites entre recortes geográficos dos municípios: Alto Rio Doce e Médio Rio Doce, Baixo Rio Doce⁷⁵ e Litoral Adjacente⁷⁶.

Figura 7 — Razão VAB Agro e VAB total nos municípios atingidos



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2014.

⁷⁵ Contém quatro municípios do Espírito Santo: Linhares, Marilândia, Baixo Guandu e Colatina.

⁷⁶ Composto por cinco municípios do litoral capixaba, a saber: Conceição da Barra, São Mateus, Fundão, Serra e Aracruz.

Pode-se notar que nos dois recortes geográficos de municípios localizados no Espírito Santo, Baixo Rio Doce e Litoral Adjacente, quase todos os municípios possuem este indicador abaixo de 10%⁷⁷. Nos recortes do Alto Rio Doce e Médio Rio Doce, nota-se que a maioria dos municípios tem tal indicador com valor maior que 10%. Assim, entende-se que, em um momento imediatamente anterior ao rompimento, estes dois recortes geográficos de municípios são mais dependentes economicamente do setor agropecuário do que os recortes do Baixo Rio Doce e Litoral Adjacente. Portanto, os resultados que seguem para esta seção são referentes às estimativas da Equação 1 e da Equação 2, conforme feito na seção 4.2, mas apenas para a amostra de municípios atingidos localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce.

Em relação aos grupos de comparação, necessários para a realização da avaliação destes possíveis impactos heterogêneos do rompimento, foi realizado um novo processo de pareamento, específico para essa amostra, que configura um novo grupo atingido (formado pelos 36 municípios de interesse para essa investigação). Especificamente, para a realização do pareamento, segue-se como descrito na seção 3.2.2: calculam-se as distâncias de Mahalanobis, a partir das quais se selecionam três municípios não atingidos para cada um dos que compõem o novo grupo atingido, sendo tais municípios não atingidos localizados em algum recorte geográfico específico (similares aos do GC 1, GC 2 ou GC 3 descritos na mesma seção mencionada), também permitindo-se que haja reposição.

As tabelas suplementares destas estimações estão localizadas no APÊNDICE B — Tabelas suplementares da seção 4.3. No APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3 é realizado um exercício similar de robustez dos resultados ao variar-se a metodologia de pareamento utilizada para selecionar os municípios que compõem os grupos de comparação.

4.3.1 Valor adicionado bruto (VAB) do setor agropecuário

A Figura 8 ilustra os resultados da estimação do modelo definido na Equação 1, da mesma forma que a Figura 6, para o indicador de Valor Adicionado Bruto do setor agropecuário (VAB Agro) quando se utiliza apenas a amostra de municípios atingidos localizados nos recortes geográficos do Alto ou Médio Rio Doce e seus respectivos três grupos de comparação (GC 1, GC 2 e GC 3). Novamente, os valores estimados podem ser interpretados como diferenças médias, em %, do VAB Agro no ano j em relação ao

⁷⁷ Para o caso dos municípios localizados no recorte do Litoral Adjacente em 2014, por exemplo, o VAB Agro em relação ao VAB total está em torno de 1%, enquanto o VAB da indústria na mesma região era 32,5% do VAB total (FGV, 2019a).

ano de 2014, entre o grupo atingido e de comparação. Por conta disso, o coeficiente deste ano é propositalmente marcado com o valor zero. Os resultados completos destas estimações se encontram em tabelas do APÊNDICE B — Tabelas suplementares da seção 4.3. Além disso, no APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3, estão os resultados das estimações quando consideradas as duas alternativas adicionais de construção dos grupos de comparação, propostas para fins de análise de robustez.

Pelos gráficos na Figura 8, é possível ver que os coeficientes estimados para os quatro anos posteriores ao rompimento (2015 a 2018) são sempre negativos, independentemente do grupo de comparação que tenha sido usado na análise. Tal como nos resultados da seção 4.2.1, isto aponta para que o VAB Agro foi, nos municípios do grupo atingido localizados no Alto Rio ou Médio Rio, em média, menor do que seria se tivesse uma trajetória do indicador desde 2014 como a dos GCs. Assim como nos resultados para o conjunto dos 45 municípios (seção 4.2.1), tomando o GC 1 ou o GC 2 como grupos de comparação, tais coeficientes não se mostraram estatisticamente diferentes de zero ao nível de 5% de significância (e também ao nível de 10%), conforme se vê pelas linhas verticais de seus respectivos intervalos de confiança, que incluem o valor zero.

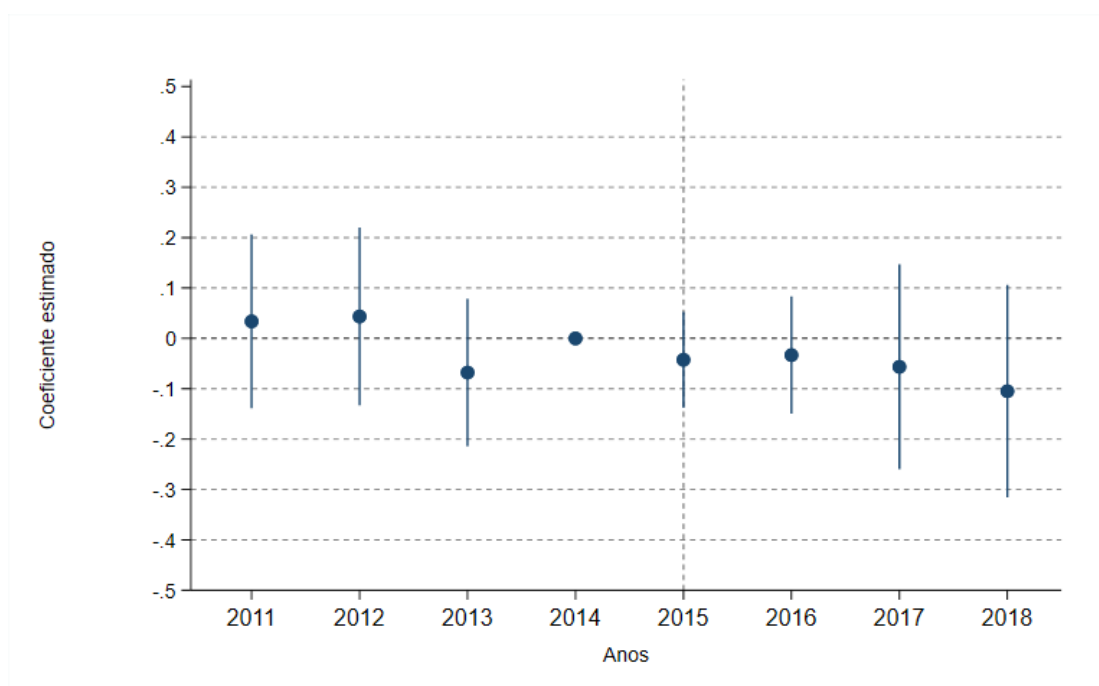
Novamente se vê, quando se utiliza o GC 3 para fazer a avaliação de impactos, um resultado diferente quanto à significância estatística dos impactos. Pela imagem (c) da Figura 8, nota-se que os intervalos de confiança associados aos anos de 2017 e 2018 não incluem o valor zero. Assim, pode-se dizer que os dois coeficientes que medem o impacto em cada um desses dois anos são estatisticamente diferentes de zero ao nível de 5%. Para 2017, a estimativa do modelo foi de -0,216, indicando que o VAB Agro no grupo atingido foi, em média, aproximadamente 21,6% menor do que seria se a evolução de tal indicador tivesse sido similar à situação contrafactual estimada por meio da observada para o GC 3. Em 2018, tal redução teria sido de aproximadamente 28,5%, em média.

Comparando esses resultados com os encontrados para o conjunto dos 45 municípios atingidos, tem-se que o impacto encontrado sobre o VAB Agro dos 36 municípios do Alto Rio Doce e do Médio Rio Doce devido ao rompimento, em comparação ao GC 3, parece se tornar cada vez maior ao longo dos anos, ao passo que, para o caso dos 45 municípios atingidos, tinham-se coeficientes bastante similares para os anos de 2017 e 2018, ainda que aumentassem em relação a 2016.

O VAB Agro médio nos municípios atingidos localizados no Alto Rio Doce ou no Médio Rio Doce em 2018 foi de R\$ 12,93 milhões, então estima-se que cada município do grupo atingido em tal recorte geográfico teve uma redução em seu VAB Agro de cerca de R\$ 5,15 milhões desde 2014 comparado ao cenário em que sua trajetória tivesse se comportado como à do GC 3. Para o ano de 2017, tal perda é estimada em R\$ 4,27 milhões desde 2014⁷⁸.

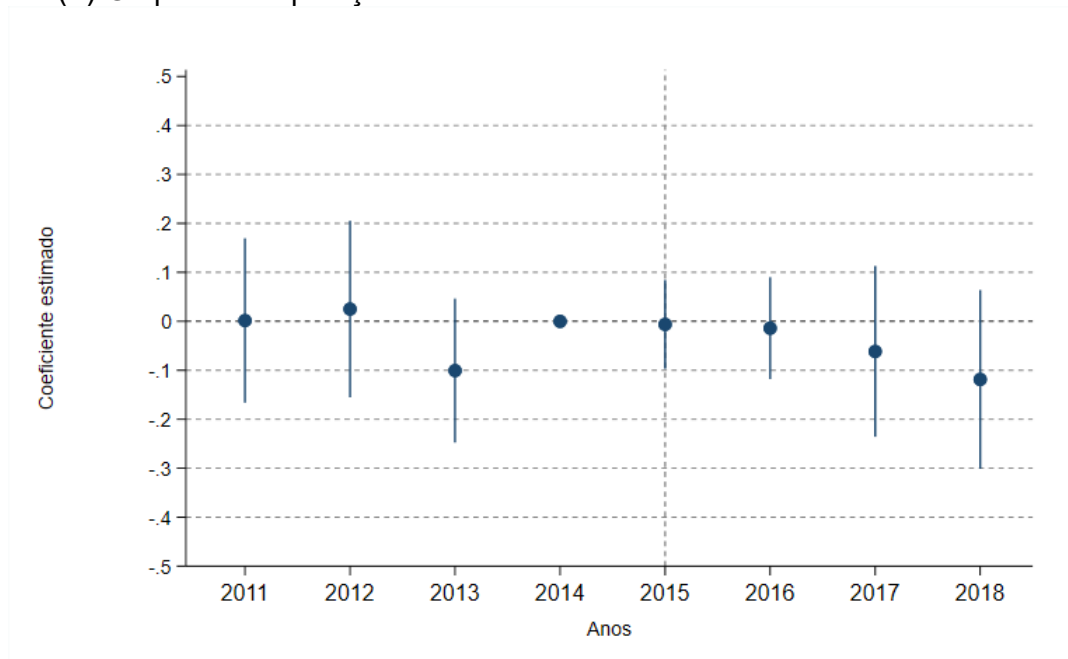
Figura 8 — Resultados da avaliação de impactos para o Alto e Médio Rio Doce: VAB Agropecuário (ln)

(a) Grupo de comparação 1:

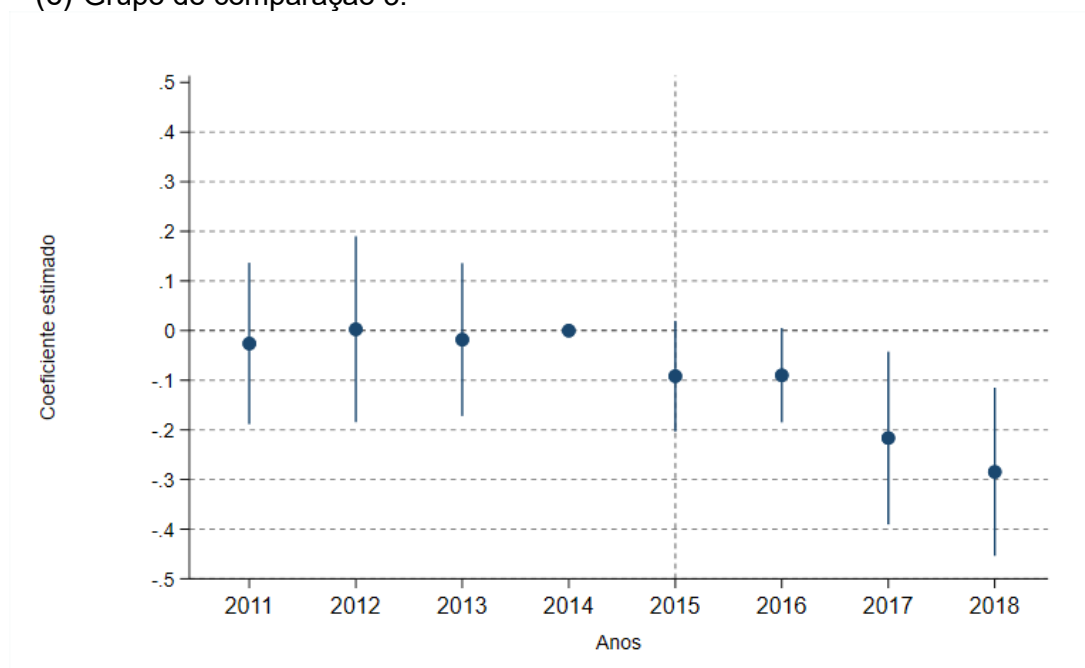


⁷⁸ As duas contas tomam como base os valores médios do VAB Agro no grupo atingido para o recorte do Alto Rio ou Médio Rio em 2017 e 2018, disponíveis na Tabela 17 do APÊNDICE B, e seguem o cômputo análogo ao da nota de rodapé 64.

