

AVALIAÇÃO DO DESASTRE DE BRUMADINHO NO DESEMPENHO ECONÔMICO EM MINAS GERAIS

Resumo: O objetivo do artigo é avaliar o impacto do desastre de Brumadinho no desempenho econômico em Minas Gerais. Quanto à estratégia empírica, elaboraram-se trajetórias contrafactuais para a economia de Minas Gerais, por meio do controle sintético, para se obter o efeito deste desastre tecnológico. Além das defasagens temporais da variável de resultado, o avanço metodológico foi utilizar também as defasagens espaciais da variável de resultado para gerar as trajetórias contrafactuais com o menor erro quadrático médio de previsão (MPSE). Os resultados revelam que o setor industrial de Minas Gerais não foi impactado pelo desastre de Brumadinho.

Palavras-chave: Brumadinho. Desastre Tecnológico. Controle Sintético. Defasagens Espaciais.

EVALUATION OF THE BRUMADINHO DISASTER ON ECONOMIC PERFORMANCE IN MINAS GERAIS

Abstract: This study aims at evaluating the impact of the Brumadinho disaster on economic performance in Minas Gerais. As for empirical strategy, counterfactual trajectories for Minas Gerais were elaborated in order to obtain the effect of this technological disaster. In addition to serially lagged response variables, the methodological advance was also to use the spatially lagged response variable to generate the counterfactual trajectories with the lowest mean squared prediction error (MSPE). The results reveal that the industrial sector in the state of Minas Gerais was not impacted by the Brumadinho disaster.

Keywords: Brumadinho. Technological Disaster. Synthetic Control. Spatial Lags.

JEL: C15; O1; Q54; R11.

Lucas Siqueira de Castro: Professor do Departamento de Economia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: lucancastro@hotmail.com

Eduardo Simões de Almeida: Professor do Departamento de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG, Brasil. E-mail: edualmei@gmail.com

Área ANPEC: Área 10 - Economia Regional e Urbana

Introdução

A relação entre os recursos naturais, sobretudo a exploração mineral, e o desenvolvimento das nações não é recente, sendo discutida na literatura econômica desde Adam Smith em 1776. No Brasil, por exemplo, essa associação pode ser estabelecida a partir do século XVII, com o primeiro grande ciclo mineral proporcionado pelo ouro (Minas Gerais e Goiás), tornando-se o maior produtor mundial à época. O segundo grande ciclo mineral, por sua vez, ocorreu no século XX, proporcionado pelas jazidas de manganês (Amapá), petróleo, ferro (Minas Gerais), carvão (Paraná e Rio Grande do Sul), cobre (Rio Grande do Sul), chumbo (Bahia e Minas Gerais), nióbio (Minas Gerais), bauxita (Minas Gerais e Pará), estanho (Rondônia), dentre outras (BARRETO, 2001).

Em 2018, a indústria extrativa mineral contribuiu com 1,4% do PIB brasileiro, gerando diretamente cerca de 195 mil postos de trabalho (IBGE, 2020). Entre os produtos de destaque, o país figura como o maior produtor mundial de nióbio e o segundo maior de ferro. A participação na balança comercial brasileira é expressiva: entre bens primários, semimanufaturados, manufaturados e compostos químicos, registrou-se o saldo de aproximadamente 35 bilhões de dólares (ANM, 2020).

Para dar suporte à atividade da mineração, barragens de rejeitos são construídas, respeitando a legislação ambiental. Em fevereiro de 2019 o país registrou a existência de 769 barragens, das quais 425 foram enquadradas no Sistema Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Do total de barragens, 45,6% se concentraram em Minas Gerais e 13,5% no Pará (ANM, 2020).

Embora com baixa probabilidade, situações que resultem em rupturas de barragens já ocorreram em diferentes países. Segundo o banco de dados *World Mine Tailings Failures*, entre os anos de 1915 e 2019, foram computados 356 casos em todo o mundo (WMTF, 2019). Frequentemente, de acordo com Duarte (2008), duas são as causas estabelecidas para os rompimentos, a saber, fenômenos naturais de grandes proporções e falhas no planejamento estrutural (operação, manutenção e segurança). Os resultados destes eventos geram danos socioeconômicos e ambientais, bem como o reordenamento populacional/territorial.

No estado de Minas Gerais, o contexto envolvendo o risco de acidentes não é diferente. Levando-se em conta o período entre 1986 e 2019, foram registrados ao menos sete rompimentos de barragens de rejeitos minerais, sendo os dois últimos considerados desastres tecnológicos de grandes proporções, tanto em nível nacional quanto em mundial: Mina do Pico de São Luiz (1986) - Itabirito; Macacos (2001) – Nova Lima; Florestal Cataguases Ltda (2003) – Zona da Mata Mineira; São Francisco da Mineradora Rio Pomba Cataguases Ltda (2007) – Mirai; B1 da Herculano Mineradora (2014) – Itabirito; Fundação da Mineradora Samarco S.A. (2015) – Mariana; Córrego do Feijão da Vale S.A. (2019) – Brumadinho.

Na tentativa de estimar os impactos de desastres tecnológicos no Brasil, cinco foram os estudos encontrados na literatura, sendo quatro relacionados à barragem de Mariana. Por exemplo, Simonato (2017) simulou os impactos econômicos regionais do rompimento da barragem de Mariana. Para tanto, foi elaborado um modelo dinâmico de equilíbrio geral computável, capaz de calcular os efeitos em municípios direta e indiretamente afetados entre os anos de 2016 e 2020. De maneira geral, os resultados mostraram que o período de tempo estipulado se revelou insuficiente para a recuperação dos níveis de produção, consumo das famílias, emprego, investimento e comércio registrados anteriormente.

Já Silva *et al.* (2019) averiguaram a capacidade de resiliência econômica dos municípios mineiros atingidos pelo rompimento da barragem de Mariana. Metodologicamente, aplicou-se o indicador de resistência econômica de Martin *et al.* (2016), além do método *shift-share*. Chegou-se à conclusão de que a especialização produtiva, atrelada ao baixo dinamismo

econômico dos setores restantes, foram os motivos que afetaram a capacidade de recuperação pós-choque dos municípios mineiros investigados.

Castro e Almeida (2019) estudaram como o desastre de Mariana afetou as economias de Minas Gerais e do Espírito Santo. Para este fim, os autores elaboraram controles sintéticos para obter grupos de comparação contrafactual. De fato, foram computadas perdas nos Estados, seja pela produção industrial geral, apenas no Espírito Santo, ou pela produção extrativa mineral, em ambos. Todavia, foi no Espírito Santo onde o choque negativo foi maior. Uma possível explicação para isso relaciona-se à grande dependência do setor extrativista mineral em sua economia, em comparação à de Minas Gerais.

Niquito *et al.* (2019) analisaram os impactos econômicos de curto prazo do rompimento da barragem de Mariana na renda e no emprego. Por meio da técnica de diferenças-em-diferenças, foram encontrados impactos diretos negativos em relação ao PIB geral, ao PIB industrial, ao emprego industrial, à produção de produtos de metal e vestuários e acessórios.

