

Thiago Cavalcante Simonato

Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG

Belo Horizonte, MG

UFMG/Cedeplar

2017

Thiago Cavalcante Simonato

Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Economia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Paulo Domingues

Coorientadora: Prof. Dra. Aline Souza Magalhães

Belo Horizonte, MG

Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional

Faculdade de Ciências Econômicas – UFMG

2017

S596p
2017

Simonato, Thiago Cavalcante.

Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-
MG [manuscrito]. - 2017.
180 f. : il., enc.

Orientador: Edson Paulo Domingues

Coorientadora: Aline Souza Magalhães

Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais.

Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.

Inclui bibliografia (f. 147-160) apêndices e anexos.

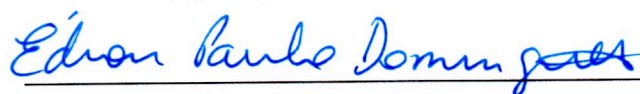
1. Mariana (MG) – Condições econômicas – Teses. 2. Desastres ambientais. 3. Barragens de rejeitos – Aspectos econômicos – Mariana (MG) Teses. I. Domingues, Edson Paulo. II. Magalhães, Aline Souza. III Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional III. Título.

CDD: 330.98151

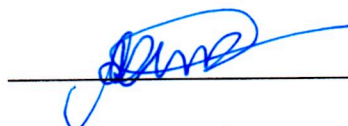
Curso de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE THIAGO CAVALCANTE SIMONATO Nº. REGISTRO 2015657821. Às quatorze horas do dia seis do mês de fevereiro de dois mil e dezessete, reuniu-se na *Faculdade de Ciências Econômicas* da Universidade Federal de Minas Gerais a Comissão Examinadora de DISSERTAÇÃO, indicada “*ad referendum*” pelo Colegiado do Curso em 23/01/2017 para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado “**Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG**”, requisito final para a obtenção do Grau de *Mestre em Economia*, área de concentração em Economia. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Édson Paulo Domingues, após dar o conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. A Comissão APROVOU o candidato por unanimidade. O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 06 de fevereiro de 2017.

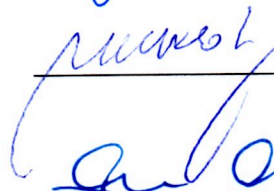
Prof. Édson Paulo Domingues
(Orientador) (CEDEPLAR/FACE/UFMG)



Profa. Aline Souza Magalhães
(Coorientadora) (CEDEPLAR/FACE/UFMG)



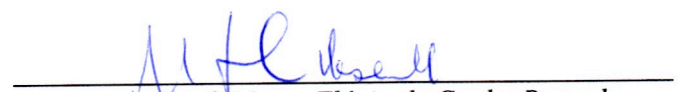
Prof. Ricardo Machado Ruiz
(CEDEPLAR/FACE/UFMG)



Prof. Gustavo de Britto Rocha
(CEDEPLAR/FACE/UFMG)



Prof. Eduardo Amaral Haddad
(FEA/USP)


Prof. Marco Flávio da Cunha Resende
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

Aos meus familiares.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço aos meus orientadores, Edson Domingues e Aline Souza Magalhães, não só pelo campo de pesquisa que me foi apresentado e que levo para minha carreira profissional, mas principalmente pela amizade, apoio, competência e bom humor nas atividades que trabalhamos juntos no decorrer do Mestrado.

Tive a sorte de ter contato com bons professores e ter boas orientações desde a graduação. Amigos que, ao perceberem meu interesse na carreira acadêmica, acreditaram no meu potencial e não hesitaram em me adiantar possíveis oportunidades e obstáculos de maneira muito acertada, bem como sugerir as melhores escolhas.

Nesse sentido, agradeço à Rosana Curzel, minha orientadora de graduação, sempre muito presente nas minhas decisões profissionais de longo prazo. Agradeço também pela amizade e incentivo do Professor Roberto Luís Monte-Mór, as lições e ideias compartilhadas de sua rica experiência acadêmica levo para minha carreira.

Aos membros da banca pela gentileza de aceitarem participar de minha defesa, professores pelos quais tenho admiração e contribuíram para a realização desse trabalho, seja diretamente através de ideias e sugestões, seja indiretamente por meio de trabalhos publicados.

Agradeço à todos os integrantes do Núcleo de Estudos em Modelagem Econômica e Ambiental Aplicada da UFMG (NEMEA), principalmente a Kênia de Souza que ofereceu importante ajuda com a parte computacional da modelagem e a Mariana Nahas que me auxiliou na organização e coleta de dados.

Sou grato também ao Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da UFMG (CEDEPLAR/UFMG), por toda a excelente estrutura e suporte que ofereceu durante todo o curso.

Agradeço o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) durante o Mestrado.

Aos colegas de curso, em especial Diego Miyajima e Celso Sessa pelas parcerias e ajuda em diversas atividades durante o curso, à Juliana Gagliardi e aos colegas de república, Niels de Koster, Jens Vloedgraven e Francisco Simões, todos companhias excepcionais.

Sobretudo, sou grato à minha família, principalmente aos meus pais, Inez e Ronaldo, e avós, Maria e Severino, que mesmo na ausência devido à distância frequente dos últimos anos, incentivam-me por meio dos exemplos que me foram dados.

Dedico essa dissertação à Dona Inez e Dona Maria. Obrigado pela confiança e apoio na construção do maior bem que posso dispor, meu conhecimento.

RESUMO

Os danos e perdas econômicas de grande escala gerados pela ocorrência de desastres tem atraído a atenção de especialistas para mensurar os impactos de eventos com natureza tão singular. Nesse sentido, diante das profundas perdas e danos gerados pelo Desastre Minerário de Mariana, ocorrido no dia 5 de novembro de 2015, este trabalho tem como objetivo projetar os principais impactos econômicos regionais do evento. O trabalho também oferece subsídios para o debate do papel de aspectos econômicos conjunturais na ocorrência de desastres ambientais/urbanos e na potencialização dos seus efeitos, por meio da abordagem econômica sobre a questão. A principal contribuição é gerar metodologia e resultados que colaborem na avaliação dos efeitos econômicos do desastre. Para tal, foi desenvolvido um modelo dinâmico de Equilíbrio Geral Computável, especialmente construído para os municípios direta e indiretamente afetados pelo desastre de forma a capturar os impactos econômicos regionais no período de 2016 a 2020. Os resultados indicaram que, no geral, mesmo na hipótese de retomada total da produção de minério no município de Mariana a partir de 2018, o período de cinco anos adotado mostra-se insuficiente para a retomada dos níveis de produção, consumo das famílias, emprego, investimento e comércio apresentados antes do evento. Ademais, os resultados sugerem grande interdependência na absorção dos impactos negativos por parte das regiões ao longo do rio Doce.

Palavras-chave: Desastre de Mariana, Equilíbrio Geral Computável, Economia dos Desastres, Mineração, Economia regional.

ABSTRACT

The large-scale economic damage and losses caused by disasters have attracted the attention of specialists who are studying ways of modeling those kind of impacts. In face of the deep losses and damages caused by the disaster in Mariana, on November 5th, 2015, this work aims to project the main regional economic impacts of the event. This study also provides support for the debate on the role of economic aspects in the occurrence of environmental/urban disasters and the potentialization of their effects, through an economic approach to the issue. The main contribution is to provide methodology and results that will collaborate in the evaluation of the economic effects of the disaster. To do so, we have developed a dynamic model of Computable General Equilibrium, especially built for municipalities directly and indirectly affected by the disaster, in order to capture the regional economic impacts in the period from 2016 to 2020. The resultsb indicate that, generally, the five-year post disaster were insufficient for the retake of production, family consumption, employment, investment and trade, even in the event of the resumption of the total Mariana production in 2018. In addition, the results suggest a great interdependence in the absorption of negative impacts by the regions along the Doce river.

Keywords: *Mariana Disaster, General Computable Equilibrium, Economics of Disaster, Mining, Regional Economics.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arrecadação de CFEM total e por UF de 2005 a 2015.	32
Figura 2 – Exportações de minério de ferro	39
Figura 3 – Ocorrência de rompimento de barragens e preço do minério de cobre ajustado.	40
Figura 4 – Ocorrências de desastres envolvendo o rompimento de barragem de rejeitos.....	42
Figura 5 – Saldo de empregos no setor de Mineração de 2007 até 2015.	43
Figura 6 – Exportação de minério por empresas no Brasil de janeiro a outubro de 2015.....	44
Figura 7 – Exportações de minério de ferro por UF de janeiro a outubro de 2015.....	45
Figura 8 – Principais municípios mineradores do estado de Minas Gerais de janeiro a outubro de 2015 por CFEM (operação) (R\$).....	46
Figura 9 – Localização geográfica do município de Mariana - MG e seus distritos.	47
Figura 10 – Participação da CFEM e ICMS na receita orçamentária do município de Mariana-MG.....	49
Figura 11 – Bento Rodrigues antes e depois do desastre.	51
Figura 12 – Municípios diretamente atingidos pela lama.....	52
Figura 13 – Bacia do rio Doce e o uso do solo de sua região.....	53
Figura 14 – Estrutura simplificada dos impactos econômicos	58
Figura 15 – Tendências de recuperação.	66
Figura 16 – Relação do nível de renda nacional com os impactos gerados por desastres.....	68
Figura 17 – Estrutura da Tecnologia de Produção do Modelo DamAge.....	85
Figura 18 – Mecanismo de composição da demanda do Modelo DamAge.	86
Figura 19 – Ilustração espacial da produção de minério de ferro e da cobertura municipal do desastre.	92
Figura 20 – Distribuição espacial do total comercializado nas regiões.....	93
Figura 21 – Regiões consideradas no Modelo DamAge.	94
Figura 22 – Resumo do procedimento de regionalização do Modelo DamAge.....	96
Figura 23 – Oferta de comércio por volume e direção no Modelo DamAge.	104
Figura 24 – Representação visual da distribuição dos prejuízos por segmento/setor e município (R\$ de 2015).....	112
Figura 25 – Receita e despesa trimestral da prefeitura do município de Mariana no período de 2011 a 2016 (R\$).	116
Figura 26 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o PIB nas regiões consideradas no Modelo DamAge (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).....	125
Figura 27 – Impacto do desastre de Mariana sobre os componentes do PIB das regiões consideradas pelo Modelo DamAge, em termos de sua contribuição na var. % acumulada, 2016-2020.	126