(b) Grupo de comparação 2:



(c) Grupo de comparação 3:



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: Intervalos de Confiança com índice de 95% reportados pelas linhas verticais e estimativas pontuais indicadas pelos círculos. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. A amostra de municípios atingidos inclui apenas aqueles localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Além disso, pelos coeficientes estimados para os anos de 2011, 2012 e 2013, momentos prévios ao rompimento, nota-se que nenhum deles é estatisticamente diferente de zero ao nível de significância de 5%, independentemente do grupo de comparação utilizado. Novamente, isto indica que não há evidência de que as trajetórias do indicador de impacto do grupo atingido e dos GCs sejam divergentes antes do rompimento, tornando mais plausível (mas não a garantindo, conforme discutido na seção 3.1.1) a hipótese de paralelas. Assim, tal evidência encontrada para a redução do VAB Agropecuário no grupo atingido, em comparação ao GC 3, devido ao rompimento se torna mais plausível.

Os exercícios de robustez realizados no APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3 ajudam a concluir que tais evidências não são sensíveis à escolha do método de pareamento utilizado para selecionar os municípios que compõem o GC 3, já que os coeficientes estimados para os anos posteriores ao rompimento para as duas versões adicionais de análises realizadas são sempre negativos e as respectivas variáveis que medem o impacto são estatisticamente significantes a 5%, além de possuírem magnitude similar à encontrada nesta seção.

Assim como na seção 4.2.1, os resultados apontam para um efeito do rompimento da Barragem de Fundão no sentido de reduzir o VAB Agropecuário dos municípios atingidos localizados no Alto ou Médio Rio Doce quando tomado para comparação o GC 3, formado por municípios pareados localizados em municípios de UFs vizinhas a ES e MG. Quando utilizados recortes de municípios mais próximos geograficamente ao grupo atingido para a construção dos grupos de comparação, o indicador analisado nesta seção não parece ter trajetória diferente do cenário contrafactual estimado (GC 1 ou GC 2). Como já falado, uma possível explicação para isso pode ser a presença de efeitos de transbordamento dos impactos do rompimento sobre o indicador de VAB Agro para municípios próximos aos 36 do grupo atingido utilizado nesta seção (apenas os do Alto Rio Doce e Médio Rio Doce).

4.3.2 Indicadores derivados do Censo Agropecuário

Esta seção mostra os resultados da estimação do modelo definido na Equação 2 para os indicadores derivados do Censo Agropecuário, especificamente para a amostra de municípios atingidos localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce e Médio Rio Doce, quando se utiliza cada um de seus três grupos de comparação respectivos (GC 1, GC 2 e GC 3). Além das análises apresentadas nesta seção, foram realizadas estimações seguindo o mesmo modelo para os indicadores de número de estabelecimentos e área dos estabelecimentos, que se encontram no APÊNDICE B — Tabelas suplementares da seção 4.3. No APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos

resultados da seção 4.3, estão os resultados das estimações quando consideradas as duas alternativas adicionais de construção dos grupos de comparação.

A Tabela 11 reporta os resultados da estimação considerando os indicadores de Valor da Produção, Valor da Receita, Valor da Despesa, Produção por Área e Valor da Despesa Não Salarial. Assim como na Tabela 10, cada coluna indica o resultado de uma estimação da equação quando considerado aquele grupo de comparação indicado no título da coluna. Novamente, devido à transformação $\ln$ aplicada em todos os indicadores, os coeficientes estimados indicam a diferença média, em %, de cada indicador em 2017 com relação a 2006, entre o grupo atingido e de comparação. De maneira geral, todos os resultados obtidos para o caso quando se analisa o conjunto dos 45 municípios atingidos (reportados na seção 4.2.2) são mantidos quando agora se analisa o conjunto formado pelos 36 municípios atingidos do Alto e Médio Rio Doce, com algumas alterações na magnitude dos efeitos, apenas.

Nota-se que nos casos dos indicadores de Valor da Produção (primeira linha com resultados da tabela) e Valor de Despesa (terceira linha com resultados da tabela), os coeficientes associados ao impacto do rompimento estimados têm sempre, respectivamente, sinal negativo e sinal positivo. Entretanto, tais efeitos não podem ser distintos de zero considerando níveis estatísticos de 5% e também 10%, como se vê pelas linhas do p-valor de cada coeficiente, indicando que as trajetórias do indicador para o grupo atingido e para os GCs não diferem nesses casos.

No caso do indicador de Valor da Receita, na comparação com o GC 3, o coeficiente tem sinal negativo, mas não são encontrados impactos estatisticamente significantes ao nível de 5%. Na comparação do grupo atingido com os GC 1 e GC 2, os coeficientes continuam com sinal negativo e os impactos são estatisticamente significantes a 5% (e até a 1%).

Ao comparar estes resultados com os apresentados na seção 4.2.1 para o conjunto dos 45 municípios atingidos, nota-se agora um aumento da magnitude do efeito encontrado: de -0,27 para -0,378 (usando o GC 1) e de -0,255 para -0,379 (usando o GC 2). Assim, para municípios do grupo atingido localizados no recorte do Alto ou Médio Rio, o rompimento da Barragem teria impactado, em média, cada município com uma redução de 37,8% (usando o GC 1) ou 37,9% (usando o GC 2) do indicador de Valor da Receita em 2017, se tomada em comparação a trajetória do mesmo indicador de 2006 a 2017 com base nos GCs em questão. Para o caso da comparação com o GC 2, por exemplo, estima-se uma queda de R\$ 24,32 milhões deste indicador, em média, para os municípios do grupo atingido dentro do recorte geográfico desta análise, quando se

compara a trajetória do indicador para esse grupo com a trajetória do mesmo para o GC 2⁷⁹.

Assim como nos resultados da seção 4.2.2, as estimativas do coeficiente de impacto sobre o indicador de Produção por Área têm sinal negativo, independentemente de qual dos três grupos de comparação seja utilizado. Entretanto, novamente somente na comparação com o grupo de comparação 3 é que este coeficiente estimado é estatisticamente diferente de zero, a um nível de 5% (e também de 1%), apontando para um possível impacto de redução da produção por área por conta do rompimento nos municípios do grupo atingido que se localizam no recorte geográfico do Alto ou Médio Rio Doce. Anteriormente (seção 4.2.2), tal redução seria na ordem de 32,6%, mas agora foi estimada em -0,453, indicando que o indicador se encontrava, em 2017, para um município do grupo atingido nesse recorte geográfico específico, em um nível 45,3% menor, em média, do que estaria se a sua trajetória deste indicador seguisse de 2006 a 2017 como a do GC 3. Em termos numéricos, tal redução é, tomando como base a média do grupo atingido nesse recorte geográfico para tal indicador (Tabela 18), na ordem de 0,819 mil Reais por hectare. Isto é, a produção por área para um município atingido localizado no Alto ou Médio Rio Doce em 2017 foi 0,819 mil Reais por hectare menor, em média, do que seria se a trajetória do indicador seguisse como a do GC 3, de 2006 a 2017⁸⁰.

Tal como na seção 4.2.2, a Tabela 11 também aponta para uma evidência de aumento no Valor da Despesa Não Salarial devido ao rompimento, sendo esse efeito estatisticamente significativo apenas quando utilizado o grupo de comparação 3 na avaliação de impacto. Neste caso, o coeficiente de 0,40 (antes estimado em 0,362 ao considerar os 45 municípios atingidos) indica um aumento em cerca de 40% no valor do indicador para municípios do grupo atingido nesse recorte geográfico específico em 2017, comparando com o caso em que estes tivessem o indicador se comportando de 2006 a 2017 de maneira similar ao do GC 3. Especificamente, ao tomar a média de R\$ 23,38 milhões do indicador para o grupo atingido no recorte do Alto e Médio Rio Doce em 2017, o aumento na despesa não salarial seria na ordem de R\$ 6,70 milhões, em média, para um município do grupo atingido nesse recorte tomando como estimativa do

⁷⁹ O cômputo aqui realizado utiliza a mesma metodologia explicitada na nota de rodapé 64 e os valores médio de R\$ 39.846.000,00 (Tabela 18) do indicador Valor da Receita em 2017 no grupo atingido, considerando apenas os municípios atingidos localizados no recorte geográfico do Alto Rio ou Médio Rio Doce.

⁸⁰ O cômputo aqui realizado utiliza a mesma metodologia explicitada na nota de rodapé 64.

seu cenário contrafactual a situação da trajetória do indicador para o GC 3 de 2006 a 2017⁸¹.

Tabela 11 — Resultados da avaliação de impactos para o Alto e Médio Rio Doce: indicadores derivados do Censo Agropecuário

Indicador		GC 1	GC 2	GC 3
Valor da Produção (ln)	DiD	-0,136	-0,084	-0,108
	Erro-padrão	0,137	0,129	0,131
	P-valor	0,321	0,517	0,412
	N	288	288	288
Valor da Receita (ln)	DiD	-0,378	-0,379	-0,055
	Erro-padrão	0,127	0,131	0,126
	P-valor	0,004	0,005	0,662
	N	288	288	288
Valor da Despesa (ln)	DiD	0,127	0,212	0,272
	Erro-padrão	0,166	0,166	0,171
	P-valor	0,446	0,202	0,114
	N	288	288	288
Produção por Área (ln)	DiD	-0,249	-0,194	-0,453
	Erro-padrão	0,126	0,118	0,126
	P-valor	0,051	0,103	<0,001
	N	288	288	288
Valor da Despesa não salarial (ln)	DiD	0,22	0,338	0,402
	Erro-padrão	0,19	0,192	0,198
	P-valor	0,25	0,081	0,044
	N	288	288	288

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal.

Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. A amostra de municípios atingidos inclui apenas aqueles localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Foram realizados exercícios de robustez, com o intuito de servirem como uma análise de sensibilidade destes resultados quanto ao método de pareamento utilizado para selecionar os municípios para compor os grupos de comparação. Os resultados destas análises corroboram as evidências encontradas nesta seção, já que estão alinhados aos aqui encontrados. Eles podem ser encontrados no APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3.

⁸¹ O cômputo aqui realizado utiliza a mesma metodologia explicitada na nota de rodapé 64.

Assim como na análise da seção 4.2, que utiliza como amostra de municípios do grupo atingido todos os 45, as evidências encontradas sobre possíveis efeitos do rompimento da Barragem de Fundão sobre os indicadores derivados do Censo Agropecuário para municípios do grupo atingido localizados nos recortes geográficos do Alto ou Médio Rio doce apontam para impactos nos municípios do grupo atingido nos seguintes casos: (i) quando comparados ao GC 3, uma redução na produção por área e aumento na despesa não salarial; e (ii) quando comparados aos GC 1 e GC 2, uma redução no valor da receita.

Assim, todos os mecanismos para possivelmente explicar tais resultados antes apresentados se mantêm e, a depender, podem ser até mais relevantes neste caso. Isso porque, como dito no início da seção 4.3, os municípios do grupo atingido utilizados para esta análise são, possivelmente, mais dependentes do setor agropecuário do que os dos recortes do Baixo Rio Doce ou do Litoral Adjacente, a partir da ótica da razão entre o VAB Agro e o VAB total. Assim, espera-se que, em média, os possíveis impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre os indicadores analisados sejam maiores para este recorte específico de municípios. De fato, pelos resultados encontrados, nota-se que os coeficientes associados ao estimador de impactos por diferença-em-diferenças e que são estatisticamente significantes a 5% são maiores (em módulo) para este recorte do que no caso em que se utiliza a amostra completa de 45 municípios do grupo atingido.

4.4 Resultados das estimações — análise sobre transbordamento dos impactos em outros municípios

Como levantado ao longo da seção 3.2.2 e da seção 4.2, além de em outros relatórios da FGV⁸², existe uma possibilidade de que ocorram efeitos de transbordamento dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão em outros municípios para além do conjunto de 45 municípios atingidos. Desta forma, é possível que os resultados que utilizam os grupos de comparação 1 e 2 possam sofrer de algum tipo de viés e não forneçam estimativas precisas do efeito, pois são formados por municípios mais próximos geograficamente daqueles 45 do grupo atingido, podendo também terem sido afetados pelo desastre. Nesta seção, investiga-se a hipótese de transbordamento dos

⁸² FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Avaliação de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre Fluxos Migratórios e Tamanho da População dos Municípios Atingidos**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020a.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Avaliação de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre o Mercado de Trabalho Formal dos Municípios Atingidos**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020b.

impactos a partir da comparação: (i) entre o GC 1 e um grupo de comparação específico, construído de maneira similar ao GC 3; e (ii) da comparação entre o GC 2 e outro grupo de comparação específico, também construído de maneira similar ao GC 3.

Para tal, assume-se, hipoteticamente, que os municípios do GC 1 ou do GC 2 são agora o grupo “atingido”⁸³ (cada um deles um grupo atingido, em análises específicas) e, seguindo a mesma metodologia descrita na seção 3.2.2, encontram-se pares para todos eles a partir do recorte geográfico que delimita os municípios candidatos a compor o GC 3. Desta forma, chega-se a dois tipos de comparação:

- I Análise 1 — GC 1 versus GC 3: municípios originalmente no GC 1 são definidos como grupo atingido e, na sequência, procura-se no recorte geográfico dos candidatos a compor o GC 3 (UFs vizinhas a MG e ES), para cada um destes novos “atingidos”, os três pares formados com estes com menores valores da distância de Mahalanobis, sendo o pareamento com reposição;
- II Análise 2 — GC 2 versus GC 3: municípios originalmente no GC 2 são definidos como grupo atingido e, na sequência, procura-se no recorte geográfico dos candidatos a compor o GC 3 (UFs vizinhas a MG e ES), para cada um destes novos “atingidos”, os três pares formados com estes com menores valores da distância de Mahalanobis, sendo o pareamento com reposição. Neste caso, excluem-se as mesorregiões do “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”, na Bahia, e do “Norte Fluminense” e “Baixadas”, no Rio de Janeiro, dos recortes de municípios do GC 3 candidatos para o pareamento, já que tais mesorregiões estão dentro do recorte geográfico do GC 2.