Com um enfoque alternativo, Domingues *et al.* (2020) projetaram impactos econômicos oriundos da suspensão parcial da atividade de mineração de Minas Gerais, devido ao desastre de Brumadinho. Tendo como base os modelos de equilíbrio geral computável, foram observados efeitos negativos em variados setores da economia. No curto prazo, a queda estimada no PIB foi de 0,47%. No longo prazo, além da queda de 0,6% no PIB, também foram afetados os níveis de consumo das famílias, investimento e emprego.

A partir desta revisão de literatura selecionada, percebe-se que, nacionalmente, os trabalhos investigaram, em sua maioria, o desastre de Mariana. Deste modo, este artigo busca avaliar o impacto do desastre tecnológico de Brumadinho no desempenho econômico de Minas Gerais. Para tal finalidade, será construída uma trajetória para Minas Gerais na qual não ocorreria o desastre, adotando a técnica de controle sintético, para contrapô-la à situação real vigente. Do ponto de vista metodológico, para elaborar a trajetória sintética, além de defasagens temporais da variável de resultado, como proposto por Abadie *et al.* (2010), serão usadas defasagens espaciais da variável de resultado a fim de se atingir um melhor ajuste proporcionado pela redução do Erro Quadrático Médio da Previsão (MPSE). Até onde se sabe, esta é a primeira vez que se propõem defasagens espaciais para se conseguir um melhor ajuste na elaboração das trajetórias sintéticas.

Além desta introdução, o trabalho é composto de mais quatro seções. Na segunda seção, são reunidas informações acerca do desastre. Já a terceira seção traça a estratégia empírica, bem como apresenta a base de dados. Na quarta seção, discutem-se os resultados encontrados. Por fim, na derradeira seção, tecem-se as considerações finais.

Características da Área de Estudo (Brumadinho)

Pertencente à região metropolitana e localizada a 60 km de Belo Horizonte, Brumadinho conta com uma população estimada de 40 mil habitantes em uma área de 639,43 km². Sendo elevado à categoria de município em 1938, sua história se mistura à dos bandeirantes cuja busca por atividades mineradoras e seus espólios redimensionaram inúmeras regiões. Em 2017, o município registrou o 29º maior PIB *per capita* do estado, posição relacionada ao desempenho do consolidado setor extrativista mineral e do crescimento do setor turístico (IBGE, 2020).

No dia 25 de janeiro de 2019, houve o colapso da barragem B1 da Vale S.A¹. Construída na década de 1970 com a tecnologia chamada de “alteamento a montante”², pela empresa alemã

¹ Até o seu rompimento, entre as 29 barragens registradas no município, a B1 possuía um critério de risco baixo (CRI) e um alto dano potencial associado (DPA), de acordo com a Classificação de Barragens de Mineração (2019).

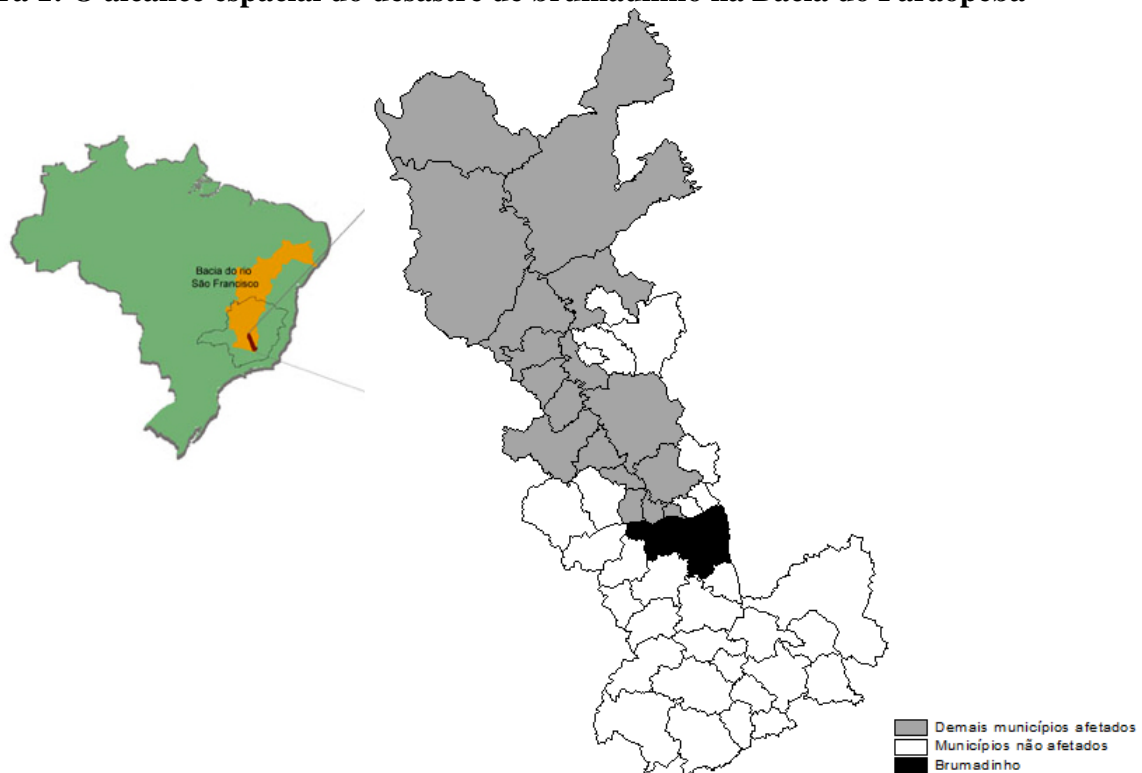
² Existem três tecnologias de construção de barragens, a saber, alteamento a jusante, alteamento de linha de centro e alteamento a montante. Esta última tecnologia, usada em Brumadinho para construir a barragem, caracteriza-se

Ferteco, e adquirida pela Vale em 2001, esta barragem era responsável por conter rejeitos de minério de ferro pertencentes à mina de Córrego do Feijão. Aproximadamente 13 milhões de m³ de detritos foram lançados, os quais alcançaram a bacia do rio Paraopeba, chegando a atingir uma velocidade de escoamento de 80 km/h e, neste processo, outras barragens de contenção de sedimentos também foram rompidas: B IV e B IV-A (ME, 2019; BRASIL, 2019).

Além das externalidades negativas infligidas pelas perdas socioeconômicas³ e ambientais⁴, em seu entorno, foram computados 259 óbitos e 11 desaparecimentos ao longo do curso da lama, entre trabalhadores da empresa e moradores locais, tornando-o um dos maiores acidentes de trabalho/desastres tecnológicos do país (FREITAS E SILVA, 2019).

Dos 48 municípios pertencentes à bacia do Paraopeba, além de Brumadinho, 18 foram afetados diretamente, a saber: Betim, Curvelo, Esmeraldas, Felixlândia, Florestal, Fortuna de Minas, Igarapé, Juatuba, Maravilhas, Mário Campos, Papagaios, Pará de Minas, Paraopeba, Pequi, Pompéu, São Joaquim de Bicas, São José da Varginha e Três Maria. O alcance espacial do desastre pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: O alcance espacial do desastre de brumadinho na Bacia do Paraopeba



Fonte: Adaptado de CIBAPAR (2009, *apud* MATOS e DIAS, 2011).