Figura 28 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre as vendas totais das regiões consideradas no Modelo DamAge (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).	128
Figura 29 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o Consumo das famílias nas regiões consideradas no Modelo DamAge (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).	130
Figura 30 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o Emprego real nas regiões consideradas no Modelo DamAge (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).	131
Figura 31 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o PIB nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).	133
Figura 32 – Impacto do desastre de Mariana sobre os componentes do PIB das regiões consideradas pelo Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana, em termos de sua contribuição na var. % acumulada, 2016-2020.	134
Figura 33 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre as vendas totais das regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).	135
Figura 34 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o Consumo das famílias nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).	136
Figura 35 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o Emprego real nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos predominantes dos principais métodos de projeção.	63
Tabela 2 – Conjuntos do Modelo DamAge.	83
Tabela 3 – Principais dados utilizados no procedimento de regionalização.	95
Tabela 4 – Descrição setorial da base de dados do Modelo DamAge.	97
Tabela 5 – Participações municipais do PIB total dos municípios afetados direta ou indiretamente pelo desastre e municípios mineradores (%).	98
Tabela 6 – Participação setorial no PIB das regiões consideradas no modelo DamAge (%). ..	99
Tabela 7 – Participação dos fatores no PIB por município (%).	102
Tabela 8 – Relação de variáveis do fechamento de Cenário Base.	108
Tabela 9 – Valores adotados para a construção do Cenário Base, 2014-2020 (var. % real). ..	109
Tabela 10 – Resultados do Cenário Base sobre o PIB nas regiões consideradas pelo modelo DamAge (var. % acumulada, 2014-2020).	110
Tabela 11 – Choques sobre a produtividade do capital por setor e município decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG (var. %).	114
Tabela 12 – Alocação dos choques nas simulações, decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG 2014-2020 (%).	117
Tabela 13 – Relação de variáveis do fechamento de Cenário de Política.	118
Tabela 14 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos no município de Mariana-MG (var. % acumulada, 2016-2020).	120
Tabela 15 – Impacto sobre o nível de atividade setorial em Mariana decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG, 2016-2020 (desvio % acumulado).	121
Tabela 16 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos no município de Mariana no cenário com retomada da produção (var. % acumulada, 2016-2020).	122
Tabela 17 – Impacto sobre o nível de atividade setorial em Mariana para o cenário com retomada, decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG, 2016-2020 (desvio % acumulado).	124
Tabela 18 – Impactos agregados do desastre minerário de Mariana-MG (desvio % acumulado em relação ao cenário base 2016-2020).	139
Tabela 19 – Impacto sobre o nível de atividade setorial decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG, 2016-2020 (desvio % acumulado).	140
Tabela 20 – Impactos agregados decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG com retomada da produção (desvio % acumulado. 2016-2020).	141
Tabela 21 – Impacto sobre o nível de atividade setorial decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG no cenário com retomada da produção em Mariana, 2016-2020 (desvio % acumulado).	142
Tabela 22 – Participação regional no PIB total por setor (% , região\setor).	163

Tabela 23 – Participação setorial no PIB das regiões consideradas no modelo DamAge (% região\setor).	164
Tabela 24 – Resultados do Cenário Base sobre indicadores econômicos nas regiões consideradas pelo modelo DamAge (var. % acumulada, 2014-2020).	165
Tabela 25 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário sem retomada (var. % acumulada, 2016- 2020).	166
Tabela 26 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos das regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada (var. % acumulada, 2016- 2020).	167
Tabela 27 – Índices e headers do Modelo DamAge.	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Áreas de Preservação Permanente
BCB	Banco Central do Brasil
Begreen	<i>Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model</i>
B-Maria	<i>Brazilian Multisectoral And Regional/Interregional Analysis Model</i>
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CB	Cenário Base
CBH-Doce	Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce
CEDEPLAR	Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da UFMG
CES	<i>Constant Elasticity of Substitution</i>
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Naturais
CGE	<i>Computable General Equilibrium</i>
DamAge	<i>Dynamic Applied Mining General Equilibrium Model</i>
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
GAMS	<i>General Algebraic Modeling System</i>
GDP	<i>Gross Domestic Product</i>
GEMPACK	<i>General Equilibrium Modelling Package</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
HAZUS	<i>Hazards United States</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IMAGEM-B	<i>Integrated Multi-Regional Applied General Equilibrium Model for Brazil</i>
LES	<i>Linear Expenditure System</i>
PDDI	Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PIB	Produto Interno Bruto

POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares
PIRH-Doce	Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce
Prodetur/NE	Programa de Desenvolvimento do Nordeste
PSC	<i>Production Sharing Contract</i>
RAIS	Relação Annual de Informações Sociais
RL	Reserva Legal
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SEDRU	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana
SEMAD	Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIM	<i>Sequential Interindustry Model</i>
SPARTA	<i>São Paulo Applied Trade Analysis</i>
TCE	Tribunal de Contas
TERM	<i>The Enormous Regional Model</i>
VAR	Vetor Auto Regressivo

SUMÁRIO

1	Introdução	21
2	Contextualização	25
2.1	Recursos Naturais e o Desenvolvimento Regional	25
2.1.1	<i>Royalties</i> e Compensações	28
2.1.2	Mineração e Urbanização em Minas Gerais.....	34
2.2	Conjuntura Pré-desastre	37
2.2.1	Cenário Internacional	38
2.2.2	Quadro do Macrossetor de Mineração no Brasil.....	43
2.2.3	Mariana - MG e a Atividade Mineradora.....	46
2.3	O Desastre de Mariana-MG	50
3	Desastres e a Modelagem Econômica.....	57
3.1	Conceitos.....	59
3.2	Metodologias Adotadas.....	60
3.3	Estágios dos Desastres e Perfis dos Efeitos	64
3.4	Principais Particularidades na Modelagem de Eventos Extremos	70
3.5	Modelos de EGC: Características Básicas	74
3.5.1	Base Teórica	77
4	O Modelo DamAge.....	81
4.1	Características Gerais.....	81
4.1.1	Produção Setorial	84
4.1.2	Demanda Regional/Famílias	86
4.1.3	Estoque de Capital e Investimento	88
4.1.4	Mercado de Trabalho.....	88
4.1.5	Equilíbrio de Mercados, Demanda por Margens e Preços de Compra	89
4.1.6	Equações Comportamentais e Outras Equações	89
4.2	Base de Dados	90
4.2.1	Regionalização	90
4.2.2	Agregação Setorial	96
4.2.3	Análise Descritiva da Base de Dados.....	97
5	Simulações e Resultados	105
5.1	Estratégia de Simulação	106
5.1.1	Cenário Base	106
5.1.2	Simulação de Impacto do Desastre	110
5.2	Resultados das Simulações: Impacto em Mariana e Municípios do Vale do Rio Doce.....	119
5.2.1	Município de Mariana	119
5.2.1.1	Cenário sem retomada da produção minerária em Mariana	120
5.2.1.2	Cenário com retomada da produção minerária em Mariana.....	122
5.2.2	Demais Regiões.....	124
5.2.2.1	Cenário sem retomada da produção minerária em Mariana	125
5.2.2.2	Cenário com retomada da produção minerária em Mariana.....	132
5.3	Resultados Agregados	137
5.3.1	Cenário sem retomada da produção minerária em Mariana.....	138

5.3.2 Cenário com retomada da produção minerária em Mariana.....	141
6 Considerações Finais.....	143
REFERÊNCIAS	147
APÊNDICE A – Ferramenta e Método de Solução	161
APÊNDICE B – Tabelas de Participações e Resultados	163
ANEXO A – Equações Comportamentais do Modelo DamAge	169

1 INTRODUÇÃO

Na tarde do dia 5 de novembro de 2015 o rompimento de um dos diques da barragem de rejeitos de Fundão da mineradora Samarco Mineração S.A., localizado em Mariana-MG, lançou uma enxurrada de lama e rejeitos minerários sobre a Bacia do Rio Doce, com grandes danos materiais, ambientais e humanos.

O evento tem sido considerado pelas agências de risco como o maior desastre da história do país, se enquadrando no grau IV segundo a classificação da Defesa civil, o nível mais grave, caracterizado por eventos que causam perdas e danos em grande escala sem a possibilidade de superação de maneira independente pelas regiões atingidas, com possibilidade de recomposição apenas por meio de recursos estaduais e federais através do Sistema Nacional de Defesa Civil (DE CASTRO, 1999). O desastre foi considerado também como violador dos direitos humanos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015).

O evento causou de imediato uma série de efeitos negativos que trazem consequências regionais significativas no médio e longo prazo. Diante disso, faz-se necessário estudos que avaliem a fundo esses desdobramentos, tomando como meta a geração de dados que contribuam para a noção da distribuição regional e setorial dos impactos negativos e na elaboração de políticas de mitigação dos danos e recuperação econômica.

A região atingida por um desastre é subitamente confrontada com uma série problemas graves que geram intensa demanda de tratativas por meio de políticas públicas. Embora a imediata e primeira grande tarefa envolva identificar as vítimas e outras necessidades humanitárias, surge também a aspiração pela recuperação das perdas materiais e reconstrução da região. Diante disso, a principal questão econômica a ser enfrentada pelos formuladores de política é:

Quais os efeitos econômicos regionais e setoriais gerados pelo desastre de Mariana – MG e de que maneira os impactos diretos e indiretos se distribuem na economia? Qual a capacidade de recuperação endógena via retorno da principal atividade produtiva atingida?