Após a determinação de cada grupo de comparação, as análises realizadas nas seções 4.2.1 e 4.2.2 são repetidas nas seções 4.4.1 e 4.4.2, de maneira análoga. Assim, busca-se encontrar evidências de impactos do rompimento da Barragem de Fundão em aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias em regiões mais próximas aos 45 municípios atingidos. Note ainda que, diferentemente das análises anteriores na

⁸³ Uma possível crítica a esta definição seria de que os municípios escolhidos para compor o grupo agora considerado como “atingido” são, por conta do pareamento, parecidos com os atingidos. Assim, iriam exibir comportamentos análogos aos dos 45 atingidos no que tange aos indicadores agropecuários analisados. Para investigar a sensibilidade dos resultados aqui reportados a essa escolha metodológica, foram feitos os mesmos exercícios que serão apresentados nesta seção para outros dois grupos definidos como “atingidos”: (i) todos os municípios localizados nas mesorregiões geográficas em que algum dos 45 atingidos se localiza; e (ii) todos os municípios que são vizinhos contíguos dos 45 atingidos. Desta forma, definem-se dois grupos de “atingidos” alternativos para essas análises, sem a utilização do procedimento de pareamento. Os resultados destas duas análises vão ao encontro dos aqui apresentados e não serão exibidos no relatório por motivos de concisão, mas estão disponíveis para envio sob requisição aos autores.

seção 4.2, agora tem-se dois grupos de “atingidos” diferentes, sendo o primeiro formado pelos municípios do GC 1 e o segundo formado pelos municípios do GC 2. Por conta disso, cada uma das análises utiliza um GC 3 diferente, onde se utiliza o mesmo recorte geográfico de municípios para a seleção de pares — municípios em UFs vizinhas ao ES e MG —, mas que serão selecionados de maneira independente para cada análise, conforme explicado anteriormente. No APÊNDICE C — Tabelas e mapas suplementares da seção 4.4 estão dispostos os mapas com a ilustração dos municípios selecionados para compor cada um dos dois grupos de comparação para tal análise, analogamente aos mapas apresentados na seção 3.2.2.

A metodologia econométrica utilizada segue conforme a empregada anteriormente e definida na seção 3.1⁸⁴ ⁸⁵. Os resultados podem ser interpretados de maneira similar aos resultados das seções 4.2.1 e 4.2.2. No APÊNDICE C — Tabelas e mapas suplementares da seção 4.4 estão as tabelas complementares aos resultados desta seção, enquanto no APÊNDICE C.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.4 são repetidos os mesmos exercícios de robustez feitos anteriormente, agora para estas análises.

4.4.1 Valor adicionado bruto (VAB) do setor agropecuário

Esta seção tem como objetivo a investigação de impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre o indicador de impacto de Valor Adicionado Bruto do setor agropecuário (VAB Agro) para regiões além dos 45 municípios atingidos, a partir das análises que comparam o GC 1 e GC 2 com os respectivos GCs 3 construídos especificamente para essa análise. Assim como nas seções 4.2.1 e 4.3.1, os resultados são apresentados em formato de gráfico, na Figura 9, permitindo que sejam comparados os efeitos médios do rompimento no VAB Agro do grupo definido como atingido em determinado ano quando comparado ao GC 3 em relação ao cenário no ano de 2014 entre os grupos. No APÊNDICE C — Tabelas e mapas suplementares da seção 4.4 estão os resultados em formato de tabela para uma análise mais detalhada. Além disso, no APÊNDICE C.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.4 são realizados os mesmos exercícios de robustez realizados no APÊNDICE A.1 — Análises de

⁸⁴ A única diferença metodológica na estimação é que agora o peso de número de vezes em que o município do grupo de comparação foi escolhido como par de algum atingido vale também para o grupo atingido, já que se utilizam o GC 1 e o GC 2 como grupos atingidos.

⁸⁵ Os resultados apresentados nesta seção são robustos à escolha metodológica do uso dos pesos descrita na nota de rodapé 84, já que ao serem dados pesos iguais a 1 para todos os municípios do GC 1 ou do GC 2, encontram-se estimativas que apontam qualitativamente para a mesma direção. Tais resultados não serão apresentados neste relatório por motivos de concisão, mas estão disponíveis para envio sob requisição aos autores.

robustez dos resultados da seção 4.2 e no APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3.

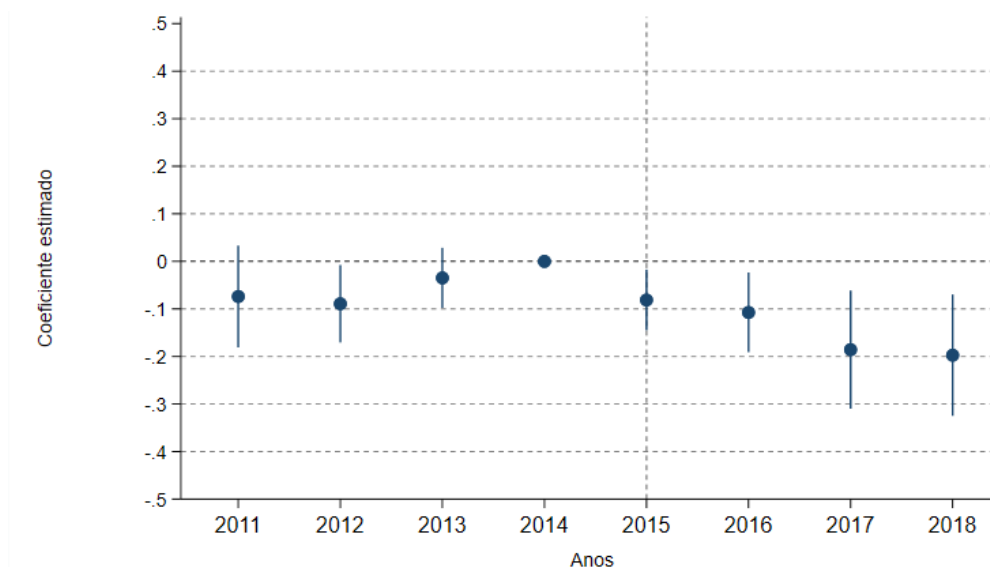
Assim como no caso das análises vistas na Figura 6 e na Figura 8, quando tomada a trajetória desde 2014 do indicador do GC 3 como referência, as duas análises de transbordamento realizadas aqui fornecem evidências de que houve impacto negativo sobre a situação do indicador VAB Agro em anos pós-rompimento (2015 a 2018). A parte (a) da figura exhibe o resultado quando o GC 1 do modelo original é definido como grupo “atingido” e comparado a municípios de UFs vizinhas ao ES e MG que foram pareados a estes via distância de Mahalanobis. Na parte (b) da figura, tem-se o análogo quando o grupo “atingido” é definido como sendo formado pelos municípios do GC 2 original. Em todos estes casos, as estimativas dos coeficientes são negativas e os impactos são estatisticamente significantes a 5%, sempre com valores crescentes (em módulo) ao longo dos anos, tal como no resultado do modelo principal (seção 4.2.1). Além disso, os exercícios disponíveis no APÊNDICE C.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.4 mostram que tais resultados não são oriundos de uma escolha específica de municípios para comporem os grupos de comparação destas análises, uma vez que quando se varia a metodologia do procedimento do pareamento obtêm-se resultados que vão ao encontro daqueles da Figura 9.

Ademais, os resultados dos coeficientes e intervalos de confiança de 95% para as variáveis de interesse pré-rompimento indicam alguns casos de diferenças pré-rompimento entre as trajetórias dos grupos “atingidos” e seus respectivos grupos de comparação, especialmente para o caso do GC 2 quando considerado “atingido” (parte (b)). Na parte (a) da figura, nota-se que isto se vê apenas para o caso entre o ano de 2012 e 2014, no entanto.

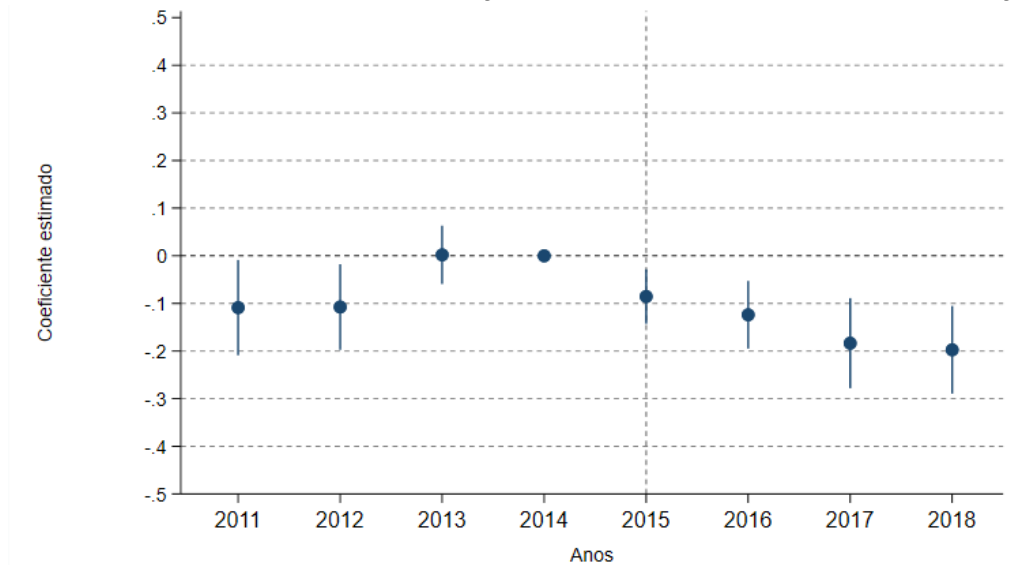
Desta forma, existe uma evidência sugestiva da presença de efeitos de transbordamento do rompimento em reduzir, além do caso para os 45 atingidos, o VAB Agro de municípios geograficamente próximos a eles, em particular daqueles situados nas mesmas regiões que ele (“atingidos” do GC 1). Portanto, é possível que análises como as das seções 4.2 e 4.3, que utilizam como grupos de comparação o GC 1 e o GC 2, sofram de algum tipo de viés ao não considerar que municípios nestes grupos de comparação também parecem ter sido afetados pelo rompimento no que se refere ao indicador VAB Agro.

Figura 9 — Resultados da avaliação de impactos para a análise de transbordamento: VAB Agropecuário (ln)

Análise 1 — Grupo de comparação 1 vs. respectivo Grupo de Comparação 3:



Análise 2 — Grupo de comparação 2 vs. respectivo Grupo de Comparação 3:



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: Intervalos de Confiança com índice de 95% reportados pelas linhas verticais e estimativas pontuais indicadas pelos círculos. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. O grupo “atingido” é definido a partir dos municípios pareados dos grupos de comparação 1 e 2 do modelo original.

Análise 1: o grupo de comparação 1 (GC 1) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados a eles. Análise 2: o grupo de comparação 2 (GC 2) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia (exceto mesorregiões “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”), Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro (exceto mesorregiões “Norte Fluminense” e “Baixadas”) e São Paulo pareados a eles.

4.4.2 Indicadores derivados do Censo Agropecuário

Além de uma investigação sobre efeitos de transbordamento no indicador de VAB Agro, também é feita análise similar para os indicadores derivados do Censo Agropecuário. Desta forma, analogamente ao que é exposto na Tabela 10 e na Tabela 11, a Tabela 12 exibe o resultado da avaliação de impactos do rompimento sobre indicadores derivados do Censo Agropecuário para os casos em que o grupo atingido é definido como sendo formado por municípios do GC 1 ou GC 2 da análise principal (seção 4.2). Assim, a leitura da tabela aqui deve ser feita exatamente como no caso da Tabela 10 e da Tabela 11, e as duas colunas mais à direita indicam qual o grupo “atingido” está sendo utilizado para a investigação de transbordamentos de efeitos do rompimento: GC 1 ou GC 2. Tal como no caso do indicador de VAB, no APÊNDICE C.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.4 são realizados os exercícios de robustez dos resultados da Tabela 12 quanto ao método de pareamento empregado na seleção dos municípios que formam os respectivos GCs utilizados. Ainda, no APÊNDICE C — Tabelas e mapas suplementares da seção 4.4, são apresentados os resultados do efeito de transbordamento para os indicadores de número de estabelecimentos e soma das áreas dos estabelecimentos agropecuários.

Primeiramente, nota-se que o resultado encontrado nas seções 4.2 e 4.3 sobre redução do indicador de impacto Produção por Área e aumento do indicador Valor da Despesa Não Salarial no grupo atingido em 2017 comparado ao GC 3 parece também se verificar nessas novas análises. No caso dos resultados da Tabela 12, tem-se que os coeficientes do indicador de produção por área são negativos para as duas análises: -0,09 (GC 1 vs. GC 3) e -0,23 (GC 2 vs. GC 3). No caso da segunda análise (GC 2 vs. GC 3), tal resultado é estatisticamente significativo ao nível de significância de 1%, sendo possível atribuir um possível efeito do rompimento (redução de 22,9%, em média) sobre tal indicador para os municípios do GC 2 em 2017, comparado ao caso que seguissem a trajetória de 2006 a 2017 do respectivo GC 3⁸⁶.

Para o caso do indicador de despesa não salarial, encontra-se um coeficiente positivo em ambos os casos: 0,23 (GC 1 vs. GC 3) e 0,13 (GC 2 vs. GC 3), sendo o primeiro estatisticamente significativo ao nível de 5% de significância. Assim, pode-se dizer que existe uma evidência de efeito do rompimento em aumentar (em 23%, em média) o valor da despesa não salarial dos municípios do GC 1 em 2017 quando tomada como base a

⁸⁶ Note ainda que o impacto no indicador de área dos estabelecimentos exibiu o mesmo comportamento de aumento em 2017 que o visto no APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2. Assim, a afirmação de que o aumento de área não foi acompanhado de um aumento da produção continua válida.

trajetória deste indicador para o respectivo GC 3 de 2006 a 2017. Assim, esses resultados indicam que os resultados encontrados para tais indicadores quando a análise é feita comparando os 45 municípios atingidos ao GC 1 ou ao GC 2 (seção 4.2) podem sofrer com algum tipo de viés por não levarem em conta que estes grupos de comparação também podem ter sido afetados, nos dois indicadores, pelo rompimento.