No tocante a sua relevância econômica, os 19 municípios afetados pelo desastre perfizeram 6,32% do PIB mineiro em 2017. A produção mineral desses municípios correspondeu a 4,62% do montante estadual neste mesmo ano. Por sua vez, a participação da

pelo seu crescimento por meio de degraus com os próprios rejeitos acumulados sobre o dique de partida. Cabe destacar que essa tecnologia é considerada a mais barata e insegura.

³ Perdas proporcionadas pela paralização das atividades mineradoras, agropecuárias, turísticas e pesca.

⁴ Essas perdas referem-se a danos causados à fauna e flora (terrestre e aquático), à qualidade do ar e da água, a unidades de conservação, dentre outros.

produção mineral desses municípios no PIB total de Minas Gerais, no mesmo ano, foi de apenas 0,0039787%.⁵

Estratégia Empírica

Construção do Controle Sintético para Minas Gerais

Tendo o objetivo de mensurar o efeito do desastre de Brumadinho no desempenho econômico de Minas Gerais, é importante contrapor a situação deste estado após a ocorrência do choque tecnológico proporcionado pelo desastre, com a situação que prevaleceria, caso não houvesse ocorrido o desastre. Sabe-se que a última situação pode ser apenas conjecturada pois não é observada. Portanto, é necessário construir um contrafactual para Minas Gerais a fim de se fazer a devida comparação entre a situação real, ou seja, Minas Gerais com o choque tecnológico de Brumadinho, e a situação hipotética, isto é, Minas Gerais sem este choque tecnológico.

A saída, neste caso, seria a de trabalhar com quase-experimentos, em que se possa usar dados observacionais. Por ter ocorrido recentemente, e considerando a disponibilidade de variáveis/observações, o uso de metodologias convencionais para a avaliação de impacto, como as diferenças-em-diferenças, mostra-se inapropriado na análise do desastre de Brumadinho. A opção mais viável é a do controle sintético, método adotado na investigação de estudos de caso comparativos, que utilizam dados agregados geograficamente, ou em situações em que o tratamento afeta muito poucas unidades de observação. Além disso, o controle sintético trata de características idiossincráticas não observáveis, variantes e invariantes no tempo, diferentemente do método das diferenças-em-diferenças, que considera apenas as características invariantes no tempo que são removidas da estimativa pela dupla diferenciação (ABADIE e GARZEABADAL, 2003; ABADIE *et al.*, 2010).

Desta maneira, o controle sintético foi adotado para a elaboração de uma trajetória contrafactual do desempenho econômico para o estado de Minas Gerais, a única unidade da federação que sofreu o efeito do choque tecnológico. A criação de um grupo de controle visa sintetizar a trajetória do resultado contrafactual para este estado afetado, usando informações de outros estados com características semelhantes, mas com pesos específicos, usados na composição de uma média ponderada.

Dois são os componentes fundamentais para a aplicação da técnica: a escolha dos estados para a formação do grupo de controle, compondo o chamado *donor pool*; e a determinação dos pesos para estes estados no cálculo da média ponderada, necessária para se obter a trajetória sintética da variável de resultado ao longo do tempo.

Na implementação do controle sintético, é preciso ainda assumir o pressuposto de que não há interferência entre as unidades de observação (ROSENBAUM, 2007). No caso em tela, uma possível interferência seria o acidente de Brumadinho ter impactado o preço doméstico do minério de ferro ou estimulado a aprovação de normas regulatórias mais rígidas, influenciando no custo de produção dos outros estados minerais e, com isso, no seu crescimento econômico. Se esses estados estiverem participando com algum peso da construção da trajetória sintética ao longo, a série contrafactual será contaminada pelo efeito do choque tecnológico em Brumadinho. Isso implica que, na definição da composição do *donor pool*, esses estados minerais precisam ser excluídos da análise. Dessa forma, a escolha dos estados possíveis candidatos ao grupo de controle foi definida pela compatibilidade de dados em relação à variável de resultado, sendo, assim, o *donor pool* é composto por doze estados: Amazonas (AM), Bahia (BA), Ceará (CE), Espírito Santo (ES), Goiás (GO), Pará (PA), Paraná (PR),

⁵ A proxy utilizada para a produção mineral mineira foi a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM).

Pernambuco (PE), Rio Grande do Sul (RS), Rio de Janeiro (RJ), Santa Catarina (SC) e São Paulo (SP).

Os pesos são definidos com o intuito de minimizar a diferença ao longo do tempo entre o nível anterior do crescimento econômico de Minas Gerais sintética e o nível anterior do crescimento econômico de Minas Gerais real.⁶ O objetivo da minimização desta diferença é escolher variáveis preditoras que levem ao menor Erro Quadrático Médio da Previsão (MPSE) da variável de resultado no período de pré-intervenção, fazendo com que a trajetória sintética e a trajetória real se aproximem e que, idealmente, fiquem superpostas.⁷ Neste caso, para atingir essa minimização do MPSE é importante selecionar adequadamente as variáveis preditoras. No caso limite, em que as duas trajetórias coincidam antes do momento da intervenção (tratamento), todos os fatores observados e não-observados, variantes ou invariantes no tempo, estariam controlados pelo método do controle sintético por intermédio da apropriada escolha das variáveis preditoras. De modo prático, cabe, então, selecionar não apenas variáveis observáveis justificadas pela teoria subjacente, mas também variáveis observáveis que possam capturar os fatores não-observados, variantes e invariantes no tempo.

As variáveis preditoras observáveis, empregadas como suporte para a construção do controle sintético, foram escolhidas a partir da teoria do crescimento econômico e associadas à disponibilidade de dados mensais (SOLOW, 1956; ROMER, 1986; LUCAS, 1988; MANKIW *et al.*, 1992) tais como capital físico, capital humano, participação do governo estadual e trabalho não qualificado.

Em que pese a teoria seja um guia fundamental para a escolha das variáveis observáveis, provavelmente fatores não observados variantes ou invariantes no tempo estão omitidos da análise. A prática de se usar a variável de resultado defasada serialmente é um método corriqueiro em estudos econométricos, mesmo que imperfeito, para controlar variáveis preditoras não observadas (WOOLDRIDGE, 2013). Por isso, Abadie *et al.* (2010) incluíram variáveis de resultado defasadas serialmente (temporalmente) como preditoras adicionais em seu estudo aplicado, além das variáveis sugeridas por considerações teóricas. Nesse sentido, as variáveis defasadas serialmente representam um efeito de inércia que pode estar correlacionado com fatores não observados persistentes no tempo.