Para responder essa pergunta é necessário inicialmente uma profunda avaliação econômica dos impactos diretos e indiretos da tragédia. Seguindo a projeção da magnitude das perdas vem a identificação dos prováveis ganhos totais do investimento individualizado para cada setor e

região, de forma a apontar os destinos que, através das interdependências inerentes a economia regional, tem maior potencial de disseminação de efeitos positivos e devem ser priorizados.

Do ponto de vista econômico, o cenário pré-desastre detém de uma ampla rede de interdependência produtiva que está sujeita a um fino equilíbrio entre as relações de oferta e demanda internas e externas à região atingida, ajustando não só a alocação de fatores, como os níveis de preço e produção setoriais. A ocorrência de um desastre que, por definição, se constitui de um evento extremo com graves efeitos sobre os agentes, compromete significativamente essa rede levando a um novo cenário, com novas condições de equilíbrio geralmente inferiores às aquelas observadas anteriormente.

Tratar desastres como um fenômeno econômico e não só como um evento exógeno contribui na busca por elementos determinantes da potencialização dos danos, bem como da minimização das perdas. Embora, à primeira vista, considera-se como determinante da magnitude dos danos a severidade do evento extremo, a literatura tem apontado uma série de conexões entre a escala das perdas e variáveis econômicas, sociais e políticas, que são passíveis de interferência via políticas públicas.

Apesar das tentativas de sistematizar essas conexões, como em Cochrane, Chang e Rose (1997) e Noy e Nualsri (2011), a singularidade de cada desastre aliada a particularidade da estrutura regional e setorial dos locais atingidos impede que sejam encontrados padrões fixos para o problema. Uma análise individualizada é mais adequada para identificar os impactos e efeitos de espraio com vistas a elaboração de políticas de mitigação dos impactos.

Modelos de Equilíbrio Geral Computável tem sido recorrentemente utilizados para avaliar os impactos econômicos de desastres e eventos extremos e as políticas de mitigação dos danos e recuperação econômica das regiões afetadas. Além da sua capacidade de lidar com as interdependências nas escalas setoriais e regionais, também possui vantagens no tratamento de choques extremos e de natureza única. Esses atributos somados a possibilidade de projeção num horizonte de tempo de longo prazo (pós política de recuperação), fornecem *insights* que auxiliam na formulação de políticas públicas.

Boa parte da literatura internacional sobre o tema faz uso de modelagens econômicas para projetar as perdas, em termos de produto ou renda, limitadas a região diretamente atingida pelo evento (CAVALLO; NOY, 2010). Apesar da relevante contribuição dessa abordagem, a

oportunidade de ampliar o escopo do estudo incluindo a análise dos efeitos inter-regionais gerados sob outras regiões, deve ser aproveitada.

Para tal, utiliza-se um modelo dinâmico regional de Equilíbrio Geral Computável (EGC) capacitado à análise dos impactos econômicos nas regiões afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, no município de Mariana-MG. Dentre os impactos que podem ser estimados, destacam-se aqueles sobre o nível produção, emprego, renda e comércio, além das mudanças na estrutura produtiva setorial, tomando duas hipóteses distintas: i) interrupção imediata e definitiva da produção de minério localizada no município de Mariana e ii) interrupção imediata e posterior retomada plena da produção de minério no município de Mariana.

O trabalho está dividido em 6 capítulos, além desta introdução. O capítulo 2 aborda os temas transversais ao problema principal, apresentando a conjuntura pré-desastre bem como alguns aspectos do setor de mineração com foco na contextualização de tópicos relevantes para o cenário do desastre.

No capítulo 3, são apresentados os principais conceitos da modelagem econômica na análise de desastres, as discussões predominantes na literatura internacional sobre pontos sensíveis no tratamento do tema, bem como um resumo das principais características e base teórica de modelos de Equilíbrio Geral Computável. Um dos objetivos é destacar os desafios adicionais encontrados na projeção de impactos econômicos de desastres quando comparado a aplicações mais tradicionais.

O capítulo 4 expõe as características principais do modelo a ser utilizado, os critérios adotados para a estruturação das regiões consideradas no modelo, bem como o método utilizado para o procedimento operacional de regionalização e construção de sua base de dados.

No capítulo 5, são apresentadas as estratégias adotadas para a elaboração das simulações e descritos os choques implementados. Posteriormente, são apresentados os resultados das simulações, na abordagem regional e macroeconômica. E por fim, tecem-se as considerações finais.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A história de Minas Gerais guarda forte relação com a trajetória da exploração mineral, emergindo entre os principais produtores, ainda no período da colonização portuguesa, as regiões de Ouro Preto, Nova Lima e Mariana (BARRETO, 2001). A complexidade e amplitude das questões envolvidas de tamanho impacto socioeconômico e ambiental como o que o presente trabalho propõe discutir é, por si só, significativamente extensa, e sua dimensão só cresce quando se trata de um desastre ocorrido na atividade produtiva na qual o estado é fortemente vinculado cultural e economicamente.

Diante disso, longe de aspirar a completa exposição conjuntural, o presente capítulo expõe o panorama dos principais elementos econômicos relacionados ao evento, envolvendo consequentemente o setor de mineração em Minas Gerais e no Brasil nos últimos anos. Analisa, portanto, as mudanças recentes do cenário econômico para o setor de mineração nacional, com um corte especial para fatores da conjuntura pré-desastre que guardam forte correlação com a ocorrência do evento.

2.1 Recursos Naturais e o Desenvolvimento Regional

O surgimento de expressões como “doença holandesa” e “maldição dos recursos naturais” surgiram a partir dos questionamentos sobre os impactos negativos da exploração de recursos naturais sobre o desenvolvimento econômico, incluindo seus efeitos sobre a concentração setorial, desigualdade e meio ambiente, dos quais a mineração tem papel destacado na sua discussão (BEBBINGTON *et al.*, 2008).

Essas e outras visões que atribuem diferentes papéis para a exploração dos recursos naturais no processo de desenvolvimento econômico podem ser divididas, de maneira simplificada, em duas correntes principais: a visão convencional e a visão alternativa. A partir dessas duas abordagens surge todo um debate em torno dos efeitos da exportação de commodities sobre os mais diversos aspectos econômicos e regionais (DAVIS; TILTON, 2005).

A visão convencional considera as reservas minerais de um país, com extração economicamente viável, como parte do seu estoque de capital natural, de maneira similar a áreas agrícolas, florestas e outros recursos não produzidos pelo ser humano. Baseada na abordagem neoclássica

de função de produção, essa visão defende que o desenvolvimento econômico será diretamente proporcional ao estoque de capital físico, humano e natural e, sendo assim, atribui as reservas de recursos naturais um papel chave principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento quando, segundo essa interpretação, a exploração desses recursos tem papel estratégico na geração de divisas e no financiamento e atração de investimentos (DAVIS; TILTON, 2005).

A visão alternativa, por sua vez, identifica uma série de entraves para a efetiva contribuição da exploração de recursos naturais para o desenvolvimento econômico, diretamente proporcionais ao nível de dependência econômica do país para com essa atividade. Segundo Davis e Tilton (2005) e Enríquez (2007) os principais são:

- a) Deterioração dos termos de troca: Ao longo do tempo, o preço de commodities primárias tendem a cair em relação ao preço de produtos manufaturados;
- b) Volatilidade dos mercados: O preço das commodities são determinados pelo mercado internacional que tendem a apresentar variações grandes e de dificultada previsão;
- c) Doença holandesa: Mesmo na fase de preços significativamente favoráveis, o boom de exportações de commodities podem causar distúrbios setoriais via apreciação exagerada da taxa de câmbio ou crescimento dos salários, desestimulando o investimento e a produção da agricultura e indústria;
- d) Uso da renda: A parcela da renda gerada que fica sob o domínio do estado tende a suprir as demandas da elite governante, acentuando as disparidades de renda entre as regiões urbanas e rurais; e
- e) Natureza da mineração: Com relação a exploração de recursos minerais em específico, sua característica capital-intensiva e ambiental-intensiva tende a tornar não só a atividade um enclave, pois, grande parte do capital físico é importado e pouco valor agregado é gerado internamente, como também gerar grandes impactos ambientais de curto e longo prazo. Do ponto de vista social, a necessidade de mão-de-obra é reduzida, e a maior parte do ônus ambiental e social recai sobre comunidades rurais de baixa renda.

Alguns autores acrescentam que, diferente do motor complementar considerado pela visão convencional, a fatura de recursos naturais é um obstáculo adicional para os países subdesenvolvidos alcançarem o desenvolvimento econômico. Baseados em indicadores que

apontam para crescimentos menores de setores não-minerários em economias fortemente mineradoras quando comparados a economias não-mineradoras, alegam que as vantagens do setor de mineração seriam sobrepostas pelo estrangulamento de outros setores-chave para o desenvolvimento. Com base nesse conjunto de pontos negativos levantados é que se cunhou a expressão "maldição dos recursos naturais" (LEWIS, 1984; WHITMORE, 2006).

Dentre os itens citados, pode ser feita uma divisão entre questões de perfis predominante na macroescala e questões de perfis microrregionais. Os itens (a), (b), (c), que destacam principalmente as distorções setoriais e de competitividade, se referem a políticas de desenvolvimento no âmbito nacional, portanto, na macroescala. Os itens (d) e (e), por sua vez, apontam elementos com maior reflexo sobre a escala espacial regional ou local, inclusive sociais.

Tendo em consideração esta última escala, a análise dos denominados setorialistas¹ se destaca. Segundo Shafer (1994), cada setor produtivo pode ser caracterizado de acordo com a capacidade do Estado de reestruturá-lo em função das diferentes fases de desenvolvimento econômico, ou seja, em conformidade com suas políticas de fomento a determinados setores estratégicos. Dentro de sua tipificação, o setor mineral é de difícil reestruturação produtiva por parte do estado devido à: alta intensidade de capital; alta economia de escala; alta inflexibilidade de produção e alta inflexibilidade nos ativos². Afirmar ainda que, esses elementos somados a alta volatilidade dos preços minerais, levam a impossibilidade do Estado em responder de forma eficaz a crises internacionais no setor.