Ainda na Tabela 12, destaca-se o resultado para o indicador Valor da Receita, que apresentou coeficientes positivos de aproximadamente 0,36 (Análise 1) e 0,29 (Análise 2) e estatisticamente significantes a 5% (e também a 1%). Nos resultados na seção 4.2 e na 4.3, foi visto que os coeficientes associados a este indicador na análise usando os GCs 1 e 2 eram negativos e estatisticamente significantes a 5%, apontando para um impacto de redução de tal indicador em 2017. Agora, com coeficientes positivos e estatisticamente significantes, tem-se uma evidência de impacto de aumento da situação do valor da receita em 2017 nos municípios do GC 1 e do GC 2, se comparados ao cenário em que suas trajetórias seguissem como as dos respectivos GCs 3 de 2006 até 2017. Este resultado pode significar, como discutido na seção 4.2, que houve alguma mudança na dinâmica local do mercado de produtos agropecuários em regiões próximas à do grupo dos 45 municípios atingidos. Como não só existe uma evidência de que a situação do valor da receita dos 45 atingidos ficou pior, mas agora sabe-se que a situação do mesmo indicador para os municípios do GC 1 e do GC 2 ficou melhor, todos comparados com os respectivos GCs 3, imagina-se que possa ter ocorrido esse tipo de mudança. Isso é reforçado pelo fato de que o indicador de valor da receita reflete apenas a receita derivada de produtos vendidos, levantando a hipótese de que os produtos originados de estabelecimentos agropecuários da região atingida possam ter perdido parte da preferência da demanda local por tais produtos. Então é possível, por exemplo, que parte das vendas que antes ocorriam em municípios do grupo atingido tenham passado a ocorrer em municípios do GC 1 ou GC 2, ou então que os preços de venda dos produtos oriundos da região atingida tenham se reduzido ou os mesmos preços para a região do GC 1 e GC 2 tenham aumentado.

Tabela 12 — Resultados da avaliação de impactos para a análise de transbordamento: indicadores derivados do Censo Agropecuário

Indicador		Análise 1: GC 1 vs GC 3	Análise 2: GC 2 vs GC 3
Valor da Produção (ln)	DiD	0,135	0,004
	Erro-padrão	0,091	0,077
	P-valor	0,138	0,955
	N	804	876
Valor da Receita (ln)	DiD	0,357	0,287
	Erro-padrão	0,097	0,097
	P-valor	<0,001	0,003
	N	804	876
Valor da Despesa (ln)	DiD	0,197	0,094
	Erro-padrão	0,086	0,089
	P-valor	0,023	0,292
	N	804	876
Produção por Área (ln)	DiD	-0,088	-0,229
	Erro-padrão	0,089	0,075
	P-valor	0,323	0,002
	N	804	876
Valor da Despesa não salarial (ln)	DiD	0,229	0,129
	Erro-padrão	0,096	0,096
	P-valor	0,018	0,179
	N	802	876

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal.

Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. O grupo “atingido” é definido a partir dos municípios pareados nos grupos de comparação 1 e 2 do modelo original.

Análise 1: o grupo de comparação 1 (GC 1) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados a eles. Análise 2: o grupo de comparação 2 (GC 2) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia (exceto mesorregiões “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”), Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro (exceto mesorregiões “Norte Fluminense” e “Baixadas”) e São Paulo pareados a eles.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório teve como objetivo a avaliação de impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre aspectos relacionados com renda e produção agropecuárias. Para tal, foram utilizados dados ao nível municipal provenientes do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) e Censo Agropecuário (IBGE), que permitiram a criação dos seguintes indicadores: (i) Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário; (ii) Valor da Produção; (iii) Valor da Receita; (iv) Valor da Despesa; (v) Produção por Área; e (vi) Valor da Despesa Não Salarial.

Para a estimação dos efeitos do rompimento, se utilizaram métodos econométricos de avaliação de impactos, especificamente o de diferença-em-diferenças. Este método permite a identificação de relações causais entre o rompimento e mudanças nos indicadores de impacto. O parâmetro de interesse que é estimado para isso trata do efeito médio do rompimento sobre o conjunto de 45 municípios do grupo atingido. Buscou-se ainda delimitar um recorte de municípios atingidos que possuam maior participação do setor agropecuário na sua dinâmica da economia municipal, justamente aqueles localizados no recorte do Alto e Médio Rio Doce (conforme explicado na seção 4.3), tendo sido investigada a presença de efeitos heterogêneos do rompimento nesse recorte geográfico.

A análise econométrica baseia-se na comparação das trajetórias ao longo do tempo dos indicadores entre o grupo atingido e um grupo de comparação, que deve refletir o cenário contrafactual do grupo atingido na ausência do rompimento. Portanto, a escolha de grupos de comparação adequados é de extrema importância para a confiabilidade dos resultados obtidos. Para este relatório, foram construídos três grupos de comparação (GCs), tendo sido usado pareamento via distância de Mahalanobis, que utiliza características socioeconômicas observáveis prévias ao desastre para encontrar, para cada município atingido, municípios não atingidos que sejam muito parecidos com eles em termos de tais características observáveis. Desta forma, os três grupos são: (i) GC 1: municípios não atingidos que se localizam nas mesmas mesorregiões onde se situam os 45 atingidos, pareados aos atingidos; (ii) GC 2: municípios não atingidos localizados no ES, MG, sul da Bahia ou norte do Rio de Janeiro, que foram pareados aos atingidos; e (iii) GC 3: municípios não atingidos localizados nas UFs vizinha ao ES e MG, que foram pareados aos atingidos.

Quando considerado o conjunto dos 45 municípios atingidos, para o indicador de VAB Agropecuário, as estimativas do impacto do rompimento têm sempre coeficientes negativos. Comparada com a situação do indicador em 2014, houve redução no VAB

Agro quando se utiliza o GC 3 na avaliação de impacto, e, neste caso, o único com efeitos estatisticamente diferentes de zero ao nível de significância de 5%, a perda no VAB seria de: R\$ 5,33 milhões em 2016, R\$ 8,49 milhões em 2017 e R\$ 8,57 milhões em 2018 (sempre comparando-se com 2014). Portanto, caso o comportamento do VAB Agro dos municípios do grupo atingido tivesse seguido como o do GC 3 após 2014, ter-se-ia para o grupo atingido cerca de R\$ 385,65 milhões⁸⁷ a mais no Valor Adicionado Bruto do setor agropecuário em 2018 do que comparado ao que efetivamente se observou. Quando utilizado apenas o recorte de municípios atingidos localizados no Alto e Médio Rio Doce, os resultados vão no mesmo sentido, e em termos proporcionais o impacto de redução é até maior. Portanto, sob a hipótese de que o cenário da trajetória do indicador de VAB Agro do GC 3 foi, de 2014 em diante, uma boa representação do que ocorreria sem o rompimento, é possível afirmar que houve impacto negativo do rompimento da Barragem de Fundão sobre o Valor Adicionado Bruto do setor agropecuário dos municípios atingidos.

Além disso, foi realizado um exercício para checagem de um possível transbordamento dos impactos em municípios localizados geograficamente próximos aos 45 do grupo atingido. Especificamente, utilizaram-se o GC 1 o GC 2 como dois novos grupos “atingidos” (sem considerar os 45 municípios originais) e compararam-se os mesmos indicadores deles em momentos pré-rompimento e pós-rompimento com os do GC 3, e o GC 3 é construído, para cada novo grupo “atingido”, seguindo a mesma metodologia de pareamento via distância de Mahalanobis. No caso do VAB Agro, encontra-se um resultado estatisticamente significativo a 5%, que corrobora a evidência de efeitos de transbordamento, já que em todos os anos pós-rompimento, comparadas as trajetórias do VAB desde 2014, os indicadores no GC 1 e no GC 2 apresentaram redução quando comparados ao cenário em que seguissem a trajetória dos respectivos GCs 3.

No caso dos indicadores derivados do Censo Agropecuário, quando se usa o GC 3 para estimar o cenário contrafactual do grupo atingido em 2017, encontram-se resultados estatisticamente diferentes de zero ao nível de 5% de significância para os seguintes indicadores de impacto: (i) Produção por Área; e (ii) Valor da Despesa Não Salarial. No caso do primeiro, o impacto é negativo e de magnitude 0,326, indicando que a redução da Produção por área foi de, em média, 32,6% em 2017 no grupo atingido comparado ao caso de que seguissem a trajetória do mesmo indicador do GC 3, desde 2006. Tomando como base a média deste indicador em 2006 para o grupo atingido, igual a 1,26 mil reais por hectare, tem-se que a redução foi na ordem de 0,54 mil reais por

⁸⁷ Tal cômputo é feito a partir da perda média estimada por município do grupo atingido, R\$ 8,57 milhões, vezes a quantidade de municípios do grupo atingido, 45.

hectare, em média, para os municípios do grupo atingido. Para o segundo indicador, encontra-se um impacto de aumento atribuído ao rompimento, sendo o incremento na despesa salarial de 36,2% na comparação com GC 3. Tal aumento refletiria, em média, R\$ 15,93 milhões a mais no valor da despesa não salarial de 2017 para cada município do grupo atingido. Nas análises de efeitos heterogêneos, os resultados encontrados indicam que tal impacto é maior nos municípios do recorte do Alto e Médio Rio Doce: o impacto foi 47,2% sobre a Produção por Área (*versus* 32,6% para o conjunto dos 45 atingidos) e de 39% sobre o Valor da Despesa Não Salarial (*versus* 36,2%). Assim, tomando como base a trajetória dos dois indicadores para o GC 3 de 2006 a 2017 e supondo que ela represente bem o cenário de ausência de rompimento para o grupo atingido, é possível atribuir ao rompimento da Barragem de Fundão impactos de redução da produção por área e de aumento do valor da despesa não salarial para estabelecimentos agropecuários localizados em municípios do grupo atingido.

Para a redução da produção por área, entende-se que este impacto possa ser oriundo do impacto positivo e estatisticamente diferente de zero encontrado para o indicador de soma das áreas dos estabelecimentos. Assim, considerando o fato de que os impactos sobre o valor da produção não foram estatisticamente diferentes de zero, ainda que negativos, a evidência maior é de que, comparada ao GC 3, a produção teve leve redução, mas a soma das áreas teve grande aumento, fazendo com que a produção por área tenha sido impactada negativamente. Portanto, tal expansão na soma das áreas dos estabelecimentos do grupo atingido não teria sido acompanhada de um aumento no valor da produção.

No caso do impacto de aumento do valor da despesa não salarial, entende-se que é possível que este indicador reflita o comportamento da variável de Consumo Intermediário (CI) do VAB Agro, afetando-o negativamente. Assim, a queda verificada no VAB Agro pode ser, em parte, explicada pelo aumento das despesas não salariais verificadas para os municípios do grupo atingido. Além disso, o exercício em que se analisa a possibilidade de transbordamento de impactos neste indicador para outros municípios além dos 45 atingidos mostrou que o coeficiente estimado na comparação do GC 1 ou do GC 2 contra os respectivos GCs 3 foi negativo e estatisticamente significativo a 5% para o caso do GC 2, o que corrobora a possibilidade de transbordamento do impacto do rompimento neste indicador para além do grupo atingido original.

Ainda no caso dos indicadores derivados do Censo Agropecuário, nas análises baseadas na comparação da trajetória dos indicadores do grupo atingido com as dos grupos de comparação 1 e 2, encontram-se impactos com significância estatística a 5%

para o indicador de Valor da Receita. Neste caso, os coeficientes de -0,27 (usando o GC 1) e de -0,255 (usando o GC 2) indicam um impacto de redução na ordem de 27% e 25,5%, respectivamente, na situação do indicador em 2017 para o grupo atingido, em média. Numericamente, o valor desta redução para cada município do grupo atingido seria, em média, de R\$ 36,76 milhões (usando o GC 1) e R\$ 34,02 milhões (usando o GC 2), caso a trajetória do valor da receita do grupo atingido seguisse, desde 2006, o mesmo padrão do GC 1 ou GC 2. Os resultados da análise de heterogeneidade de efeitos indicam que o impacto foi maior ao considerar apenas os municípios atingidos localizados no Alto ou Médio Rio Doce. Neste caso, as reduções seriam de 35,1% e 37,9%, em média. Portanto, as evidências apontam para uma redução do valor da receita dos estabelecimentos agropecuários localizados em municípios do grupo atingido, supondo que o cenário do valor da receita na ausência de rompimento para o grupo atingido seja bem representado pelos observados para o GC 1 e GC 2.

Para esta redução no valor da receita dos estabelecimentos agropecuários do grupo atingido ante os GCs 1 e 2, entende-se que possa existir alguma espécie de efeito de competição local entre municípios próximos geograficamente do grupo atingido. Sabe-se que o valor da receita inclui apenas a receita de vendas dos estabelecimentos agropecuários (definição na seção 2.2.3). Uma possibilidade levantada é de que o mercado local tenha passado a dar preferência para produtos de estabelecimentos localizados nos municípios dos GCs 1 ou 2, em comparação aos do grupo atingido, fazendo com que possa existir um movimento de queda nas vendas do grupo atingido e aumento de vendas dos GCs em questão. Outra possibilidade, decorrente da hipótese de mudanças nas preferências e, assim, na demanda do mercado de produtos agropecuários, é de que os preços dos produtos nas regiões não atingidas próximas dos 45 municípios atingidos tenham se elevado, ou que os preços dos produtos nos municípios do grupo atingido tenham se reduzido. Na análise a respeito de possíveis transbordamentos de impactos do rompimento sobre municípios próximos do grupo atingido, o resultado aponta para um aumento do valor da receita no GC 1 e no GC 2 de 2017 em relação a 2006 quando comparados aos respectivos GCs 3, corroborando essa a hipótese de mudanças de preferências no mercado local.