De forma análoga, em aplicações com dados agregados regionalmente, a existência de variáveis omitidas espacialmente autocorrelacionadas costuma ser muito comum (LESAGE e PACE, 2009). A inclusão da variável de resultado defasada espacialmente tem a capacidade de servir de uma *proxy* para fatores idiossincráticos não observados variantes ou invariantes no tempo que apresentam um determinado padrão espacial, frequentemente de concentração espacial. A hipótese é de que a inclusão desta defasagem espacial do desempenho econômico, como uma variável preditora adicional, permita que o Erro Quadrático Médio da Previsão (MPSE) se reduza ainda mais.

Seria possível argumentar que a inclusão das defasagens espaciais das variáveis preditoras (capital físico, capital humano, participação do governo estadual e trabalho não qualificado) também poderia controlar a omissão de variáveis espacialmente autocorrelacionadas. O problema reside no fato de que isso implicaria a inclusão de mais quatro variáveis preditoras, fazendo a equação superparametrizada e reduzindo ainda mais os poucos graus de liberdade existentes para a elaboração do controle sintético. Nesse sentido, e como proposta pioneira deste artigo, a inclusão de uma única defasagem espacial da variável de resultado (*WPFIM*), a saber, o desempenho econômico espacialmente defasado, substitui a contento aquelas outras defasagens espaciais mencionadas anteriormente.

⁶ Tem-se que os pesos são não-negativos e que a sua soma é igual a um.

⁷ Maiores informações sobre o método, consultar Abadie e Garzeabadal (2003) e Abadie *et al.* (2010).

Dados

A unidade de observação adotada no estudo foram os estados da federação. Este trabalho empregou o índice de produção física industrial mineral (PFIM) como *proxy* para o desempenho econômico. Os dados foram retirados da Pesquisa Industrial Mensal – Produção Física (PIMPF), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Conforme sugerido pela teoria do crescimento econômico regional, as variáveis observáveis utilizadas foram capital físico, capital humano, trabalho não-qualificado e Fundo de Participação dos Estados (FPE). Convém aqui descrever a *proxy* para o capital físico. Como é sabido, as agências estatísticas brasileiras não forneceram informações sobre estoque de capital físico no período de análise. Portanto, optou-se por utilizar a quantidade de veículos automotores produtivos relacionados ao setor extrativista mineral, isto é, caminhonetes, caminhões e caminhões-tratores, como uma *proxy* para a variável teórica “capital físico”, similar ao que foi feito em Speight e Thompson (2006), Soares (2015) e Castro (2016). Ainda que não corresponda a investimentos diretos realizados pelos municípios, Soares (2015) registrou uma forte associação linear entre o logaritmo do estoque de capital e da frota de veículos no Brasil, entre os anos de 1950 a 2008, corroborando, desta maneira, a qualidade desta *proxy*.

Adicionalmente, também foram utilizadas defasagens temporais, similar ao que foi feito em Abadie *et al.* (2010), e defasagens espaciais da variável resultado com o intuito de minimizar o Erro Quadrático Médio do Estimador (MPSE) da variável de resultado no período pré-intervenção. Informações complementares estão disponíveis no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição das variáveis utilizadas

Variável	Símbolo	Tipo de Variável	<i>Proxy</i> /Descrição	Fonte
Desempenho Econômico	<i>PFIM</i>	Dependente/interesse	Índice da Produção Física Industrial Mineira de base fixa (média de 2012 = 100) e sem ajuste sazonal	IBGE
Capital Físico	<i>CF</i>	Preditora	Quantidade de veículos automotores produtivos relacionados ao setor extrativista mineral: caminhonetes, caminhões e caminhões-tratores	DENATRAN
Capital Humano	<i>CH</i>	Preditora	Estoque de Trabalhadores do Setor Extrativista Mineral com Ensino Superior Completo	MTE
Repasses	<i>FPE</i>	Preditora	Fundo de Participação dos Estados (R\$)	STN
Trabalho Não Qualificado	<i>TNQ</i>	Preditora	Estoque de Trabalhadores do Setor Extrativista Mineral sem Ensino Superior Completo	MTE
Defasagem Temporal	$PFIM_{t-n}$	Preditora	Defasagens Temporais do Índice da Produção Física Industrial Mineira de base fixa (média de 2012 = 100) e sem ajuste sazonal	Elaborada pelos autores com base no IBGE
Defasagem Espacial	<i>WPFIM</i>	Preditora	Defasagens Espaciais do Índice da Produção Física Industrial Mineira de base fixa (média de 2012 = 100) e sem ajuste sazonal	Elaborada pelos autores com base no IBGE

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O horizonte temporal investigado contemplou o período mensal entre 2017 e 2019, totalizando 36 meses. Deste total, 24 meses são considerados anteriores ao desastre. De acordo com Abadie *et al.* (2010), a técnica do controle sintético é otimizada quando o número de observações anterior ao evento analisado é maior relativamente à quantidade de observações posteriores a tal evento.

Resultados e Discussão

A seção de resultados é subdividida em duas partes. A primeira investiga os impactos do desastre de Brumadinho no desempenho econômico do setor industrial mineiro. Já a segunda parte executa testes de placebo que buscam verificar a significância dos resultados.

O Desastre de Brumadinho e o Desempenho Econômico Mineiro

Os pesos computados para a formação do controle sintético estão reportados na Tabela 1. A princípio, foram estimados três modelos: o modelo sem defasagens; o modelo somente com defasagens temporais; e o modelo com defasagens temporais e espaciais. Espera-se que com a inclusão das defasagens das variáveis temporais, assim como em Abadie *et al.* (2010), e das defasagens espaciais, a trajetória sintética, anterior ao desastre, se torne a mais próxima possível da trajetória real mineira, melhorando o caráter preditivo e contrafactual da técnica.

Quatro foram os estados que contribuíram com os pesos para o modelo sem defasagens: Bahia (29%), Pernambuco (7%), Rio Grande do Sul (53%) e São Paulo (11%). Por sua vez, no modelo que também contou com defasagens temporais ($PFIM_{t-1}$, $PFIM_{t-2}$, $PFIM_{t-3}$ e $PFIM_{t-4}$), três foram os estados que formaram a produção física industrial mineira (PFIM) sintética mineira: Amazonas (18%), Espírito Santo (44%) e São Paulo (38%). E, no último modelo, que incorporou, além das defasagens temporais ($PFIM_{t-1}$, $PFIM_{t-2}$, $PFIM_{t-3}$ e $PFIM_{t-4}$), a defasagem espacial da variável de resultado ($WPFIM$), três foram os estados selecionados: Amazonas (17%), Espírito Santo (41%) e São Paulo (42%).