Em outras palavras, Shafer (1994) defende que uma economia fortemente vinculada a atividade mineral tem sérias dificuldades na implementação de políticas de reestruturação produtiva, seja com objetivo de redução da vulnerabilidade econômica aos riscos do setor exportador, seja para promoção de outros setores estratégicos para o desenvolvimento econômico.

Embora a recorrente alegação na literatura especializada da dificuldade do estado na implementação de políticas para o setor de exploração de recursos naturais, autores como Karl (1997) defendem a possibilidade de contorno dos problemas decorrentes desse setor através da

¹ Grupo de pesquisadores que tem em comum o foco nos estudos dos efeitos setoriais decorrentes da exploração de recursos naturais (DAVIS, 1998).

² Diz respeito a natureza especializada do investimento em capital físico (estradas, portos, energia, entre outros) e humano, de modo que, num cenário de realocação desse capital, a sua adaptação seria dificultada.

efetiva coordenação governamental durante todo o período de exploração de recursos minerais, tomando como referência o caso Norueguês³.

A deterioração dos termos de troca tende a forçar os países subdesenvolvidos exportadores de recursos naturais a produzir em escala cada vez maiores, cortando custos. Para tal, reduzem seus custos mediante aumento de produtividade e/ou flexibilização de regulações ambientais e adoção de técnicas mais agressivas para a manter sua participação no mercado internacional. Além de ambiente-intensiva, a atividade mineradora também é capital-intensiva de grande escala para exportação, sendo assim, concentrada na mão de poucas grandes empresas (como será discutido na seção 2.2.2), dificultando que as populações mais pobres e vulneráveis participem da internalização dos (MURADIAN; MARTINEZ-ALIER, 2001).

Do ponto de vista regional, se por um lado as regiões dotadas de recursos naturais possam ser favorecidas por determinados benefícios, como impostos e *Royalties*, por outro, a região assume diversos riscos e efeitos negativos ao dispor de empreendimentos dessa natureza. Junto ao processo de extração desses recursos vem a necessidade da região de arcar com os custos socioambientais inerentes ao processo produtivo. Custos esses que tendem a ter efeitos mais duradouros que os próprios benefícios do empreendimento que os gerou (FURTADO; URIAS, 2013).

No que diz respeito a análise microrregional, as discussões podem ser divididas entre duas questões principais. Primeiro, as discussões envolvem o papel dos *Royalties* e compensações como ferramentas para a gestão por parte do estado dos efeitos negativos inerentes a atividade extrativa. E em segundo lugar, os desdobramentos da exploração de recursos naturais sobre a formação do espaço produtivo e reprodutivo (urbano) das regiões. Nesse sentido, será apresentado a seguir um resumo dos principais elementos envolvendo essas duas discussões, com foco especial na exploração de minério no Brasil.

2.1.1 *Royalties* e Compensações

A natureza limitada dos recursos naturais e seus diversos efeitos negativos impõe ao Estado um papel fundamental na gestão da sua exploração, o qual cabe, inclusive, criar meios de

³ Refere-se ao modelo de gestão de recursos naturais implementada pela Noruega, considerada como responsável pelo diferenciado rumo de sua indústria nacional pós início da exploração de petróleo em grande escala no país Karl (1997).

compensação dos impactos inerentes à atividade, levando em conta questões ambientais e intergeracionais que não podem ser atribuídas ao setor privado. Conforme colocado por Guj (2012):

The role of governments should be to manage the exploitation of these resources to maximise the economic benefits to their community, consistent with the need to attract and retain the exploration and development capital necessary to continue to realise these benefits for as long as possible (GUJ, 2012, p. 3).

Com o intuito de minimizar os impactos das externalidades negativas e/ou compensá-las, o estado pode adotar políticas fiscais através de *Royalties* e impostos sobre a atividade de exploração de recursos naturais. Segundo Guj (2012), o Estado possui três critérios principais para alcançar esses objetivos:

- a) Maximização das receitas. Se referindo a busca pelo volume de tributação ótima, ou seja, que atenda o objetivo de arrecadação do governo ao mesmo tempo em que não desestime investimentos no setor. Dentro dessa discussão há uma clara divisão de opiniões, baseadas em diferentes teorias, entre os que defendem uma maior tributação nesse tipo de setor devido a todos os impactos negativos e, de outro lado, os que defendem uma menor tributação com base principalmente na ineficiência da administração governamental e na possibilidade de afastamento de investimentos no país devido à alta mobilidade internacional do capital;
- b) Base de incidência de tributação ótima. Diz respeito à necessidade de escolha de uma base para o cálculo do tributo que seja clara e não estrangule o setor produtivo em situações de preços internacionais favoráveis ou desfavoráveis; e
- c) Eficiência econômica. Está relacionado ao conceito de neutralidade, ou seja, não deve haver distorções no mercado mesmo após a introdução da tributação por parte do estado, de modo que, as decisões de investimento e produção devem permanecer inalteradas.

Com base nesses pontos, relevantes na tomada de decisão em setores com horizonte de investimento longos como é o caso do setor de mineração, foram criadas uma série de formas para tributação que, segundo Otto (2006) e Guj (2012), podem ter sua incidência baseada em

uma série de princípios distintos, indicados de maneira simplificada e com foco no setor mineral⁴ como segue:

- a) *Royalties* com base em uma reserva física de ativo. Nesse caso, é determinado uma taxa monetária fixa em função de um estoque físico (volume ou peso). Tem como destaque a maior facilidade administrativa da sua gestão e de fácil auditoria, por ser um valor basicamente fixo, porém, tende a ser ineficiente economicamente por não incluir em sua base de incidência elementos que acompanhem as oscilações do mercado e, conseqüentemente, da produção;
- b) *Royalties ad valorem* baseado na produção. Basicamente consiste na determinação de uma porcentagem de incidência de taxa sobre a produção, sendo aplicado de duas formas: Sobre o valor realizado nas vendas ou sobre o valor bruto do mineral ou metal contido no produto mineral vendido;
- c) *Royalties* baseados no lucro. Visa tomar como base de incidência o lucro contabilizado da atividade. Embora apresente maior custo de cumprimento, se destaca pela maior eficiência econômica; e
- d) *Royaltyl* imposto misto. Constitui-se da inclusão de uma faixa mínima de tributação fixa, com o intuito de fornecer estabilidade através de um piso para a arrecadação, combinando o sistema baseado no lucro ou renda com o sistema *ad valorem*.

Um dos principais obstáculos que se apresentam na determinação de bases de incidência de impostos são aqueles relacionados à alta volatilidade do mercado internacional de commodities. Essa volatilidade impõe períodos de baixo retorno do capital e períodos de retorno acima da média no setor de extração de recursos naturais para exportação, dificultando a elaboração de cálculos para impostos que possuam a capacidade de se moldar as condições de lucratividade das empresas do setor no momento de arrecadação. A reduzida tributação em períodos de alta rentabilidade pode comprometer a capacidade do estado de distribuir os benefícios da atividade com a sociedade de maneira adequada. Por outro lado, a tributação excessiva em períodos de baixa rentabilidade econômica pode desestimular a produção do setor (OTTO, 2006).

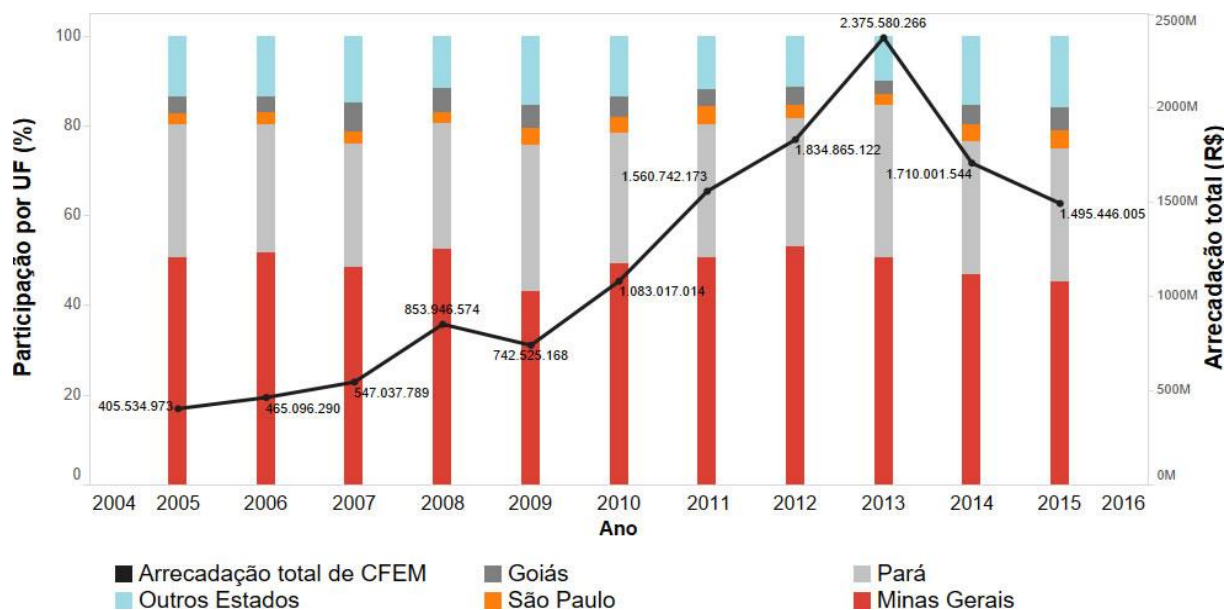
⁴ Embora mais utilizados na exploração de petróleo, também temos o Contrato de Partilha de Produção (*Production sharing contract – PSC*), que se refere à acordos de partilha do lucro líquido das companhias com o governo, e o Imposto de renda sobre os recursos, que atribui uma taxa percentual a renda econômica gerada (GUJ, 2012).