Para todos os resultados aqui apresentados, deve ser ressaltado o fato de que as análises utilizam dados agregados por municípios, que não permitem uma investigação mais detalhada para recortes específicos dentro dos mesmos. Mesmo para o caso dos indicadores do Censo Agropecuário, que derivam de informações ao nível de estabelecimentos agropecuários, somente se dispõe de dados agrupados por municípios, sendo tais indicadores um reflexo do comportamento agregado dos

estabelecimentos ali localizados. Assim como no caso do VAB Agro, tais resultados devem ser interpretados de maneira agregada, isto é, sem refletir conjuntos específicos de estabelecimentos agropecuários, por exemplo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Tribunal Federal Regional da 1ª Região. **Ação Civil Pública nº 0069758-61.2015.4.01.3400**. Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC). Brasília: 2/3/2016. Disponível em: www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/07/TTAC-FINAL.pdf. Acesso em: 18 out. 2019.

COMITÊ INTERFEDERATIVO (CIF). **Deliberação n. 58**, 2017.

COSTA, L. V.; HELFAND, S. M.; SOUZA, A. P. F. **No impact of rural development policies?: no synergies with conditional cash transfers?: an investigation of the IFAD-Supported Gavião Project in Brazil**. São Paulo: Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getulio Vargas, 2018.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Impacto do Rompimento da Barragem de Fundão sobre a Renda Agregada de Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019a. Disponível em: www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impacto-do-rompimento-da-barragem-de-fundao-sobre-a-renda-agregada-de-minas-gerais-e-espirito-santo.pdf. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **Impactos sobre Educação Básica a partir de Dados Secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019b. Disponível em: www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impactos-sobre-educacao-basica-a-partir-de-dados-secundarios. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **Impactos sobre Segurança Pública a partir de Dados Secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019c. Disponível em: www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impactos-sobre-seguranca-publica-a-partir-de-dados-secundarios.pdf. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **Impactos sobre Assistência Social a partir de dados secundários**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019d. Disponível em: www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_impactos-sobre-assistencia-social-a-partir-de-dados-secundarios.pdf. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **Avaliação de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre Fluxos Migratórios e Tamanho da População dos Municípios Atingidos**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020a. Disponível em: www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fluxos-migratorios-e-tamanho-da-populacao.pdf. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **Avaliação de impactos do Rompimento da Barragem de Fundão Sobre o Mercado de Trabalho Formal dos Municípios Atingidos**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020b. Disponível em: www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/mercado-de-trabalho-formal.pdf. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **A Violência Doméstica contra as Mulheres Atingidas pelo Rompimento da Barragem de Fundão**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021a. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_a-violencia-domestica-contra-as-mulheres-atingidas-pelo-rompimento-da-barragem-de-fundapso.pdf. Acesso em: 13 abr. 2021.

FUNDAÇÃO RENOVA. **16 — Retomada das atividades aquícolas e pesqueiras. Minas Gerais**, 2021a. Disponível em: <www.fundacaorenova.org/programa/retomada-das-atividades-aquicolas-e-pesqueiras/>. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **17 — Retomada das atividades agropecuárias. Minas Gerais**, 2021b. Disponível em: <www.fundacaorenova.org/programa/retomada-das-atividades-agropecuarias/>. Acesso em: 13 abr. 2021.

_____. **18 — Desenvolvimento e diversificação econômica. Minas Gerais**, 2021c. Disponível em: <www.fundacaorenova.org/programa/desenvolvimento-e-diversificacao-economica/>. Acesso em: 13 ab. 2021.

_____. **PG-002 — Programa de Indenização Mediada: definição do programa — Etapa 3**, dez. 2017.

_____. **PG-021 — Programa de Auxílio Financeiro Emergencial: definição do Programa — Etapa 3**, out. 2018.

GARCIA, F.; HELFAND, S. M.; SOUZA, A. P. **Conditional cash transfers and rural development policies in Brazil: exploring potential synergies between Bolsa Família and PRONAF. Protection, production, promotion: exploring synergies between social protection and productive development in Latin America Executive Summary**, 2015.

GRISA, C.; SCHNEIDER, S.; CONTERATO, M. A. **A produção para autoconsumo no Brasil: uma análise a partir do Censo Agropecuário 2006**. Brasília: IPEA, 2013.

IMBENS, G.; RUBIN, D. **Causal inference for statistics, social, and biomedical sciences: an introduction**. Nova York: Cambridge University Press, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v. 1. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS-RJ/DRB/Divisao_regional_v01.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019>.

_____. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html?edicao=9830&t=downloads>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico2010.html?edicao=9678&t=downloads>. Acesso em: 24 nov. 2020.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios: Tabelas. Tabela 5938 — Produto interno bruto a preços correntes, impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos a preços correntes e valor adicionado bruto a preços correntes total e por atividade econômica, e respectivas participações — Referência 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

_____. **Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao Milionésimo — BCIM: 4ª versão**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. v. 1. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2014/informacoes_tecnicas/bcim_v4_doc_tecnica_vol_i.pdf>. Acesso em: 8 maio 2020.

_____. **Sistema de Contas Nacionais — Brasil:** Referência 2010. Nota metodológica nº 20 — Consumo intermediário. Rio de Janeiro: IBGE, 2016a. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Sistema_de_Contas_Nacionais/Notas_Metodologicas_2010/20_consumo_intermediario.pdf>. Acesso em: 19 maio 2020.

_____. **Sistema de Contas Nacionais — Brasil:** Referência 2010. Nota metodológica nº 21 — Atividade agropecuária. Rio de Janeiro: IBGE, 2016b. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Sistema_de_Contas_Nacionais/Notas_Metodologicas_2010/21_atividade_agropecuaria_20160504.pdf>. Acesso em: 19 maio 2020.

_____. **Censo Agropecuário 2017.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 13 maio 2020.

_____. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017.** Coordenação de Geografia — Rio de Janeiro: IBGE, 2017b. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2019>.

_____. **Contas nacionais anuais.** Tabela 6784 — Produto Interno Bruto, Produto Interno Bruto *per capita*, População residente e Deflator. Rio de Janeiro: IBGE, 2018a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6784>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

_____. **Produto Interno Bruto dos municípios — tabelas.** Rio de Janeiro: IBGE, 2018b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

_____. **Série Relatórios Metodológicos:** pesquisas agropecuárias. Rio de Janeiro: IBGE, v. 6, ed. 3, 2018c. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101552.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Censo Agropecuário 2017:** resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf>. Acesso em: 15 maio 2020.

_____. **Pesquisa da Pecuária Municipal — PPM.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Produção Agrícola Municipal — PAM.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019c. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura — PEVS.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019d. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/tabelas/brasil/2019>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Censo Agropecuário:** o que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html>. Acesso em: 15 jun. 2020.

_____. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo — IPCA.** Séries históricas. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 19 abr. 2021.

_____. **Pesquisa da Pecuária Municipal — PPM:** O que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021c. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Produção Agrícola Municipal — PAM:** O que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021d. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura — PEVS:** o que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021e. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 18 jan. 2021.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios:** o que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021f. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 10 jun. 2021.

_____. **Produto Interno Bruto:** o que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2021g. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?t=o-que-e&c=1100023>. Acesso em: 10 jun. 2021.

RAMBOLL. **Monitoramento independente dos programas de reparação e compensação dos danos,** 2021. Disponível em: <<https://auditoria-riodoce.ramboll.com/>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

TRIBUNAL FEDERAL REGIONAL DA 1ª REGIÃO. Ação Civil Pública nº 0069758-61.2015.4.01.3400. **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC).** Brasília: 2 mar. 2016. Disponível em: <www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/07/TTAC-FINAL.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

UNITED NATIONS, AND WORLD BANK. **System of national accounts 2008,** 2009.

APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2

Tabelas de resultados das estimações para o indicador de VAB Agropecuário

A seguir, está a tabela com os resultados completos das estimações baseadas na Equação 1 apresentadas por meio de gráficos na seção 4.2.1. Alguns coeficientes já foram reportados no formato de gráficos, indicados na Tabela 13 por “DiD 2011” para o parâmetro β_{2011} , por exemplo, e análogo para os demais β_j . A tabela apresenta os resultados para o indicador de VAB Agropecuário, estando os coeficientes nas linhas e seus respectivos erros-padrão logo abaixo entre colchetes, com o indicativo de significância estatística nos casos em que se aplica. Cada coluna indicada por “GC” indica um grupo de comparação diferente utilizado na análise, sendo eles definidos na seção 3.2.2. A última linha indica o número de observações utilizado em cada estimação dos modelos de regressão.

Tabela 13 — Resultados da avaliação de impactos: VAB Agropecuário (ln)

Coeficiente	GC 1	GC 2	GC 3
DiD 2011	0,0074 [0,0732]	0,0211 [0,0704]	-0,0225 [0,0678]
DiD 2012	0,0251 [0,072]	0,0228 [0,0737]	-0,0146 [0,0763]
DiD 2013	-0,0611 [0,0604]	-0,0888 [0,0604]	-0,0524 [0,0632]
DiD 2014 (ano-base)	0 [.]	0 [.]	0 [.]
DiD 2015	-0,0286 [0,0408]	-0,0106 [0,0383]	-0,0578 [0,0458]
DiD 2016	-0,0269 [0,0518]	-0,0522 [0,0475]	-0,1611 [0,0439]***
DiD 2017	-0,0429 [0,0844]	-0,0856 [0,0751]	-0,2416 [0,0747]***
DiD 2018	-0,0632 [0,0905]	-0,0962 [0,0785]	-0,2491 [0,0742]***
N	1440	1440	1440

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão entre colchetes são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Resultados para os indicadores de Número de Estabelecimento e Área dos Estabelecimentos

A Tabela 14 a seguir reporta os resultados da estimação da Equação 2 de maneira análoga à Tabela 10, considerando os seguintes indicadores de impacto:

- *Número de Estabelecimentos_{mt}*, que corresponde ao número de estabelecimentos agropecuários do município m no ano t . Nas estimações será utilizado o logaritmo natural ($\ln$) da variável, correspondente a $\ln(\text{Número de Estabelecimentos}_{mt})$.
- *Área dos Estabelecimentos_{mt}*, que corresponde à soma de todas⁸⁸ as áreas dos estabelecimentos agropecuários do município m no ano t , medida em hectares. Nas estimações será utilizado o logaritmo natural ($\ln$) da variável, correspondente a $\ln(\text{Área dos Estabelecimentos}_{mt})$.

É possível ver pela Tabela 14 que, para o indicador de número de estabelecimentos, as estimativas de impacto quando se utiliza o GC 1 ou o GC 2 na análise não podem ser consideradas distintas de zero ao nível de 5% (e a 10% também) de significância estatística. Entretanto, para o caso em que se utiliza o GC 3 na análise, o resultado mostra um coeficiente positivo (aproximadamente 0,20) e estatisticamente significativo a 5% (e a 1% também), indicando que o grupo atingido teve a trajetória desde 2006 deste indicador cerca de 20,2% maior, em média, do que seria caso seguisse comportamento similar ao do mesmo indicador do GC 3. Para o caso da área dos estabelecimentos, os resultados indicam coeficientes sempre positivos, mas estatisticamente significantes a 5% apenas no caso do uso do GC 3 (e também o é a 1%). Neste caso a evidência é de que a trajetória do indicador de área para o grupo atingido foi 29,1% maior do que seria, em média, de 2006 a 2017, quando comparada à trajetória do indicador de área para o grupo de comparação 3.

Assim, supondo que as hipóteses do estimador de diferença-em-diferenças são válidas neste caso, o rompimento da Barragem de Fundão teria impactado no sentido de aumentar, em média, os indicadores de número de estabelecimentos e área dos estabelecimentos do grupo atingido, na ordem de 20,2% e 29,1%, respectivamente,

⁸⁸ Cabe mencionar que os resultados encontrados na presente avaliação de impactos para este indicador não diferem quando o indicador de área é construído considerando-se apenas “áreas utilizáveis”, isto é, os seguintes tipos de áreas entre os que estão disponíveis no Censo Agropecuário: áreas com lavouras permanentes ou temporárias, áreas de pastagens naturais, áreas de pastagens em boas condições e áreas de sistemas agroflorestais. Estes resultados não foram apresentados neste relatório por motivos de concisão, mas podem ser obtidos mediante solicitação aos autores.

quando se compara às trajetórias dos mesmos indicadores com as do GC 3. Uma possibilidade é que o aumento visto no indicador de área seja consequência do aumento do indicador de número de estabelecimentos, visto que o indicador de área é definido como a soma das áreas dos estabelecimentos agropecuários localizados no município. No entanto, as análises feitas neste relatório não permitem uma conclusão a este respeito⁸⁹.

Tabela 14 — Resultados da avaliação de impactos: número de estabelecimentos (ln) e área dos estabelecimentos (ln)

Indicador		GC 1	GC 2	GC 3
Número de Estabelecimentos (ln)	DiD	-0,005	-0,013	0,202
	Erro-padrão	0,064	0,065	0,066
	P-valor	0,941	0,836	0,002
	N	360	360	360
Área dos Estabelecimentos (ln)	DiD	0,06	0,076	0,291
	Erro-padrão	0,08	0,077	0,077
	P-valor	0,458	0,324	<0,001
	N	360	360	360

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal.

Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

⁸⁹ Ainda se testou um indicador de área média por estabelecimento, definido como a razão entre o indicador de área e o de número de estabelecimentos, para procurar alguma evidência sobre possíveis impactos na área média dos estabelecimentos. Seguindo uma estimativa tal qual as da Tabela 14, encontram-se coeficientes associados ao rompimento positivos, mas sem significância estatística das respectivas variáveis ao nível de 5%. Assim, existe algum indício de que o aumento de áreas de estabelecimentos tenha acompanhado de maneira “proporcional” o aumento da quantidade de estabelecimentos, isto é, o tamanho médio dos estabelecimentos parece ter se comportado, de 2006 a 2017, de maneira similar entre o grupo atingido e o grupo de comparação 3. Portanto, parece mais plausível que o aumento do indicador de área do grupo atingido em relação ao GC 3 tenha sido por conta do aumento visto no indicador de número de estabelecimentos, ainda que não se possa garantir isso apenas a partir dos dados disponíveis para a análise.

APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.2

Este apêndice objetiva analisar se as escolhas metodológicas realizadas pelos autores quanto ao procedimento de pareamento utilizado para formar os grupos de comparação parecem interferir de forma significativa nos resultados encontrados. São feitas, portanto, novas estimações para fins de análise de robustez dos resultados, nas quais se varia alguma premissa metodológica exposta na seção 3.2.2.

As análises de robustez propostas se dão pela seleção de grupos de comparação alternativos, construídos a partir dos mesmos conjuntos de municípios considerados no processo de pareamento de cada um dos grupos de controle originais (GC 1, GC 2 e GC 3), mas alterando-se as opções de reposição do pareamento (agora, optou-se por utilizar sem reposição) ou a quantidade de vizinhos pareados (agora, decidiu-se utilizar os cinco vizinhos mais próximos). Desta forma, ao utilizar o pareamento sem reposição, pode-se formar um grupo de comparação composto por um número maior de municípios distintos entre si, possivelmente aumentando a precisão nas estimações, porém com um possível aumento de viés nas mesmas. De forma semelhante, quando se utilizam cinco vizinhos no pareamento, preza-se por utilizar mais informações e aumentar a variabilidade, o que pode levar a estimativas mais precisas mas possivelmente também aumentando o viés. Ao todo, são propostos seis novos grupos de comparação, formados a partir das combinações das variações dos três conjuntos possíveis de municípios que podem ser pareados com as duas alternativas diferentes de pareamento. São eles:

- I Mesmos municípios não atingidos que podem ser pareados para formar grupo de comparação 1 (GC 1) — localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos —, sendo selecionados os três vizinhos mais próximos, via pareamento sem reposição. Será indicado nas tabelas a seguir pela combinação “GC 1” e “Sem Rep.”;
- II Mesmos municípios não atingidos que podem ser pareados para formar grupo de comparação 1 (GC 1) — localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos —, sendo selecionados os cinco vizinhos mais próximos, via pareamento com reposição. Será indicado nas tabelas a seguir pela combinação “GC 1” e “5 Viz.”;
- III Mesmos municípios não atingidos que podem ser pareados para formar grupo de comparação 2 (GC 2) — localizados em Minas Gerais, Espírito Santo, norte

do Rio de Janeiro ou sul da Bahia —, sendo selecionados os três vizinhos mais próximos, via pareamento sem reposição. Será indicado nas tabelas a seguir pela combinação “GC 2” e “Sem Rep.”;

- IV Mesmos municípios não atingidos que podem ser pareados para formar grupo de comparação 2 (GC 2) — localizados em Minas Gerais, Espírito Santo, norte do Rio de Janeiro ou sul da Bahia —, sendo selecionados os cinco vizinhos mais próximos, via pareamento com reposição. Será indicado nas tabelas a seguir pela combinação “GC 2” e “5 Viz.”;
- V Mesmos municípios não atingidos que podem ser pareados para formar grupo de comparação 3 (GC 3) — localizados em estados vizinhos a Minas Gerais e Espírito Santo, especificamente, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo —, sendo selecionados os três vizinhos mais próximos, via pareamento sem reposição. Será indicado nas tabelas a seguir pela combinação “GC 3” e “Sem Rep.”;
- VI Mesmos municípios não atingidos que podem ser pareados para formar grupo de comparação 3 (GC 3) — localizados em estados vizinhos a Minas Gerais e Espírito Santo, especificamente, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo —, sendo selecionados os cinco vizinhos mais próximos, via pareamento com reposição. Será indicado nas tabelas a seguir pela combinação “GC 3” e “5 Viz.”.

Assim, serão estimadas um total de seis novas estimações por indicador de impacto (uma por grupo de comparação alternativo). Os resultados são apresentados a seguir.

Para o indicador de Valor Adicionado Bruto Agropecuário (Tabela 15), nota-se que, utilizando cada um dos quatro grupos de comparação alternativos propostos, baseados nos GC 1 e GC 2, os coeficientes estimados para “DiD 2015”, “DiD 2016”, “DiD 2017” e “DiD 2018”, que medem o impacto sobre o indicador após o rompimento, são sempre negativos, embora o impacto não seja estatisticamente diferente de zero ao nível de 5% de significância. Ao utilizar na avaliação os grupos de comparação alternativos baseados no GC 3, no entanto, nota-se coeficientes negativos para os anos após o rompimento e estatisticamente diferentes de zero a um nível de significância de 1% nos anos de 2016, 2017 e 2018. Estes resultados corroboram os resultados apresentados na seção 4.2.1, sendo também a magnitude dos impactos estimados a cada ano similar, o que sugere que estes resultados não são sensíveis ao tipo de pareamento utilizado para a seleção do grupo de comparação.

De forma semelhante, o modelo empregado na seção 4.2.2 foi reestimado utilizando os grupos de comparação alternativos. Em geral, os resultados apresentados na Tabela 16 também se mostram em linha com os resultados apresentados na Tabela 10. Quando se usam os grupos de comparação alternativos baseados no GC 1, é obtido impacto negativo e estatisticamente distinguível de zero, para um nível de significância de 5%, sobre o grupo atingido para os indicadores de Valor de Receita e de Produção por Área (no último caso, apenas ao usar o GC 1 “5 Viz.”). Ao usar os grupos alternativos baseados no GC 2 na avaliação, são observados impactos negativos e estatisticamente diferentes de zero ao nível de 10% de significância para o Valor de Receita e impactos positivos e estatisticamente diferentes de zero ao nível de 5% de significância sobre Valor da Despesa Não Salarial. Por fim, ao utilizar os grupos de comparação alternativos propostos que são baseados no GC 3, são obtidas as seguintes evidências de impacto sobre o grupo atingido: (i) impactos positivos e estatisticamente diferentes de zero a um nível de significância de 10% no Valor da Despesa e no Valor da Despesa Não Salarial; e (ii) impacto negativo e estatisticamente distinguível de zero ao nível de significância de 5% sobre a Produção por Área. Mais uma vez, estes resultados corroboram os resultados apresentados na seção 4.2.2, o que sugere que estes não são sensíveis ao tipo de pareamento utilizado para a seleção dos grupos de comparação.

Tabela 15 — Resultados de análise de robustez por meio do uso de grupos de comparação alternativos: VAB Agropecuário (ln)

	GC 1		GC 2		GC 3	
	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.
DiD 2011	-0,0144 [0,0662]	-0,0098 [0,0696]	0,002 [0,0669]	0,0269 [0,0701]	-0,0277 [0,0655]	-0,0423 [0,0678]
DiD 2012	0,0198 [0,069]	0,0169 [0,0702]	0,0202 [0,0702]	0,0185 [0,0742]	-0,0194 [0,071]	-0,0173 [0,0741]
DiD 2013	-0,0661 [0,0584]	-0,0592 [0,059]	-0,0728 [0,0585]	-0,0781 [0,0587]	-0,0609 [0,0601]	-0,0744 [0,061]
DiD 2014 (ano-base)	0 [.]	0 [.]	0 [.]	0 [.]	0 [.]	0 [.]
DiD 2015	-0,019 [0,036]	-0,023 [0,038]	-0,0354 [0,0364]	-0,0251 [0,0373]	-0,0721 [0,0385]*	-0,0872 [0,0405]**
DiD 2016	-0,0327 [0,0436]	-0,0435 [0,0483]	-0,0777 [0,0441]*	-0,0569 [0,0444]	-0,1557 [0,0426]***	-0,1633 [0,042]***
DiD 2017	-0,0552 [0,0743]	-0,0763 [0,0805]	-0,0658 [0,0716]	-0,062 [0,0737]	-0,2349 [0,0716]***	-0,2479 [0,0722]***
DiD 2018	-0,0774 [0,0788]	-0,0986 [0,0852]	-0,0871 [0,076]	-0,0797 [0,0774]	-0,2346 [0,0738]***	-0,2504 [0,0732]***
N	1440	2160	1440	2160	1440	2160

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão entre colchetes são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. Os municípios do grupo de comparação foram selecionados por pareamento de duas formas distintas: (i) três vizinhos mais próximos sem reposição via distância de Mahalanobis (“Sem Rep”) e (ii) cinco vizinhos mais próximos com reposição via distância de Mahalanobis (“5 Viz”). O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Tabela 16 — Resultados de análise de robustez por meio do uso de grupos de comparação alternativos: indicadores do Censo Agropecuário

Indicador		GC 1		GC 2		GC 3	
		Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.
Valor da Produção (ln)	DiD	-0,098	-0,111	-0,013	-0,044	0,105	0,024
	Erro-padrão	0,102	0,106	0,101	0,104	0,11	0,11
	P-valor	0,342	0,293	0,902	0,673	0,342	0,826
	N	360	540	360	540	360	540
Valor da Receita (ln)	DiD	-0,238	-0,27	-0,195	-0,238	0,166	0,129
	Erro-padrão	0,109	0,111	0,108	0,114	0,117	0,119
	P-valor	0,03	0,016	0,073	0,037	0,158	0,278
	N	360	540	360	540	360	540

Indicador		GC 1		GC 2		GC 3	
		Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.
Valor da Despesa (ln)	DiD	0,105	0,085	0,216	0,197	0,312	0,271
	Erro-padrão	0,141	0,143	0,142	0,142	0,148	0,147
	P-valor	0,458	0,552	0,131	0,167	0,036	0,067
	N	360	540	360	540	360	540
Produção por Área (ln)	DiD	-0,158	-0,199	-0,102	-0,129	-0,215	-0,262
	Erro-padrão	0,095	0,098	0,094	0,096	0,102	0,104
	P-valor	0,098	0,044	0,275	0,179	0,037	0,013
	N	360	540	360	540	360	540
Valor da Despesa não salarial (ln)	DiD	0,113	0,091	0,236	0,213	0,334	0,283
	Erro-padrão	0,143	0,145	0,144	0,145	0,15	0,149
	P-valor	0,43	0,533	0,104	0,143	0,027	0,06
	N	360	540	360	540	360	540

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal.

Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. Os municípios do grupo de comparação foram selecionados por pareamento de duas formas distintas: (i) três vizinhos mais próximos sem reposição via distância de Mahalanobis ("Sem Rep") e (ii) cinco vizinhos mais próximos com reposição via distância de Mahalanobis ("5 Viz"). O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

APÊNDICE B — Tabelas suplementares da seção 4.3

Tabelas de estatísticas descritivas de média para o indicador de VAB Agropecuário

Nas tabelas a seguir, estão disponíveis estatísticas descritivas de média para os indicadores de Valor Adicionado Bruto do setor agropecuário (Tabela 17) e dos indicadores derivados do Censo Agropecuário (Tabela 18). Os valores foram computados por ano e por grupos de municípios de interesse: atingido (nesse caso, apenas os 36 localizados no Alto Rio Doce e no Baixo Rio Doce) e de comparação (três versões, construídas de acordo o descrito nas seções 3.2.2 e 4.3). Como destacado na seção 4.1.1, os valores para os grupos de comparação (indicados pelas colunas “Grupo de comp.”) são referentes apenas àqueles selecionados como vizinhos mais próximos a algum dos atingidos. Ainda, cabe mencionar que estas duas tabelas contêm informações usadas para calcular alguns dos valores sobre o impacto médio a partir dos resultados na seção 4.3.

Tabela 17 — Estatística descritiva: média do VAB Agro por grupos de municípios para o Alto e Médio Rio Doce, 2011 a 2018 (em mil Reais de 2017)

Ano	Grupo Atingido	Grupo de comp. 1	Grupo de comp. 2	Grupo de comp. 3
2011	18.719	17.985	34.797	35.270
2012	16.961	15.273	32.293	34.238
2013	16.483	15.774	32.372	37.947
2014	17.998	16.599	32.046	38.083
2015	15.847	14.892	27.802	36.490
2016	17.634	15.953	36.249	42.273
2017	15.495	13.900	32.907	38.168
2018	12.925	11.971	27.353	33.525

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: Valores em mil Reais de 2017, calculados por meio do deflator implícito do PIB.

Tabela 18 — Estatística descritiva: média dos indicadores derivados do Censo Agropecuário por grupos de municípios para o Alto e Médio Rio Doce, 2006 e 2017 (em mil Reais de setembro/2017)

Indicador	Ano	Grupo Atingido	Grupo de comp. 1	Grupo de comp. 2	Grupo de comp. 3
Valor da Produção	2006	27.463	21.133	37.749	40.931
	2017	33.131	34.674	63.643	61.177
Valor da Receita	2006	23.375	17.395	32.058	38.022
	2017	39.846	42.280	72.439	66.610
Valor da Despesa	2006	15.369	12.884	27.032	24.939
	2017	29.220	27.654	53.595	43.411
Produção por área (mil R\$ por ha)	2006	1,052	1,127	0,961	1,518
	2017	0,989	1,700	1,285	2,080
Despesa não salarial	2006	11.086	8.374	19.730	19.717
	2017	23.378	21.065	42.962	34.627

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: Valores monetários em mil Reais de setembro de 2017 por meio do IPCA.

Tabelas de resultados das estimações para o indicador de VAB Agropecuário

A seguir, está a tabela com os resultados completos das estimações baseadas na Equação 1 e já apresentados nos gráficos da seção 4.3.1. A tabela apresenta os resultados para o indicador de VAB Agropecuário, estando os coeficientes nas linhas e seus respectivos erros-padrão logo abaixo entre colchetes, com o indicativo de significância estatística nos casos em que se aplica. Cada coluna indicada por “GC” indica um grupo de comparação diferente utilizado nas estimações, sendo os GCs construídos conforme exposto nas seções 3.2.2 e 4.3. A última linha indica o número de observações utilizado em cada estimativa dos modelos de regressão.