Tabela 1: Contribuição dos estados para a formação dos pesos do controle sintético para a produção física industrial mineira (PFIM) sem e com defasagens

Estados	PFIM sem defasagens	PFIM com defasagens temporais	PFIM com defasagens temporais e espaciais
Amazonas	-	0,18	0,17
Bahia	0,29	-	-
Ceará	-	-	-
Espírito Santo	-	0,44	0,41
Goiás	-	-	-
Pará	-	-	-
Paraná	-	-	-
Pernambuco	0,07	-	-
Rio Grande do Sul	0,53	-	-
Rio de Janeiro	-	-	-
Santa Catarina	-	-	-
São Paulo	0,11	0,38	0,42
RMSPE	6,79	2,92	2,76

Obs: RMSPE – Raiz dos erros de previsão quadráticos médios.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pela Figura 2, é possível observar a trajetória real da PFIM de Minas Gerais, bem como suas alternativas sintéticas. Iniciando a análise pelo modelo sintético convencional, este não se revela ser um bom contrafactual por duas razões. A primeira diz respeito ao fato de não prever apropriadamente a PFIM no período anterior ao desastre. É patente o descolamento entre as

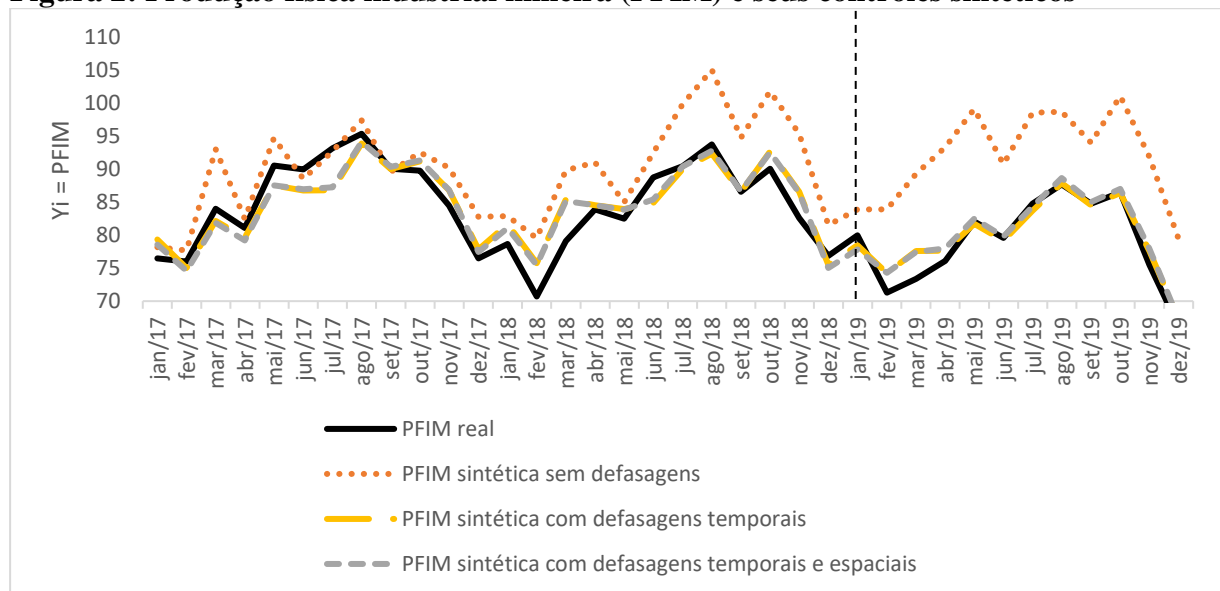
séries. A segunda razão repousa no fato de que o valor da raiz do erro quadrático médio de previsão (RMSPE) é elevado (6,79). Convém destacar que quanto mais distante de zero, menor a qualidade de previsão do modelo e mais descolada estará a trajetória sintética da trajetória real da PFIM para Minas Gerais, tornando inadequado o contrafactual.

Em contrapartida, quando adicionadas as defasagens temporais da PFIM, é possível notar uma maior aproximação das trajetórias real e sintética antes do desastre, representada pelo valor da RMSPE de 2,92, uma redução de 57% em relação à RMSPE do modelo sem defasagens. Ao passo que a inclusão da defasagem espacial (*WPFIM*), ao lado das defasagens temporais, melhora o ajuste do modelo preditivo, registrando um valor de RMSPE agora de 2,76, uma redução de 5,5% em relação ao valor da RMSPE do modelo apenas com defasagens temporais.

O desempenho dos modelos pós-desastre também consta na Figura 2. Inicialmente, dois cenários poderiam ser discutidos a respeito de Minas Gerais. No primeiro, considerando o controle sem defasagens, a trajetória da PFIM sintética apresentou-se superior à trajetória da PFIM real nos onze meses restantes de 2019. Desta forma, poder-se-ia concluir erroneamente que o impacto do desastre de Brumadinho seria negativo no desempenho econômico mineiro. Quantitativamente⁸, em média, a produção industrial seria 14,98% menor neste período.

No segundo cenário, considerando os modelos com defasagens (temporais e/ou espacial), nota-se que as trajetórias sintéticas da PFIM continuaram acompanhando de perto a trajetória real da PFIM. Portanto, neste caso, a conclusão seria que os impactos do desastre frente ao desempenho setorial da indústria e, conseqüentemente, da economia mineira, foram irrelevantes no curto prazo. De fato, quando computados os valores dos efeitos médios sobre a PFIM, viu-se uma produção média mensal de 1,2% (defasagens temporais) e 1,7% (defasagens temporais e espacial) abaixo dos valores reais.

Figura 2: Produção física industrial mineira (PFIM) e seus controles sintéticos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na literatura, resultados semelhantes, em termos de magnitude (RIBEIRO *et al.*, 2014) e significância (CASTRO e ALMEIDA, 2019), foram encontrados considerando a investigação de curto prazo. Ribeiro *et al.* (2014) analisaram o impacto de desastres naturais (chuvas) na produção industrial de Santa Catarina em 2008. De acordo com os autores, a produção industrial

⁸ O cálculo da média dos efeitos do desastre foi feito com base em Abadie *et al.* (2010), Ribeiro *et al.* (2014) e Castro e Almeida (2019).

mensal do estado catarinense foi, em média, 5,13% menor em comparação ao cenário sem a existência das chuvas.

Em contrapartida, Castro e Almeida (2019) também registraram que o desempenho econômico do setor industrial mineiro não foi afetado pela ação do desastre tecnológico de Mariana em 2015. Parte desta explicação está vinculada ao dinamismo do setor industrial em questão, frente à não dependência de seu subsetor extrativista mineral.