Diversas externalidades negativas podem ser geradas pela mineração: tanto decorrentes do processo produtivo em seu período de atividade - contaminação do solo e água pelos resíduos da extração e processamento do minério, conflitos de uso do solo, áreas degradadas, dentre outros - quanto decorrentes do desligamento da atividade, como desemprego, redução da atividade econômica na região e redução da receita proveniente de impostos, principalmente aqueles relacionados a compensações devido às externalidades negativas geradas, como é o caso da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) no Brasil (LEITE, 2009).

O texto constitucional determina que os recursos minerais são bens da União Federal, de modo que sua exploração está condicionada a um dos seguintes regimes: autorização; concessão; licenciamento; lavra garimpeira ou extração. Além disso, no caso de exploração desses recursos através de qualquer um desses regimes, incide da CFEM, à ser dividida entre a União, Estado e o Município que abriga os recursos minerais (DNPM, 2008).

A CFEM, estabelecida pela Constituição de 1988, em seu Art. 20, § 1º, é devida aos Estados, ao Distrito Federal, aos Municípios, e aos órgãos da administração da União, como contraprestação pela utilização econômica dos recursos minerais em seus respectivos territórios. De acordo com a Lei nº 8.001/90, do total arrecadado pela CFEM, 12% são destinados à União, 23% ao estado onde a substância mineral for extraída e 65% ao município produtor. Para efeito do cálculo da CFEM, considera-se o valor da venda do produto mineral, deduzindo-se os tributos, que incidem na comercialização, como também as despesas com transporte e seguro (IBRAM, 2006).

Apesar da volatilidade dos preços internacionais das *commodities* minerais e seus desdobramentos sobre as regiões produtoras, principalmente no que se refere à arrecadação de CFEM, Minas Gerais tem se mantido como o maior destinatário no recebimento da compensação entre os estados brasileiros, ainda que em escala nacional o montante de CFEM tenha sofrido grandes variações, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Arrecadação de CFEM total e por UF de 2005 a 2015.

Fonte: Elaboração própria. DNPM

Com crescimento recente da preocupação por parte da população com a manutenção da qualidade de vida para sua geração e para as gerações futuras⁵, o aparato regulatório de atividades de extração de recursos naturais tem sido rediscutido, o qual incorpora as definições de compensações por, principalmente, externalidades ambientais negativas. Nesse contexto, no Brasil, a atividade minerária tem recebido uma atenção especial nessa discussão, principalmente mineração de ferro, com base, entre outros fatores, na sua destacada participação relativa em comparação às outras atividades de apropriação de recursos naturais.

Em teoria, as receitas compensatórias têm como objetivo principal oferecer as regiões a oportunidade de serem recompensadas com fundos para ações que, não só mitiguem os impactos negativos da exploração dos recursos naturais em seu período de atividade, como também ofereça a possibilidade de planejamento de longo prazo, levando em conta a iminente desativação do empreendimento e os problemas inerentes ao processo de desvinculação da região à atividade. Desse modo, o planejamento se torna um fator fundamental na decisão do destino de rendas compensatórias e, nesse contexto, o fator sustentabilidade deve ser observado com prioridade (ENRÍQUEZ, 2007). Como colocou Jenkins e Yakovleva (2006):

⁵ Refere-se ao conceito de desenvolvimento econômico sustentável fundamentado no duplo imperativo ético de solidariedade sincrônica e diacrônica, para com a geração atual e futuras, respectivamente. Ou seja, baseado na perspectiva intrageracional, que pressupõe a minimização dos danos ambientais e maximização do bem-estar social, e na perspectiva intergeracional, avançando no sentido de gerar riquezas que compensem os recursos exauridos, mais detalhes em Enriquez (2007).

The depletion of natural mineral resources is a major concern in the debate about sustainable development. (...) Sustainable development in the corporate mining context requires a commitment to continuous environmental and socioeconomic improvement, from mineral exploration, through operation, to closure (JENKINS; YAKOVLEVA, 2006, p. 2).

A descrição dos destinos possíveis para o uso da CFEM, que contam na Lei nº 7.990 de 28/12/89, Lei nº 8.001 de 13/03/90 e o Decreto nº 1 de 07/02/1991, teve o cuidado de determinar objetivamente as restrições ao uso dos valores provenientes da compensação, vedando seu uso para o pagamento de dívidas e do quadro permanente de pessoal, entretanto, no que se refere a determinação dos usos legais, é bastante flexível.

As delimitações para o uso do recurso é um ponto bastante sensível para os desdobramentos de sua arrecadação pois, se por um lado essa flexibilidade no uso da receita pode oferecer a liberdade do município financiar a elaboração e execução de políticas públicas estratégicas visando mitigar os efeitos negativos previsíveis da atividade, incluindo as consequências regionais do futuro desligamento da produção. Por outro, o regime de caixa único, sem nenhuma vinculação no gasto do recurso ou qualquer garantia de seu destino em investimentos estratégicos, faz com que, tanto na esfera federal, estadual e principalmente municipal, sua utilização seja feita com pouco controle e transparência, dificultando o acompanhamento de sua aplicação pela sociedade (LEITE, 2009).

Diversos pontos são levantados sobre os desdobramentos de receitas originárias da exploração de recursos naturais não renováveis como, por exemplo, a tendência à dependência econômica da região que recebe o benefício, tanto na ótica do orçamento municipal, quanto na ótica da falta de estímulo a diversificação produtiva. Entretanto, os dois aspectos negativos dessas receitas que mais se destacam são: sua natureza temporária, vinculada diretamente ao período de disponibilidade e viabilidade econômica da extração dos recursos; e sua instabilidade, visto que o preço da *commoditie* é determinado pelo mercado internacional (COLLIER *et al.*, 2010).

A história do Brasil tem forte conexão com o esforço pela busca e exploração dos bens naturais do seu território, principalmente bens minerais, que contribuíram de maneira decisiva para a ocupação territorial do país e para o desenvolvimento econômico (FARIAS; COELHO, 2002). Nesse contexto, Minas Gerais, com sua destacada disponibilidade de recursos naturais permanece desde os primórdios da história do Brasil até os dias atuais, teve papel importante no desenvolvimento econômico e regional do país, servindo como importante experiência para a avaliação das relações e efeitos da mineração sobre o desenvolvimento regional e urbanização.

2.1.2 Mineração e Urbanização em Minas Gerais

Discutir os desdobramentos da exploração de recursos naturais sobre o desenvolvimento urbano, é inevitavelmente discutir a tensão permanente entre o industrial e o urbano, entre a produção e a reprodução coletiva e, no caso de Minas Gerais, entre a mineração e a urbanização.

Essa tensão que teve um sucesso singular em Minas Gerais com a exploração de ouro e pedras preciosas no século XVIII, formou uma economia urbano-industrial capaz de proporcionar um urbano com características tão marcantes que hoje é considerado patrimônio da humanidade. Ademais, transmitiu os efeitos do seu intenso processo de urbanização para outras regiões do país, organizando o espaço regional e nacional com uma intensidade não verificada até então. A busca por sítios privilegiados por acidentes geográficos que facilitassem o deslocamento regional gerou fortes repercussões sobre o povoamento da colônia, articulando os fluxos do desenvolvimento da região nordeste e sul, avançando para o oeste, dando origem a Goiás e Mato Grosso, e finalmente mudando a capital da Bahia para o Rio de Janeiro. Em síntese, a centralidade do fato urbano-minerador participou de maneira singular na formação dos traços regionais do Brasil, sendo responsável pela primeira integração macro-regional no território brasileiro e por um salto qualitativo e quantitativo em sua ocupação (COSTA; VIANA; MARTINS, 2012).

No caso da exploração de minério, particularmente nas regiões montanhosas de Minas Gerais, o conflito entre o espaço produtivo e reprodutivo foi remediado separando os locais onde se exerciam a atividade, áreas muitas vezes pouco propícias para a criação de vilas e cidades, típicos grotões, daqueles reservados para moradia, geralmente localizados nos altos dos morros, junto às capelas. Pois, além do incentivo devido ao clima chuvoso e frio, que estimulava a busca por locais altos, mais ensolarados e ventilados, evitava-se que o espaço reprodutivo, o urbano, fosse destruído pela produção (MONTE-MÓR, 2001a).

A mineração também deixou muitos legados culturais pelas regiões onde se realizou intensa atividade produtiva, como é o caso da região onde hoje se constituiu o município de Mariana. Ainda no período de exploração aurífera do século XVIII, tomou papel como pólo de destacada dinâmica e urbanização da América portuguesa, chegando a ser instituída como capital da Capitania de São Paulo e Minas de Ouro em 1709 e se tornar o primeiro núcleo urbano elevado à categoria de cidade de Minas Gerais em 1745. Sua marcada participação no processo de

urbanização de Minas Gerais atribuída à mineração ofereceu à região um importante núcleo religioso da Igreja Católica através de diversas obras e edifícios religiosos (ROMEIRO; BOTELHO, 2003). Segundo Fonseca (1998), a centralidade religiosa em Mariana decorrente da atividade mineral na região também proporcionou à cidade o posto de única cidade a constituir objeto de um documento régio com a finalidade de conduzir o planejamento da cidade.

A configuração regional de Minas Gerais sofreu forte influência indireta da atividade mineradora, como é o caso do estímulo a povoações em estradas ou caminhos que serviam de conexão para a mineração (VASCONCELLOS, 1959). Em regiões onde se exercia a mineração com clima mais quente, como no norte de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, o tecido urbano apresentou maior tendência a se confundir com o espaço de produção nos baixões, junto aos rios, definindo contornos menos claros entre os dois espaços com limites estabelecidos apenas pela institucionalização da vila ou da cidade (MONTE-MÓR, 2001a).

A implantação da mineração também pode ser posterior ao processo de urbanização, de modo que a atividade não arca com o ônus do processo de urbanização e apenas se beneficia da configuração urbana já instalada. Seja o início pela exploração de minério ou pela urbanização, essa união poderia agir de maneira complementar, contribuindo de diversas maneiras para o urbano. Entretanto, de uma maneira geral, isso não se verifica desde o século XIX no Brasil (MONTE-MÓR, 2001b).