Tabela 19 — Resultados da avaliação de impactos para o Alto e Médio Rio Doce: VAB Agropecuário (ln)

Coeficiente	GC 1	GC 2	GC 3
DiD 2011	0,0338 [0,0871]	0,0017 [0,0848]	-0,026 [0,0821]
DiD 2012	0,0435 [0,0891]	0,0251 [0,091]	0,0027 [0,0945]
DiD 2013	-0,0677 [0,0739]	-0,1005 [0,0742]	-0,0181 [0,0778]
DiD 2014 (ano-base)	0 [.]	0 [.]	0 [.]
DiD 2015	-0,0424 [0,0479]	-0,0062 [0,0457]	-0,0917 [0,0562]
DiD 2016	-0,0331 [0,0587]	-0,0139 [0,0525]	-0,0899 [0,048]*
DiD 2017	-0,0563	-0,0614	-0,2163

Coeficiente	GC 1	GC 2	GC 3
DiD 2018	[0,1026] -0,1048 [0,1063]	[0,088] -0,1186 [0,0922]	[0,0878]** -0,2845 [0,0855]***
N	1152	1152	1152

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão entre colchetes são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. A amostra de municípios atingidos inclui apenas aqueles localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Resultados para os indicadores de Número de Estabelecimento e Área dos Estabelecimentos

A Tabela 20 reporta os resultados da estimação considerando os indicadores de Número de Estabelecimentos Agropecuários e de Área dos Estabelecimentos Agropecuários para o grupo de municípios atingidos localizados no recorte geográfico do Alto Rio Doce e do Médio Rio Doce. As definições de tais indicadores estão no APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2. Pode-se ver que as conclusões vão no mesmo sentido do que as encontradas para o caso que utiliza a amostra completa dos 45 municípios considerados atingidos: há um aumento no indicador de número de estabelecimentos (17,2%) e no indicador de área dos estabelecimentos do município (34,5%), que podem ser atribuídos ao rompimento, vistos apenas quando se utiliza o grupo de comparação 3 para fazer a avaliação de impactos.

Tabela 20 — Resultados da avaliação de impactos para o Alto e Médio Rio Doce: Número de Estabelecimentos (ln) e Área dos estabelecimentos (ln)

Indicador		GC 1	GC 2	GC 3
Número de Estabelecimentos (ln)	DiD	0,026	0,001	0,172
	Erro-padrão	0,073	0,075	0,078
	P-valor	0,725	0,985	0,029
	N	288	288	288
Área dos Estabelecimentos (ln)	DiD	0,112	0,11	0,345
	Erro-padrão	0,096	0,092	0,093
	P-valor	0,244	0,236	<0,001
	N	288	288	288

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal.

Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. A amostra de municípios atingidos inclui apenas aqueles localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce. O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

APÊNDICE B.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.3

Esta seção contém os resultados de estimações que visam analisar a robustez dos resultados apresentados na seção 4.3. Nos resultados apresentados a seguir, foram estimados os mesmos modelos propostos na seção 3.1.1, tendo sido utilizados procedimentos similares aos descritos no APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.2 para a proposição de grupos de comparação alternativos adicionais. Neste caso, convém lembrar que o foco está em considerar na amostra de municípios atingidos somente aqueles situados no Alto e Médio Rio Doce, conforme visto na seção 4.3.

A Tabela 21 apresenta os resultados do impacto sobre o VAB Agropecuário para os municípios situados no Alto e Médio Rio Doce. Os resultados são semelhantes aos resultados da Figura 8: (i) impactos negativos mas estatisticamente não distinguíveis de zero quando se usam na avaliação os grupos de comparação baseados no GC 1 e no GC 2; e (ii) impactos negativos e estatisticamente diferentes de zero, para um nível de significância de 5%, quando se utilizam os grupos de comparação baseados no GC 3.

De forma análoga, a Tabela 22, apresenta os resultados sobre os indicadores de impacto provenientes do Censo Agropecuário. Reafirma-se a semelhança dos resultados obtidos na seção 4.3 (especificamente, na Tabela 11) em termos de significância, magnitude e direção para a grande maioria dos indicadores de impacto, com estes resultados obtidos a partir do uso de grupos de comparação alternativos.

Tabela 21 — Resultados de análise de robustez por meio do uso de grupos de comparação alternativos para o Alto e Médio Rio Doce: VAB Agropecuário (ln)

	GC 1		GC 2		GC 3	
	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.
DiD 2011	-0,0066 [0,0795]	-0,0036 [0,0821]	-0,0125 [0,0812]	0,0112 [0,0852]	-0,0262 [0,0783]	-0,0517 [0,082]
DiD 2012	0,0248 [0,0852]	0,0241 [0,0859]	0,023 [0,0869]	0,0191 [0,092]	-0,0017 [0,0869]	-0,0076 [0,0913]
DiD 2013	-0,0682 [0,0722]	-0,0632 [0,0729]	-0,0817 [0,0724]	-0,0864 [0,0726]	-0,0323 [0,0736]	-0,0412 [0,0747]
DiD 2014 (ano-base)	0 [.]	0 [.]	0 [.]	0 [.]	0 [.]	0 [.]
DiD 2015	-0,0154 [0,0427]	-0,0293 [0,0449]	-0,0287 [0,0433]	-0,0158 [0,044]	-0,1069 [0,0461]**	-0,1117 [0,0486]**
DiD 2016	-0,0166 [0,0482]	-0,033 [0,0532]	-0,0316 [0,0491]	-0,0153 [0,0497]	-0,0905 [0,046]*	-0,098 [0,0457]**
DiD 2017	-0,0655 [0,0901]	-0,1015 [0,0963]	-0,0492 [0,0852]	-0,0511 [0,0867]	-0,2139 [0,0842]**	-0,2334 [0,0852]***
DiD 2018	-0,1195 [0,0928]	-0,1435 [0,0989]	-0,1036 [0,0886]	-0,1073 [0,0908]	-0,2739 [0,085]***	-0,2957 [0,0846]***
N	1152	1728	1152	1728	1152	1728

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão entre colchetes são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. A amostra de municípios atingidos inclui apenas aqueles localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce. Os municípios do grupo de comparação foram selecionados por pareamento de duas formas distintas: (i) três vizinhos mais próximos sem reposição via distância de Mahalanobis ("Sem Rep") e (ii) cinco vizinhos mais próximos com reposição via distância de Mahalanobis ("5 Viz"). O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

Tabela 22 — Resultados de análise de robustez por meio do uso de grupos de comparação alternativos para o Alto e Médio Rio Doce: Indicadores do Censo Agropecuário

Indicador		GC 1		GC 2		GC 3	
		Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.
Valor da Produção (ln)	DiD	-0,122	-0,126	-0,023	-0,064	0,027	-0,043
	Erro-padrão	0,125	0,129	0,123	0,126	0,129	0,131
	P-valor	0,33	0,329	0,853	0,61	0,832	0,745
	N	288	432	288	432	288	432
Valor da Receita (ln)	DiD	-0,308	-0,343	-0,274	-0,346	0,009	0,008
	Erro-padrão	0,12	0,121	0,116	0,122	0,125	0,126
	P-valor	0,011	0,005	0,02	0,005	0,94	0,949
	N	288	432	288	432	288	432
Valor da Despesa (ln)	DiD	0,181	0,148	0,255	0,211	0,293	0,311
	Erro-padrão	0,159	0,16	0,16	0,159	0,164	0,166
	P-valor	0,257	0,357	0,112	0,187	0,076	0,063
	N	288	432	288	432	288	432
Produção por Área (ln)	DiD	-0,238	-0,259	-0,149	-0,179	-0,33	-0,386
	Erro-padrão	0,115	0,119	0,113	0,115	0,12	0,124
	P-valor	0,04	0,031	0,188	0,123	0,007	0,002
	N	288	432	288	432	288	432
Valor da Despesa não salarial (ln)	DiD	0,292	0,234	0,398	0,342	0,447	0,429
	Erro-padrão	0,184	0,185	0,185	0,185	0,189	0,195
	P-valor	0,113	0,208	0,033	0,066	0,02	0,029
	N	288	432	288	432	288	432

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal.

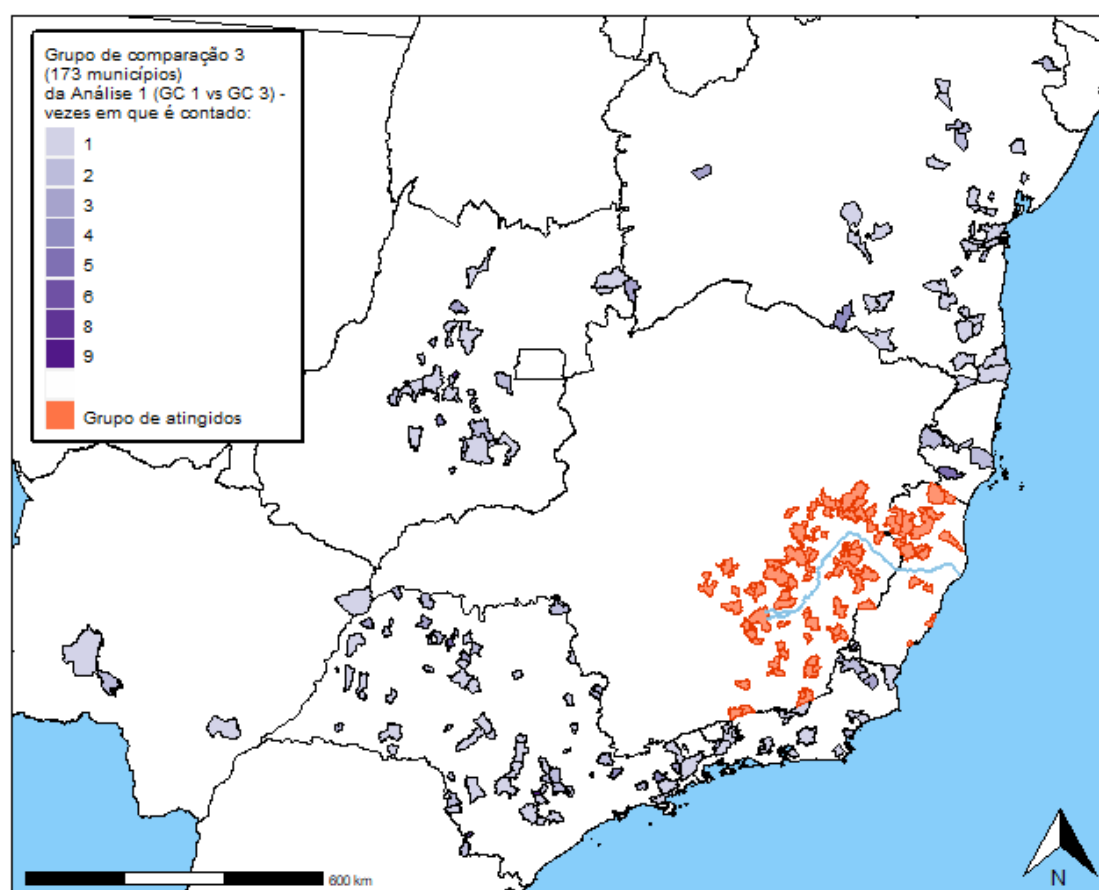
Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. A amostra de municípios atingidos inclui apenas aqueles localizados nos recortes geográficos do Alto Rio Doce ou Médio Rio Doce. Os municípios do grupo de comparação foram selecionados por pareamento de duas formas distintas: (i) três vizinhos mais próximos sem reposição via distância de Mahalanobis ("Sem Rep") e (ii) cinco vizinhos mais próximos com reposição via distância de Mahalanobis ("5 Viz"). O grupo de comparação 1 (GC 1) é composto por municípios não atingidos localizados nas mesmas mesorregiões onde se situam os municípios atingidos e pareados aos atingidos. O grupo de comparação 2 (GC 2) é composto por municípios não atingidos de Minas Gerais, Espírito Santo, sul da Bahia e norte do Rio de Janeiro pareados aos atingidos. O grupo de comparação 3 (GC 3) é composto por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados aos atingidos.

APÊNDICE C — Tabelas e mapas suplementares da seção 4.4

Mapas com a ilustração dos grupos de comparação utilizados nas análises sobre transbordamento dos impactos em outros municípios

Na Figura 10 e na Figura 11, são exibidos os municípios selecionados para compor os GCs das duas análises de transbordamento de impactos feitas na seção 4.4. Em cada uma delas, está indicada a localização dos municípios “atingidos” de cada análise (GC 1 ou GC 2 originais), bem como a dos municípios selecionados para compor o grupo de comparação, além da quantidade de vezes com a qual cada município foi selecionado como par de algum dos considerados atingidos nesta análise específica.