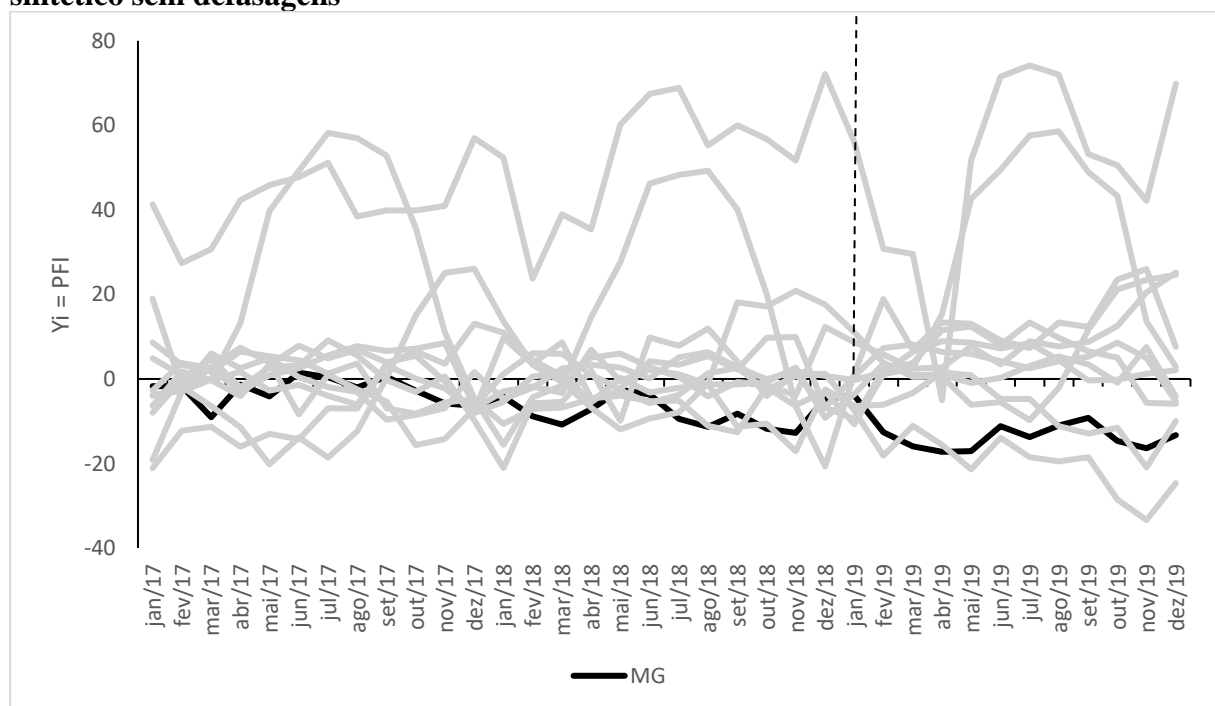
Comparando os resultados deste estudo com os trabalhos de Ribeiro *et al.* (2014) e Castro e Almeida (2019), observa-se um benefício no ajuste da trajetória contrafactual com a inclusão das defasagens temporais e espaciais, reduzindo os valores da RMSPE. Desta maneira, é possível reforçar que o uso de defasagens espaciais na modelagem de controle sintético melhora a qualidade de previsão da técnica de controle sintético.

Testes de Placebo

No sentido de avaliar a significância dos resultados obtidos, foram aplicados dois testes de placebo. Conforme Abadie *et al.* (2010), o primeiro teste simula trajetórias sintéticas para os demais estados brasileiros pertencentes ao *donor pool* (potenciais doadores de informações), simulando a ocorrência do desastre nestes estados. Posteriormente, subtraíram-se os valores obtidos das trajetórias sintéticas de suas contrapartidas reais, para reunir os resultados graficamente. A ideia deste teste consiste em comparar possíveis cenários, simulando o evento ocorrido em Minas Gerais nos demais estados. Uma vez que os resultados da produção física industrial mineira (PFIM) não estejam alocados nos pontos extremos dos gráficos, de acordo com Abadie *et al.* (2010), os impactos do desastre sobre Minas Gerais não serão significativos.

Primeiramente, observando a Figura 3, pode ser visto o afastamento da PFIM das demais séries, o que configuraria o efeito negativo do desastre. Entretanto, como visto na seção anterior, por apresentar uma RMSPE elevada, comparada aos demais, os resultados deste modelo tendem a ser enganosos.

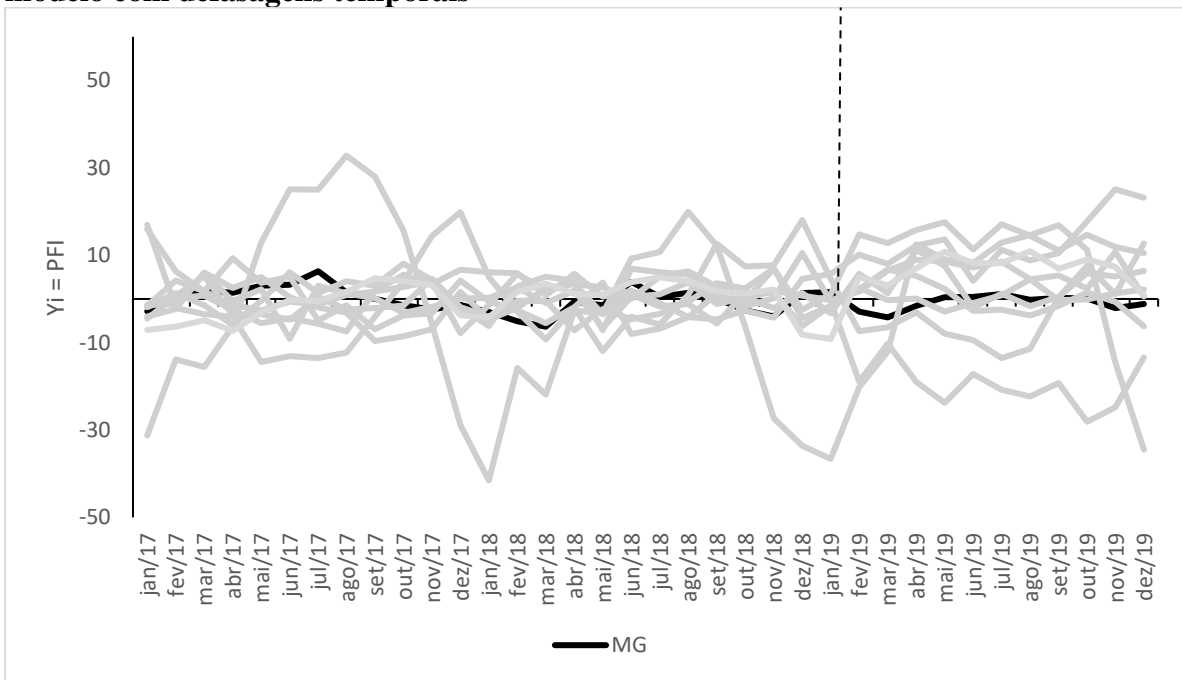
Figura 3: Teste de placebo para a produção física industrial mineira (PFIM) do controle sintético sem defasagens



Fonte: Elaborada pelo autor.