O modo peculiar como se desenvolveu esse urbano oferece uma outra perspectiva a história dessas cidades, que na ausência dessa nova concepção, carregaria equivocadamente o entendimento comum de cidade como produto da articulação de um excedente gerado no campo. Essa interpretação de causalidade inversa no binômio cidade/campo teve como principal precursora Jacobs (1969). A autora demonstra através da sua hipótese teórica como a cidade urbana pode ser a protagonista desse processo e assumir desde seu princípio o papel de articuladora da organização sócio-espacial no campo, na região, e até mesmo no país, como é o caso da mineração em Minas Gerais.

Assim, tal visão pode ser considerada oposta, mas é também complementar, e contribui substancialmente para o entendimento de como as cidades originadas da mineração se diferenciam do conceito amplamente difundido de que o processo de urbanização se verifica necessariamente devido às transformações sociais e progresso tecnológico no campo, capaz de

gerar excedentes com menos mão de obra, liberando parte da população envolvida diretamente nas atividades do campo. Com efeito, dadas as circunstâncias específicas da distribuição espacial de recursos naturais, principalmente de minérios, as cidades podem se desenvolver também na ausência de progresso tecnológico (MONTE-MÓR, 2001b).

Entretanto, independentemente de qual motor da organização sócio-espacial se considere, se cidade ou campo, poucos contestariam a capacidade singular da atividade extrativa mineral em construir, transformar e destruir o urbano. Com relação ao último, o processo destrutivo pode ocorrer seja devido a própria rigidez locacional característica da atividade, que expulsa atividades menos lucrativas de territórios onde se encontram jazidas minerais, seja devido ao risco de acidentes inerente ao processo produtivo, que devido à grande escala característica de projetos de mineração, tem os danos potenciais ampliados em casos de desastres.

A produção de recursos naturais para exportação se destaca pela reduzida capacidade de retenção de riquezas para a região onde ocorre a atividade, e no que tange a mineração, essa característica é ainda mais expressiva (TILTON, 2004). Diante disso, uma das questões principais que permanece é como organizar essa base exportadora de modo a estimular o multiplicador urbano via atividades domésticas. Ou seja, como a partir da centralização produtiva difundir a descentralização. Como a partir da forte produção de um produto primário para exportação estimular as atividades locais de produtos preferencialmente de maior valor agregado de modo a beneficiar o espaço urbano local. À vista disso, o urbano, enquanto espaço de encontro, de concentração, conhecimento e diversificação de atividades, tem papel fundamental na progressão de uma economia extrativista para uma economia tecnológica e diversificada.

Enquanto a mineração pode ser compreendida como a atividade que teve papel extremamente determinante no rumo do desenvolvimento econômico e regional no estado, na criação de diversas cidades e na atração de migração das mais diversas regiões do país para Minas Gerais, ignorando inclusive as linhas limítrofes do tratado de Tordesilhas e avançando pelo território espanhol (BARRETO, 2001). Sob outra perspectiva, pode ser considerada a atividade que mais contribuiu para a inflexibilidade do arranjo produtivo do estado, para a forte dependência para com o setor de mineração e, conseqüentemente, fortemente susceptível aos ciclos econômicos das *commodities* minerais no mercado internacional.

Além dos aspectos econômicos negativos, a herança que não pode ser despercebida são as relacionadas à degradação ambiental, como colocado por Pereira (2001):

Ao produzir o espaço urbano a sociedade se apropria da natureza e a transforma, criando mercadorias desejáveis e indesejáveis. As mercadorias desejáveis fazem parte do ideário do desenvolvimento: objetos, serviços, equipamentos, que vão desde automóveis e casas até serviços telefônicos e de infra-estrutura. As mercadorias indesejáveis são aquelas que não foram planejadas como mercadorias, são consideradas desvios do modelo de desenvolvimento: alimentos deteriorados, automóveis poluidores e também subhabitações, “lixões”. Os produtos pensados para o desenvolvimento, ao se transformarem em problemas, demonstram as contradições do processo de produção (PEREIRA, 2001, p. 3).

No caso da mineração, o progresso tecnológico e a crescente escala adotada no processo produtivo gerou na atividade um dos seus maiores riscos ao espaço urbano, que toma forma à partir do depósito de volumes descomunais do seu “produto indesejável”, chamado de rejeitos de minério, que tendem a permanecer com potencial de dano inalterado mesmo após o desligamento da atividade mineradora.

Em síntese, atividades com potencial de danos ambientais e riscos ao espaço urbano, como as que envolvem a exploração de recursos naturais, devem possuir em paralelo um sólido aparato do Estado que proporcione não só meios de compensações para manutenção do bem-estar social, como também um gerenciamento eficaz das questões ambientais, envolvendo inclusive a fiscalização do cumprimento das legislações vigentes. Com efeito, quando se trata de uma atividade do porte da atividade minerária, o potencial de danos ambientais e risco de desastres cresce proporcionalmente à escala do empreendimento. Diante disso, é necessária atenção redobrada para fatores da conjuntura envolvendo o setor que podem contribuir e ampliar a proeminência desses danos e riscos.

Nesse sentido, o próximo capítulo expõe um resumo dos principais tópicos regionais e setoriais envolvendo o desastre de Mariana – MG, com foco para o período que precede o evento.

2.2 Conjuntura Pré-desastre

Aspectos econômicos têm importante papel não somente na análise pós-desastre, envolvendo a projeção das perdas e identificação da alocação adequada dos recursos para reconstrução, como também para se desenhar o contexto pré-desastre. Diante disso, longe do objetivo de determinar as causas técnicas para a ocorrência do desastre, o presente capítulo tem como finalidade a exposição de elementos da conjuntura econômica que podem ter contribuído de maneira indireta para a formação das circunstâncias da tragédia.

2.2.1 Cenário Internacional

Ciclos econômicos que apresentam forte expansão da demanda por minério tornam mais evidente a inclinação extrativa mineral por parte de determinadas regiões, sejam elas estados, municípios ou países. Por outro lado, a rápida contração da demanda subsequente tende a revelar a dependência estrutural do desempenho econômico regional para com a atividade mineradora.

A grande variação no preço e volume das exportações de minério de ferro que ocorreu, sobretudo, no período entre 2005 e 2014, considerado superciclo das *commodities*, trouxe à tona a discussão acerca de suas repercussões econômicas regionais e setoriais sobre os estados e municípios exportadores. Com a queda expressiva da receita com a exportação do minério, devido à queda do nível de preço internacional a partir de 2012, veio à tona mais fortemente as consequências desse processo.

Na perspectiva regional, Sessa, Simonato e Domingues (2016) projetaram os efeitos do aumento intenso da produção de *commodities* sobre as desigualdades regionais, baseado principalmente no forte crescimento da produção de minério de ferro e pela rigidez locacional da exploração de recursos naturais. Na ótica setorial, Nahas (2014) avaliou os efeitos desse choque positivo na demanda por minérios sobre a estrutura produtiva de Minas Gerais e seus principais municípios mineradores, principalmente no que se refere aos impactos sobre a diversificação produtiva dessas localidades.

Como pode ser verificado na Figura 2, a partir de 2005 o preço do minério de ferro aumentou significativamente, apresentando uma taxa anual média de crescimento de 25,37% ao ano até 2011, ano em que alcançou o pico de 126,40 dólares por tonelada. Este crescimento foi acompanhado pela exploração do minério que saltou de 224 toneladas em 2005 para 330 toneladas em 2011.

Figura 2 – Exportações de minério de ferro



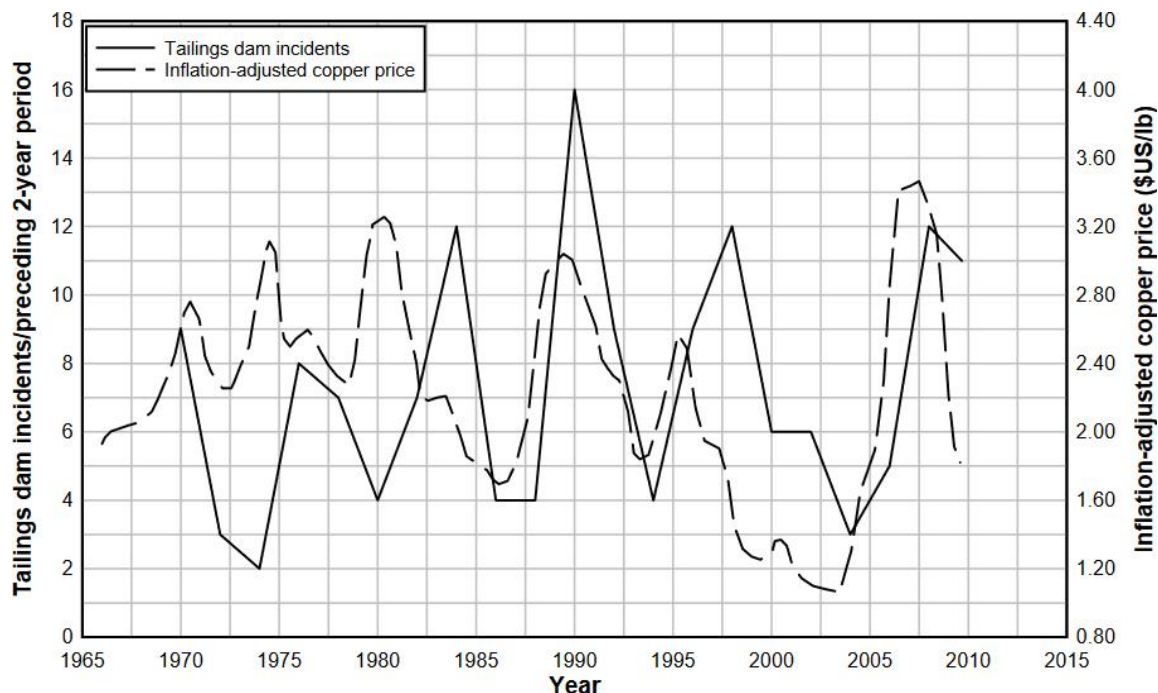
Fonte: Elaboração própria. SECEX/MDIC.