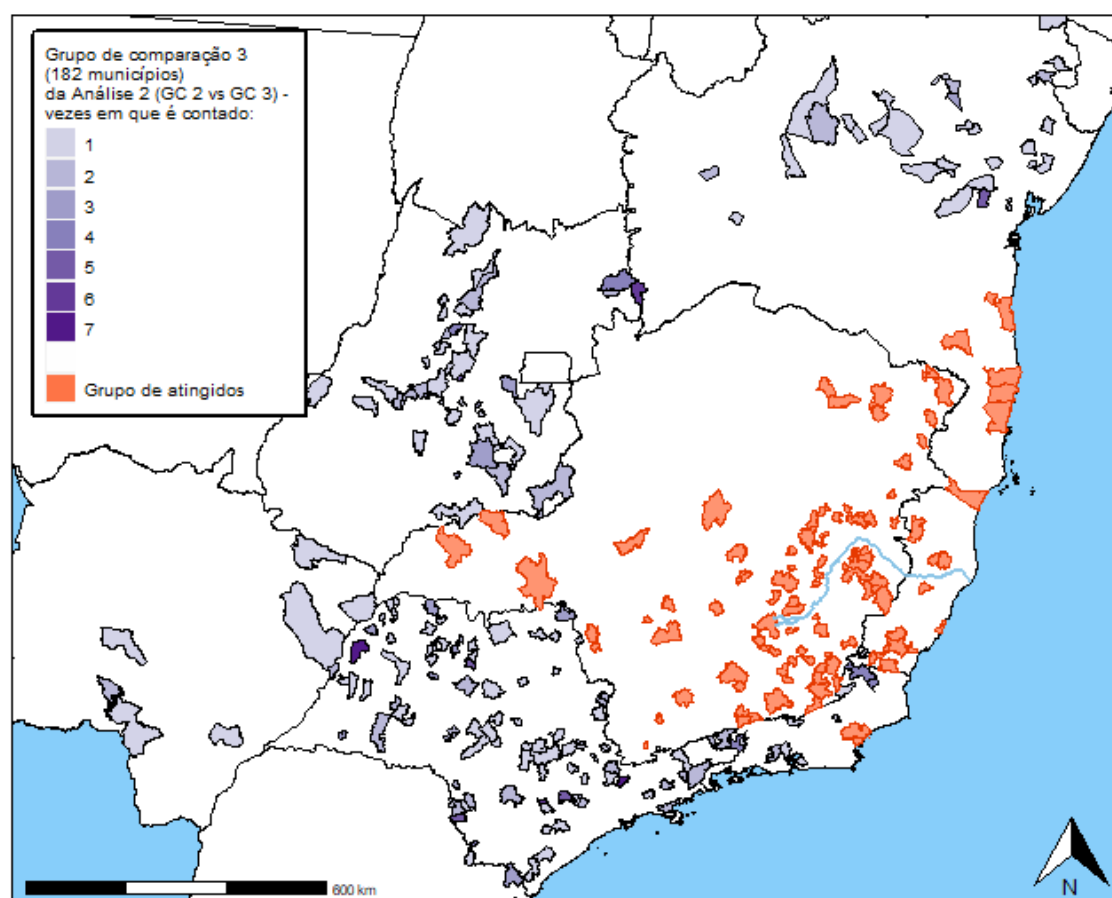
Figura 10 — Mapa ilustrando o grupo “atingido” e o grupo de comparação para a Análise 1 sobre transbordamento de impactos (GC 1 vs. GC 3)



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE), do Censo Demográfico (IBGE) e de bases cartográficas (ANA e IBGE).

Observações: O grupo atingido é definido a partir dos municípios pareados que constituem o grupo de comparação 1 do modelo original. Nesta análise, o grupo de comparação 1 (GC 1) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado é formado por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados a eles.

Figura 11 — Mapa ilustrando o grupo “atingido” e o grupo de comparação para a Análise 2 sobre transbordamento de impactos (GC 2 vs. GC 3)



Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE), do Censo Demográfico (IBGE) e de bases cartográficas (ANA e IBGE).

Observações: O grupo atingido é definido a partir dos municípios pareados que constituem o grupo de comparação 2 do modelo original. Nesta análise, o grupo de comparação 2 (GC 2) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado é formado por municípios não atingidos da Bahia (exceto mesorregiões “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”), Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro (exceto mesorregiões “Norte Fluminense” e “Baixadas”) e São Paulo pareados a eles.

Tabelas de resultados para as estimações para o indicador de VAB Agropecuário na análise de transbordamento

A seguir, está a tabela com os resultados completos das estimações baseadas na Equação 1, já apresentados nos gráficos da seção 4.4.1. A tabela apresenta os resultados para o indicador de VAB Agropecuário, estando os coeficientes nas linhas e seus respectivos erros-padrão logo abaixo entre colchetes, com o indicativo de significância estatística nos casos em que se aplica. As duas colunas mais à direita indicam as duas análises sendo realizadas no exercício de transbordamento, definidas na seção 4.4. A última linha indica o número de observações utilizado em cada estimação dos modelos de regressão.

Tabela 23 — Resultados da avaliação de impactos para a análise de transbordamento: VAB Agropecuário (ln)

Coeficiente	Análise 1: GC 1 vs GC 3	Análise 2: GC 2 vs GC 3
DiD 2011	-0,0738 [0,0544]	-0,1087 [0,0508]**
DiD 2012	-0,0891 [0,0413]**	-0,1075 [0,0456]**
DiD 2013	-0,0347 [0,0321]	0,0021 [0,031]
DiD 2014 (ano-base)	0 [.]	0 [.]
DiD 2015	-0,0811 [0,0324]**	-0,0854 [0,029]***
DiD 2016	-0,1074 [0,0425]**	-0,1237 [0,0361]***
DiD 2017	-0,1856 [0,0631]***	-0,1835 [0,048]***
DiD 2018	-0,1972 [0,0648]***	-0,1974 [0,0467]***
N	3216	3504

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão entre colchetes são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. O grupo “atingido” é definido a partir dos municípios pareados dos grupos de comparação 1 ou 2 do modelo original. Análise 1: o grupo de comparação 1 (GC 1) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado é formado por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados a eles. Análise 2: o grupo de comparação 2 (GC 2) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia (exceto mesorregiões “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”), Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro (exceto mesorregiões “Norte Fluminense” e “Baixadas”) e São Paulo pareados a eles.

Resultados para os indicadores de Número de Estabelecimento e Área dos Estabelecimentos na análise de transbordamento

A Tabela 24 reporta os resultados da estimação considerando os indicadores de Número de Estabelecimentos Agropecuários e de Área dos Estabelecimentos Agropecuários para as duas análises de transbordamento de impactos. As definições de tais indicadores estão no APÊNDICE A — Tabelas suplementares da seção 4.2. Pode-se ver que as conclusões vão no mesmo sentido que as encontradas para o caso que utiliza a amostra original dos 45 municípios atingidos: aumento no indicador de número de estabelecimentos (17,7% e 21% para GC 1 e GC 2, respectivamente) e no indicador de área dos estabelecimentos do município (22,3% e 23,3% para GC 1 e GC 2, respectivamente) atribuídos ao rompimento, quando se toma como aproximação do cenário contrafactual a trajetória de 2006 a 2017 dos dois indicadores para os

respectivos grupos de comparação 3. Assim, em ambos os indicadores parece ter ocorrido um efeito de transbordamento de impactos do rompimento.

Tabela 24 — Resultados da avaliação de impactos para a análise de transbordamento: Número de Estabelecimentos (ln) e Área dos estabelecimentos (ln)

Indicador	Análise 1: GC 1 vs GC 3		Análise 2: GC 2 vs GC 3	
Número de Estabelecimentos (ln)	DiD	0,177	0,21	
	Erro-padrão	0,048	0,048	
	P-valor	<0,001	<0,001	
	N	804	876	
Área dos Estabelecimentos (ln)	DiD	0,223	0,233	
	Erro-padrão	0,046	0,042	
	P-valor	<0,001	<0,001	
	N	804	876	

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. O grupo “atingido” é definido a partir dos municípios pareados dos grupos de comparação 1 ou 2 do modelo original. Análise 1: o grupo de comparação 1 (GC 1) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado é formado por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados a eles. Análise 2: o grupo de comparação 2 (GC 2) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia (exceto mesorregiões “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”), Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro (exceto mesorregiões “Norte Fluminense” e “Baixadas”) e São Paulo pareados a eles.

APÊNDICE C.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.4

Este apêndice contém os resultados de estimações que visam realizar uma análise da robustez dos resultados obtidos na seção 4.4 ao método de pareamento utilizado para construir os grupos de comparação usados na avaliação de transbordamento de impactos em outros municípios. Nos resultados apresentados a seguir, foram estimados os mesmos modelos propostos na seção 3.1.1, tendo sido utilizados procedimentos similares aos descritos no APÊNDICE A.1 — Análises de robustez dos resultados da seção 4.2 para a proposição de grupos de comparação alternativos adicionais. Neste caso, a variação refere-se a reestimar os mesmos modelos para fins de análise de sensibilidade dos resultados das duas análises apresentadas na seção 4.4.

A Tabela 25 apresenta os resultados para essa análise de robustez considerando o indicador de impacto VAB Agropecuário. Os resultados são semelhantes àqueles vistos

na Figura 9: notam-se impactos negativos e estatisticamente diferentes de zero ao nível de significância de 5% (e também de 1%, na maioria dos casos), independentemente da versão alternativa de pareamento utilizada. De forma análoga, a Tabela 26, apresenta os resultados sobre os indicadores de impacto provenientes do Censo Agropecuário, e reafirma-se a semelhança dos resultados obtidos ao usar estes grupos de comparação alternativos aos resultados apresentados na Tabela 12, em termos de significância, magnitude e sinal do impacto estimado.

Tabela 25 — Resultados de análise de robustez por meio do uso de grupos de comparação alternativos para a análise de transbordamento: VAB Agropecuário (ln)

	Análise 1: GC 1 vs GC 3		Análise 2: GC 2 vs GC 3	
	Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.
DiD 2011	-0,0575 [0,0479]	-0,0879 [0,0519]*	-0,1069 [0,0427]**	-0,1162 [0,0477]**
DiD 2012	-0,0781 [0,0368]**	-0,0965 [0,0393]**	-0,1046 [0,0392]***	-0,1143 [0,0434]***
DiD 2013	-0,022 [0,027]	-0,0297 [0,0303]	-0,0244 [0,0273]	0,0008 [0,03]
DiD 2014 (ano-base)	0 [.]	0 [.]	0 [.]	0 [.]
DiD 2015	-0,0716 [0,0284]**	-0,0806 [0,0329]**	-0,0783 [0,0245]***	-0,0715 [0,0313]**
DiD 2016	-0,1245 [0,0396]***	-0,1241 [0,0417]***	-0,1349 [0,0334]***	-0,1088 [0,0343]***
DiD 2017	-0,1722 [0,0591]***	-0,1945 [0,0615]***	-0,1904 [0,0436]***	-0,1708 [0,0464]***
DiD 2018	-0,1905 [0,0629]***	-0,2018 [0,064]***	-0,2273 [0,0436]***	-0,191 [0,0451]***
N	3216	4640	3504	5120

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Produto Interno Bruto Municipal (IBGE) de 2011 a 2018.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão entre colchetes são robustos a autocorrelação municipal. Os dados são organizados de maneira anual, de 2011 a 2018. A variável dependente do modelo é o logaritmo natural do Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário. Os municípios do grupo de comparação foram selecionados por pareamento de duas formas distintas: (i) três vizinhos mais próximos sem reposição via distância de Mahalanobis (“Sem Rep”) e (ii) cinco vizinhos mais próximos com reposição via distância de Mahalanobis (“5 Viz”). O grupo “atingido” é definido a partir dos municípios pareados dos grupos de comparação 1 ou 2 do modelo original. Análise 1: o grupo de comparação 1 (GC 1) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado é formado por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados a eles. Análise 2: o grupo de comparação 2 (GC 2) é definido como grupo “atingido” e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia (exceto mesorregiões “Centro Sul Baiano” e “Sul Baiano”), Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro (exceto mesorregiões “Norte Fluminense” e “Baixadas”) e São Paulo pareados a eles.

Tabela 26 — Resultados de análise de robustez por meio do uso de grupos de comparação alternativos para a análise de transbordamento: Indicadores derivados do Censo Agropecuário

Indicador		Análise 1: GC 1 vs GC 3		Análise 2: GC 2 vs GC 3	
		Sem Rep.	5 Viz.	Sem Rep.	5 Viz.
Valor da Produção (ln)	DiD	0,127	0,136	0,042	0,013
	Erro-padrão	0,078	0,087	0,066	0,072
	P-valor	0,106	0,119	0,524	0,858
	N	804	1160	876	1280
Valor da Receita (ln)	DiD	0,327	0,352	0,345	0,289
	Erro-padrão	0,084	0,093	0,088	0,093
	P-valor	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
	N	804	1160	876	1280
Valor da Despesa (ln)	DiD	0,158	0,176	0,097	0,099
	Erro-padrão	0,075	0,08	0,077	0,082
	P-valor	0,036	0,029	0,205	0,233
	N	804	1160	876	1280
Produção por Área (ln)	DiD	-0,072	-0,067	-0,161	-0,205
	Erro-padrão	0,077	0,085	0,062	0,069
	P-valor	0,353	0,43	0,009	0,003
	N	804	1160	876	1280
Valor da Despesa não salarial (ln)	DiD	0,221	0,219	0,117	0,127
	Erro-padrão	0,085	0,09	0,081	0,089
	P-valor	0,01	0,015	0,148	0,153
	N	802	1158	874	1280

Fonte: Elaboração própria (2021) com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE) de 2006 e 2017.

Observações: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. A especificação do modelo inclui ainda efeitos fixos de tempo e município. Os erros-padrão são robustos a autocorrelação municipal.

Os dados são referentes a 2006 (pré-rompimento) ou 2017 (pós-rompimento). A variável dependente do modelo está indicada pela coluna mais à esquerda. Os municípios do grupo de comparação foram selecionados por pareamento de duas formas distintas: (i) três vizinhos mais próximos sem reposição via distância de Mahalanobis ("Sem Rep") e (ii) cinco vizinhos mais próximos com reposição via distância de Mahalanobis ("5 Viz"). O grupo "atingido" é definido a partir dos municípios pareados dos grupos de comparação 1 ou 2 do modelo original.

Análise 1: o grupo de comparação 1 (GC 1) é definido como grupo "atingido" e o grupo de comparação utilizado é formado por municípios não atingidos da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo pareados a eles. Análise 2: o grupo de comparação 2 (GC 2) é definido como grupo "atingido" e o grupo de comparação utilizado são os municípios não atingidos da Bahia (exceto mesorregiões "Centro Sul Baiano" e "Sul Baiano"), Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro (exceto mesorregiões "Norte Fluminense" e "Baixadas") e São Paulo pareados a eles.