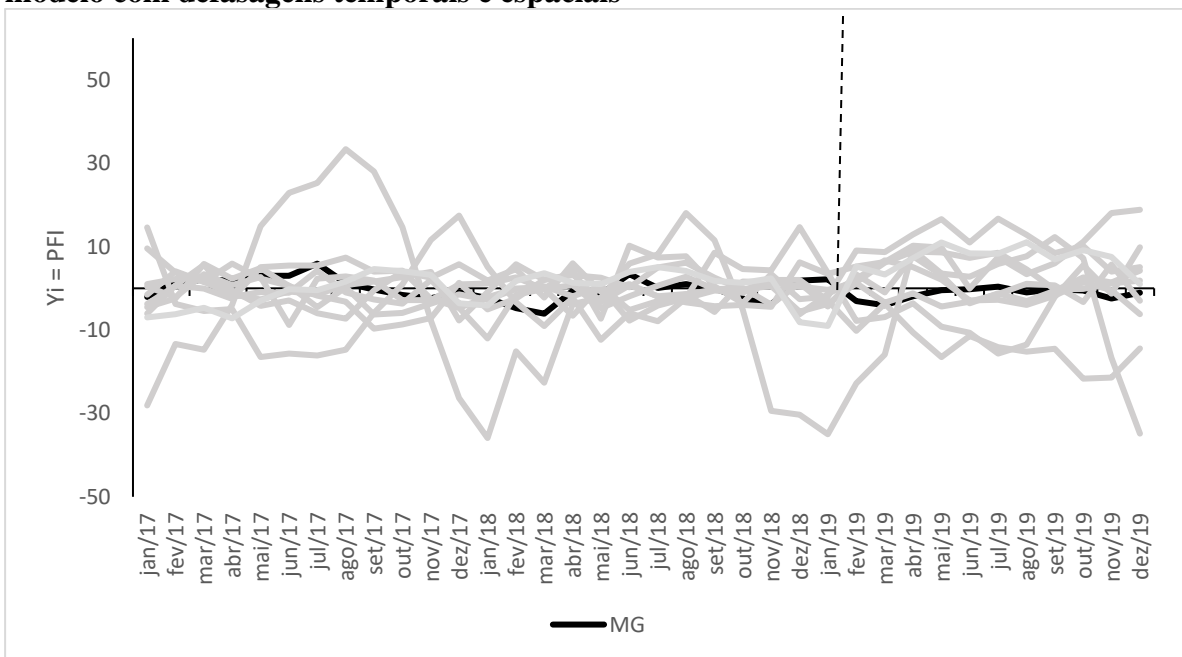
Pelo comportamento das séries, registrados nas Figuras 4 e 5, percebe-se que as PFIM, independentemente do modelo avaliado, agora não se localizaram nas extremidades de suas respectivas figuras. Assim, é possível afirmar que o setor industrial de Minas Gerais não sofreu impacto relevante com o desastre de Brumadinho. Isso é explicado pela pequena importância econômica da região afetada em relação ao PIB total do estado de Minas Gerais, conforme salientado na segunda seção.

Figura 4: Teste de placebo geral para a produção física industrial mineira (PFIM) do modelo com defasagens temporais



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5: Teste de placebo geral para a produção física industrial mineira (PFIM) do modelo com defasagens temporais e espaciais

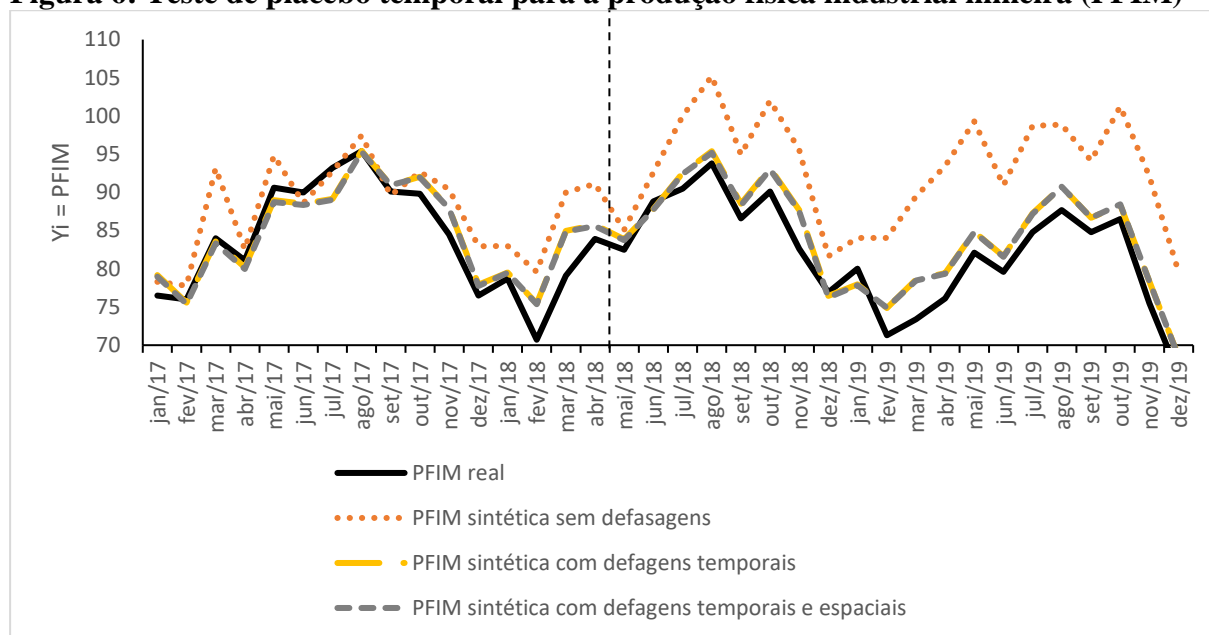


Fonte: Elaborada pelo autor.

No que diz respeito ao segundo teste de placebo, de natureza temporal (Figura 6), buscou-se comprovar que o efeito estimado do desastre não foi aleatório. Em vista disso, computaram-se novas trajetórias sintéticas para a PFIM, defasando a data do desastre em nove meses, recuando até abril de 2018 como o seu início falso.

Como resposta, observa-se que as novas séries, exibidas na Figura 6, acompanharam o percurso da série da PFIM real semelhante ao padrão apresentado anteriormente na Figura 2. Em outras palavras, a partir deste *gap* temporal há evidências que os resultados obtidos não foram espúrios.

Figura 6: Teste de placebo temporal para a produção física industrial mineira (PFIM)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Resumidamente, com os testes de placebo, percebe-se a robustez dos resultados alcançados na subseção anterior. De fato, o setor industrial mineiro, em nível estadual e no curto prazo, não foi impactado de maneira significativa pelo desastre de Brumadinho.

Considerações Finais

O extrativismo de recursos minerais, ainda hoje, compõe importante parcela do Produto Interno Bruto de muitos países. Entretanto, a forma como é conduzida esta atividade pode gerar externalidades negativas de grande alcance. Situações que resultem em rupturas de barragens de rejeitos, por exemplo, embora ocorram com baixa probabilidade pelo mundo, veem aumentando a sua frequência no Brasil, cabendo um destaque negativo para Minas Gerais.

Por meio da construção de séries sintéticas para a produção física industrial mineira, apoiada pela técnica de controle sintético, este artigo analisou o impacto do colapso da barragem de rejeitos mineiros da Vale S.A, em janeiro de 2019, na cidade de Brumadinho, sobre o desempenho econômico do estado de Minas Gerais.