Observando-se simultaneamente o comportamento dos preços e quantidades, é possível notar que na fase inicial de aumento dos preços que ocorre até 2011, o volume de produção tende a acompanhar as variações dos preços. Entretanto, na fase subsequente de declínio dos preços essa relação não se verifica, chegando a apresentar em 2014 uma produção 4,2% maior mesmo com uma queda no preço de venda de 42%, quando comparado a 2011.

Em decorrência do aumento da demanda internacional, houve uma retomada dos investimentos associados à base de recursos naturais no período de aquecimento, notadamente o minério de ferro, na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH e no seu entorno (PDDI, 2011).

Ciclos econômicos da mineração como esse, com crescimento intenso no volume de produção numa primeira fase e posterior queda na receita com manutenção ou até aumento no nível produção, já são identificados na literatura como possuindo forte correlação com o aumento da ocorrência de desastres envolvendo barragens de rejeitos, principalmente na fase inicial de recessão do ciclo (BOWKER; CHAMBERS, 2015; DAVIES; MARTIN, 2009).

Figura 3 – Ocorrência de rompimento de barragens e preço do minério de cobre⁶ ajustado.



Fonte: (DAVIES; MARTIN, 2009).

A razão para essa relação pode ser explicada, segundo os autores, tanto pelo incentivo ao aumento da produção na fase de crescimento do preço do minério que se desdobra em pressão sobre órgãos de licenciamento ambiental, como também pela necessidade de adaptação à nova realidade de preços mais baixos impostos pela segunda fase do ciclo, resultando numa pressão para redução de custos, envolvendo inclusive os gastos com planejamento, segurança etc.

Our sense of the data and the case histories we have looked to for a deeper understanding of the data is that: “mining economics” plays a significant role in Tailings Storage Facility failures and that it is important in permitting and in the regulatory process to look beyond the “mechanisms of failure” to the fundamental financials of the miner, the mine, and mega trends that shape decisions and realities at the individual mine (BOWKER; CHAMBERS, 2015, p. 2).

Davies e Martin (2009) elencam as possíveis razões para a tendência de aumento de incidência de desastres envolvendo o rompimento de barragens nos períodos de recessão de ciclos econômicos da mineração:

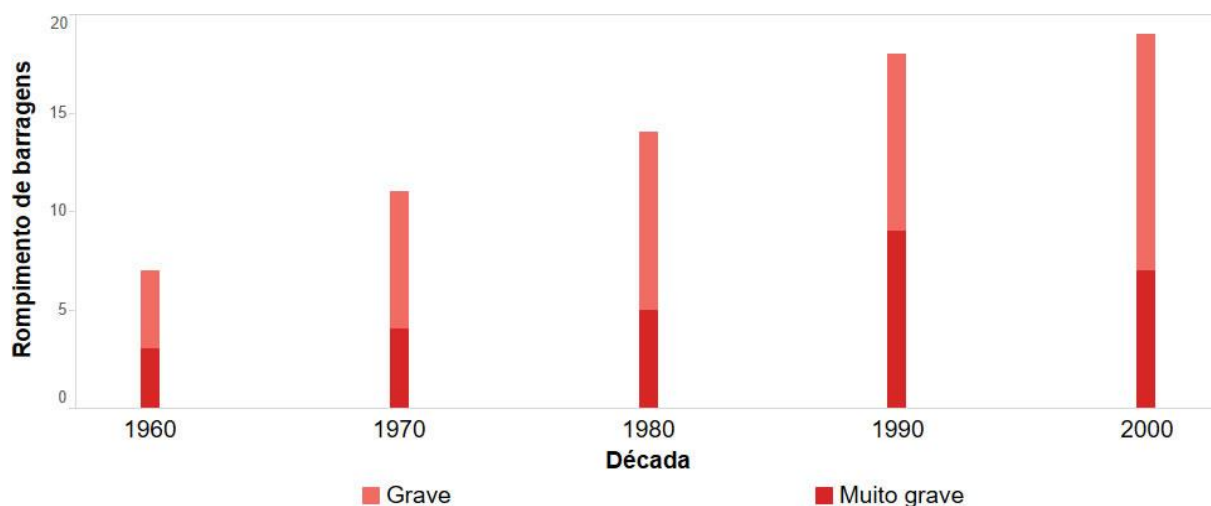
⁶ Segundo o autor, a escolha do uso da série temporal do preço do minério de cobre para a análise, em oposição ao preço de minério de ferro, se justifica pelo fato do mercado internacional de minério de cobre ser amplamente tomado como referência e principal termômetro para o mercado de commodities minerais como um todo. Mais detalhes em Davies e Martin (2009).

- a) Aumento excessivo dos pedidos por licenciamento e outras questões regulatórias que impõe um nível de demanda acima da capacidade de oferta dos órgãos competentes, comprometendo a qualidade dos serviços;
- b) Pressão sobre os órgãos competentes para o rápido licenciamento da atividade, devido principalmente a intenção de aproveitamento da fase de preços altos proporcionada pelo ciclo, comprometendo a avaliação adequada da localização e de outras questões envolvidas;
- c) Sobrecarga sobre engenheiros e técnicos no período de aumento dos preços, levando a contratação de profissionais menos experientes e/ou menos qualificados;
- d) Impacto negativo sobre a segurança adotada no planejamento e execução de projetos para o aumento da produção na fase de aumento acentuado dos preços, devido a pressa para a finalização ou devido a reversão de tendência dos preços ainda no período de execução de projetos, comprometendo a execução dos procedimentos de segurança planejados previamente devido ao corte de custos;
- e) Impacto negativo sobre a segurança adotada no processo produtivo durante a fase de queda dos preços, devido à redução de custos;
- f) Falta de análises independentes de órgãos terceiros; e
- g) Aumento de rotatividade de profissionais chaves na administração de grandes projetos do setor devido às profundas mudanças do mercado no período dos ciclos.

A direção do progresso científico e tecnológico do setor mineral tem como uma de suas diretrizes principais os obstáculos apresentados pelos contextos geológicos das jazidas, dentre os quais o desafio principal é trazer viabilidade econômica na exploração de jazidas com teor de minério cada vez menor. Nesse contexto, nas últimas décadas, houve um intenso processo de acúmulo de conhecimento científico e tecnológico envolvendo o processo de extração de minério, principalmente os processos de lavra e concentração de minério de ferro, progresso que não foi observado na mesma intensidade quando se trata do tratamento dos rejeitos (PINHEIRO, 2000).

Segundo Bowker e Chambers (2015), a crescente ocorrência de acidentes envolvendo barragens considerados graves e muito graves⁷, ilustrado na Figura 4, podem estar associados a essa divergência entre o acelerado progresso tecnológico na extração e beneficiamento do minério em comparação com os avanços tecnológicos envolvendo a geração e tratamento dos rejeitos.

Figura 4 – Ocorrências de desastres envolvendo o rompimento de barragem de rejeitos.



Fonte: Adaptado de Bowker e Chambers (2015).

A respeito dos efeitos desses avanços sobre a ocorrência de desastres envolvendo barragens, três pontos se destacam: Primeiro, os avanços na extração tendem a aumentar a competitividade de modo que o volume produzido não sofra reduções apesar de quedas no preço do produto; Segundo, viabilizam a extração em reservas com teor cada vez menor de minério, gerando assim um volume cada vez maior de rejeitos por tonelada beneficiada (GOMES; REIS; CAVALCANTI, 1997; PINHEIRO, 2000). E terceiro, ao viabilizarem a extração de minério no mesmo local por mais tempo, contribuem para a construção de barragens de porte cada vez maior visando economias de escala, e consequentemente, aumentando os danos potenciais em caso de acidentes (BOWKER; CHAMBERS, 2015; POEMAS, 2015).

Satellite imagery has lead us to the realization that tailings facilities are probably the largest man-made structures on earth. Their safety, for the protection of life, the environment and property is an essential need in today's mining operations. These factors, and the relatively poor safety record revealed by the numbers of failures in tailings dams have led to an increasing awareness of the need for enhanced safety provisions in the design and operation of tailings dams (ICOLD, 2001, p.15).

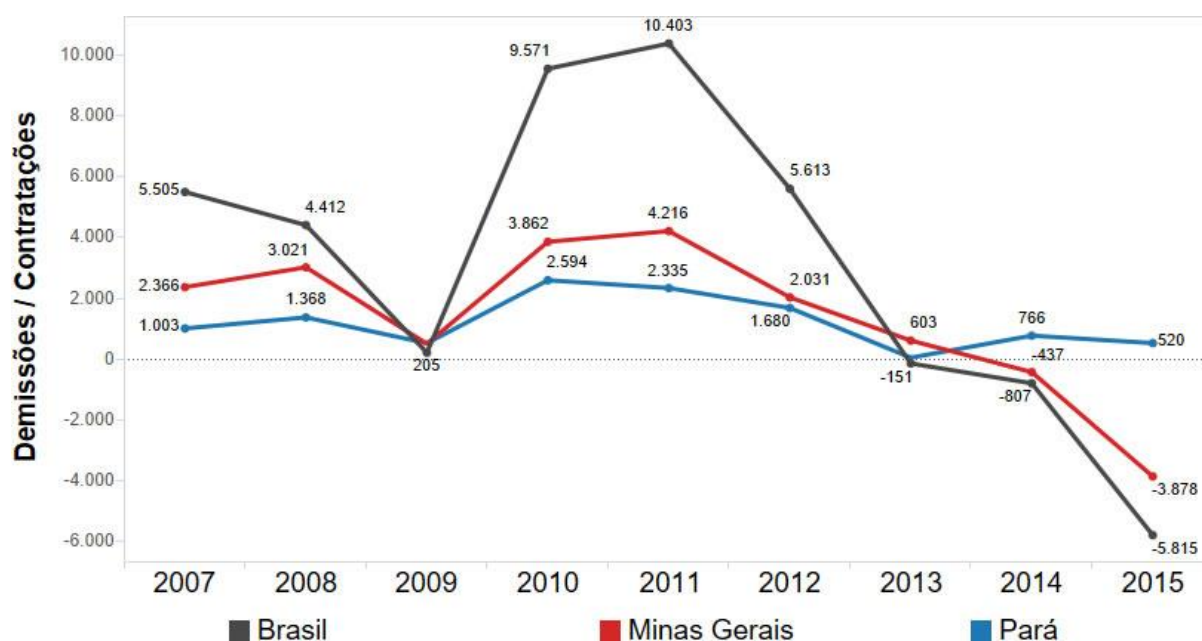
⁷ Considera-se aqui a mesma definição adotada por Bowker e Chambers (2015), a qual denomina como grave os acidentes envolvendo o vazamento de rejeitos num volume superior a 100 mil metros cúbicos e muito grave para aqueles com vazamentos de rejeitos superiores a 1 milhão de metros cúbicos e/ou que percorreram distâncias acima de 20 km.