Após comparações entre a trajetória real de Minas Gerais e controles sintéticos, que simulariam o comportamento do estado caso não houvesse o desastre tecnológico, viu-se que o evento não impactou o seu desempenho econômico de curto prazo, em nível estadual, quando se usou o controle sintético com as defasagens temporais e/ou espaciais. Todavia, quando se usou um controle sintético sem defasagens, a conclusão era que o desastre de Brumadinho tivera impacto relevante sobre o desempenho econômico de Minas Gerais. A discrepância refere-se

ao pobre ajuste obtido com a construção deste controle sintético, medido pelo elevado valor do RMSPE, o que provocava um descolamento da trajetória sintética do indicador de produção física industrial mineira (PFIM) da sua trajetória real. Isso foi corrigido a partir do controle sintético com as defasagens temporais e espaciais. Adicionalmente, testes de placebo foram aplicados e confirmaram a significância dos resultados obtidos.

O diferencial metodológico nas simulações realizadas aqui foi o de também utilizar defasagens espaciais, ao lado das defasagens temporais. Neste caso, a inclusão da defasagem espacial da variável de interesse, *WPFIM*, associada às defasagens temporais, melhorou o poder preditivo e contrafactual do controle sintético, reduzindo o valor do RMSPE em quase 60% e, com isso, melhorando consideravelmente o ajuste daquelas trajetórias, aproximando-as.

Em termos de limitações, a abrangência deste trabalho é afetada pela disponibilidade de dados. Visto que o episódio registrado em Brumadinho é relativamente recente e considerando o intervalo entre coleta, análise e liberação dos dados, pelos órgãos estatísticos responsáveis, chegou-se apenas à desagregação geográfica em nível estadual, com variações mensais. Como agenda futura, pretende-se com o surgimento de novos dados, explorar as informações acerca do nível municipal para confrontar os resultados obtidos até então. Ademais, possuindo séries temporais mais longas, pretende-se analisar os efeitos do desastre no longo prazo.

Deve-se ressaltar que este trabalho teve como objetivo apenas o desempenho econômico de Minas Gerais, não esgotando as demais características que envolvem as externalidades do desastre de Brumadinho. Trabalhos futuros poderiam investigar relações do desastre com o meio ambiente, aspectos psicológicos, reordenamento geográfico, dentre outros temas que possam guiar a formulação de políticas públicas competentes.

REFERÊNCIAS

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

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

ANM – Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas 2019**. – Brasília: ANM, 2020.

_____. **Barragens**, 2020. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens>>. Acesso em: 18/06/2020.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Resumo do Relatório CPI Bruma**, 2019. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/parlamentar-de-inquerito/56a-legislatura/cpi-rompimento-da-barragem-de-brumadinho/documentos/outros-documentos/resumo-do-relatorio-leitura-em-reuniao>>. Acesso em: 22/06/2020.

_____. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC). **Manual de desastres humanos: desastres humanos de natureza tecnológica**. Brasília: MI, 2003.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconomics: methods and applications**. Cambridge University Press, Cambridge, 2005.

CASTRO, L. S. **Crescimento Econômico e Infraestrutura: O Impacto do ProAcesso em Minas Gerais**. 2016. 144 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Viçosa, 2016.

CASTRO, L. S.; ALMEIDA, E. S. Desastres e desempenho econômico: avaliação do impacto do rompimento da Barragem de Mariana. **Geosul**, v. 34, n.70, p. 406-429, 2019.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; CARDOSO, D. F.; SIMONATO, T. C; NAHAS, M. Impactos econômicos da paralisação de parte da produção mineral em Minas Gerais decorrentes do desastre de barragem em Brumadinho. **Revista Eletrônica Gestão e Sociedade**, v. 14, p. 3463-3479, 2020.

DUARTE, A. P. **Classificação das Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais em Relação ao Potencial de Risco**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2008.

FREITAS, C. M.; SILVA, M. A. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 17, n. 1, p. 21-29, 2019.

FREITAS, R.; ALEMIDA, F. Um ano após tragédia da Vale, dor e luta por justiça unem famílias de 259 mortos e 11 desaparecidos. **G1**, 2020. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/25/um-ano-apos-tragedia-da-vale-dor-e-luta-por-justica-unem-familias-de-259-mortos-e-11-desaparecidos.ghtml>>. Acesso em: 22/06/2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sidra**: sistema IBGE de recuperação automática, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18/06/2020.

_____. **Cidades**, 2020. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/brumadinho/panorama>>. Acesso em: 19/06/2020.

LUCAS, R. On the Mechanics of Economic Development. **Journal of Monetary Economics**, v.22, n. 1, p. 3-42, 1988.

MANKIW, N. G.; ROMER, D.; WEIL, D. N. Contribution on the empirics of economic growth. **Quarterly Journal of Economics**, v. 107, n. 2, p. 407-35, 1992.

MATOS, F.; DIAS, R. Consórcios intermunicipais e a bacia hidrográfica do rio Paraopeba. **Revista Espacios**, v. 32, n. 4, p. 24, 2011.

ME – Ministério da Economia. **Relatório de Análise de Acidente de Trabalho: Rompimento da barragem BI da Vale S.A. em Brumadinho/MG em 25/01/2019**, 2019. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_Acidentes_Trabalho/Relatorio_Analise_Acidentes_SAMARCO-BRUMADINHO.pdf>. Acesso em: 22/06/2020.

NIQUITO, T. W.; POZZOBON, F.; HALMENSCHLAGER, V.; RIBEIRO, F. G. Desastres Tecnológicos e Impacto Econômico para uma Economia em Desenvolvimento: evidências para o Brasil. In: **Anais do 47º Encontro Nacional de Economia** - ANPEC, São Paulo, SP, 2019.

RIBEIRO, F. G.; STEIN, G.; CARRARO, A.; RAMOS, P. L. O Impacto Econômico dos Desastres Naturais: O caso das chuvas de 2008 em Santa Catarina. **Planejamento e Políticas Públicas**, n.43, p.299-322, 2014.

ROMER, P. M. Increasing Returns and Long-Run Growth. **Journal of Political Economy**, v. 94, n. 5, p. 1002-37, 1986.

ROSENBAUM, P. R. “Interference Between Units in Randomized Experiments. **Journal of the American Statistical Association**, v. 102, n. 477, p. 191–200, 2007.

SILVA, F. F.; SILVA, J. F.; TUPY, I. S. Reflexões Sobre Resiliência Econômica Regional: o cenário pós-desastre de Mariana (MG). **Redes**, v. 24, n. 2, p. 1-27, 2019.

SIMONATO, T. C. **Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG**. 2017. 182 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Belo Horizonte, 2017.

SOARES, T. C. **Uma Proposta de Avaliação da Eficiências Ambiental dos Municípios Brasileiros**. 2015. 166 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Viçosa, 2015.

SOLOW, R. A contribution to the theory of economic growth. **The Quartely Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

SPEIGHT, A.; THOMPSON, P. Is Investment Time Irreversible? Some Empirical Evidence for Disaggregated UK Manufacturing Data. **Applied Economics**, v. 38, n. 19, p. 2265-2275, 2006.

WMTF – World Mine Tailings Failures. **World mine tailings failures-from 1915**, 2019. Disponível em: <<https://worldminetailingsfailures.org/>>. Acesso em: 18/06/2020.

WOOLDRIDGE, J. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. South-Western Cengage Learning, 5ª edição, 2013.