Em síntese, enquanto o aumento de produção por si só, contribui para o crescimento do volume de rejeito, a necessidade de redução de custo aliada a maior geração de rejeitos por tonelada de minério beneficiado podem ampliar consideravelmente o risco e o potencial dos danos de acidentes envolvendo barragens de rejeitos minerários. Nesse sentido, vale a discussão sobre a conjuntura do macrossetor de mineração no Brasil no período recente.

2.2.2 Quadro do Macrossetor de Mineração no Brasil

As fortes oscilações no mercado internacional de commodities foi sentida no macrossetor de mineração nacional, com destaque para os Estados dependentes da atividade. A Figura 5 apresenta a evolução do mercado de trabalho do setor minerador no Brasil, Minas Gerais e Pará.

Figura 5 – Saldo de empregos no setor de Mineração de 2007 até 2015.



Fonte: Elaboração própria. CAGED.

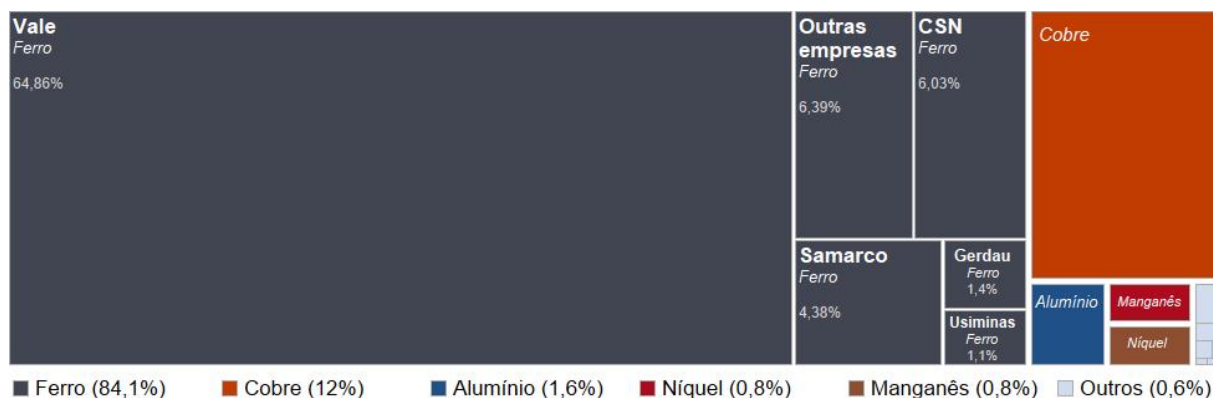
No sentido contrário da tendência de demissões apresentadas em Minas Gerais e no Brasil como um todo, no período de 2013 a 2015, o Estado do Pará manteve contratações apesar da queda acentuada no preço do minério de ferro nesse mesmo período (Figura 2). Esse fato pode ser atribuído aos grandes volumes de investimento no projeto S11 da Vale S.A. para exploração de minério de ferro em Carajás – PA.

A redução do preço do minério de ferro e a consequente necessidade de redução de custos para a manutenção da produção também repercutiu sobre o mercado de trabalho no setor. A indústria

extrativa mineral, mesmo na ausência de choques externos, tende a apresentar níveis elevados de acidente de trabalho. Em períodos de forte pressão para redução dos custos de produção o quadro tende a se agravar (BOWKER; CHAMBERS, 2015; POEMAS, 2015). A ampla política de terceirização adotada pela Samarco S/A nos últimos anos é um exemplo dos impactos negativos da redução de custos sobre as relações trabalhistas no setor de mineração (POEMAS, 2015).

Embora no Brasil a atividade de exploração de bens minerais como um todo seja expressiva, a produção de minério de ferro em específico tem participação destacada dentro do amplo conjunto de *commodities* minerais produzidas. Além disso, avaliando-se a própria distribuição da produção de minério de ferro por empresas no país, verifica-se também uma forte centralidade, fazendo com que mais de 60% da exportação de bens minerais seja constituído por um mesmo produto (minério de ferro) e por uma mesma empresa (Vale S/A), que detém participação de 65%, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Exportação de minério por empresas no Brasil de janeiro a outubro de 2015.



Fonte: Elaboração própria. SECEX/MDIC, IBRAM (2015).

Essa concentração faz com que a discussão do macrossetor de mineração nacional passe necessariamente pela distribuição alocativa da produção de minério de ferro no território nacional, sujeita por um lado às estratégias de mercado das empresas, e por outro, à rigidez locacional dos recursos naturais.

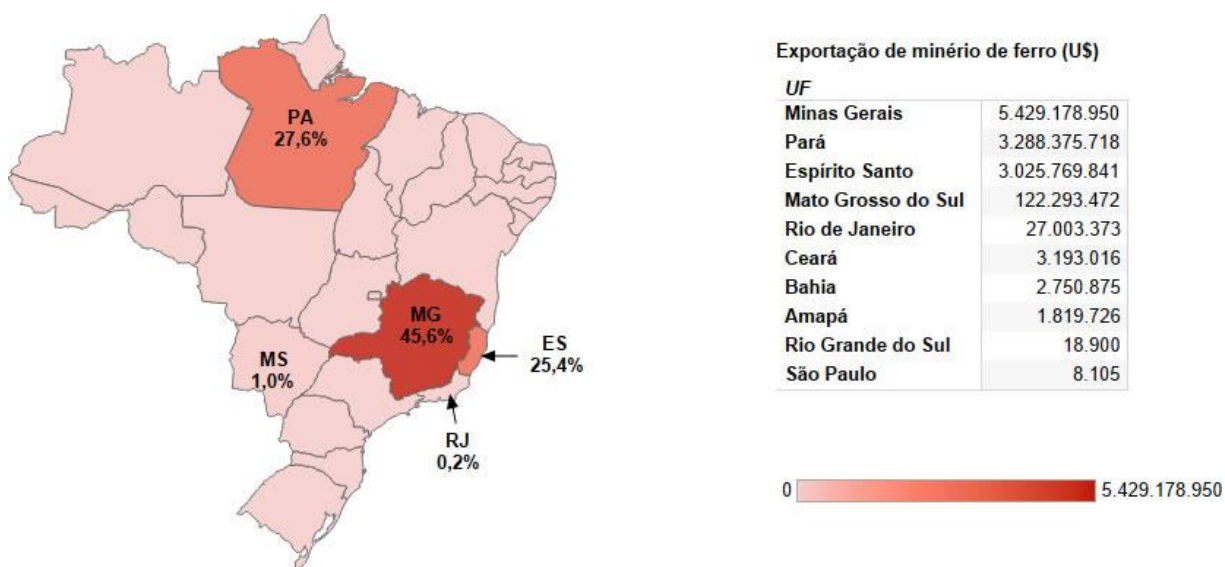
O direcionamento da produção ocorre levando em conta não apenas o teor de minério de ferro das reservas. É também considerado, entre outros elementos, a possibilidade de mistura das extrações de jazidas mais ricas em teor com aquelas mais pobres, de modo a atingir um teor médio equivalente ao comercializado no mercado internacional (CAVALLI, 2016). A Vale S/A, principal mineradora em operação no Brasil, dispõe de jazidas com diversos teores de

concentração de minério de ferro. A reserva de Carajás no Pará, por exemplo, detém de rochas com teor de aproximadamente 67%, minérios de Hematita, consideradas de maior concentração do mundo, enquanto as minas rotuladas como “pobres” em concentração, tipicamente localizadas no Sul e Sudestes do país, apresentam cerca de 45%. (QUARESMA, 2009; VALE, 2016).

Essa estratégia estende o prazo de viabilidade de produção em reservas já bastante exploradas do Sul e Sudeste do país, podendo não só estimular a manutenção do volume de produção da região, como até mesmo incentivar o aumento, de acordo com a estratégia das empresas diante das condições do mercado internacional de minério de ferro (CAVALLI, 2016).

Seja devido ao grande capital já instalado que viabiliza a produção de minério de ferro no estado de Minas Gerais, seja em razão da mistura do minério de teor relativamente baixo extraído no estado com o minério de teor elevado do estado Pará, Minas Gerais lidera a participação na produção de minério de ferro no âmbito nacional, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Exportações de minério de ferro por UF de janeiro a outubro de 2015.



Fonte: Elaboração própria. SECEX/MDIC.

Nota-se por meio da análise da distribuição da produção do minério por município que Mariana em 2015, o ano do desastre, era o maior município produtor de Minas Gerais, seguido com proximidade pelo município de Nova Lima, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Principais municípios mineradores do estado de Minas Gerais de janeiro a outubro de 2015 por CFEM (operação) (R\$).



Fonte: Elaboração própria. DNPM.

Desse modo, a importância do município de Mariana para a mineração, tanto no âmbito nacional, quanto regional fica destacada. Nesse contexto, vale avaliar a importância da atividade mineradora para o município de Mariana.

2.2.3 Mariana - MG e a Atividade Mineradora

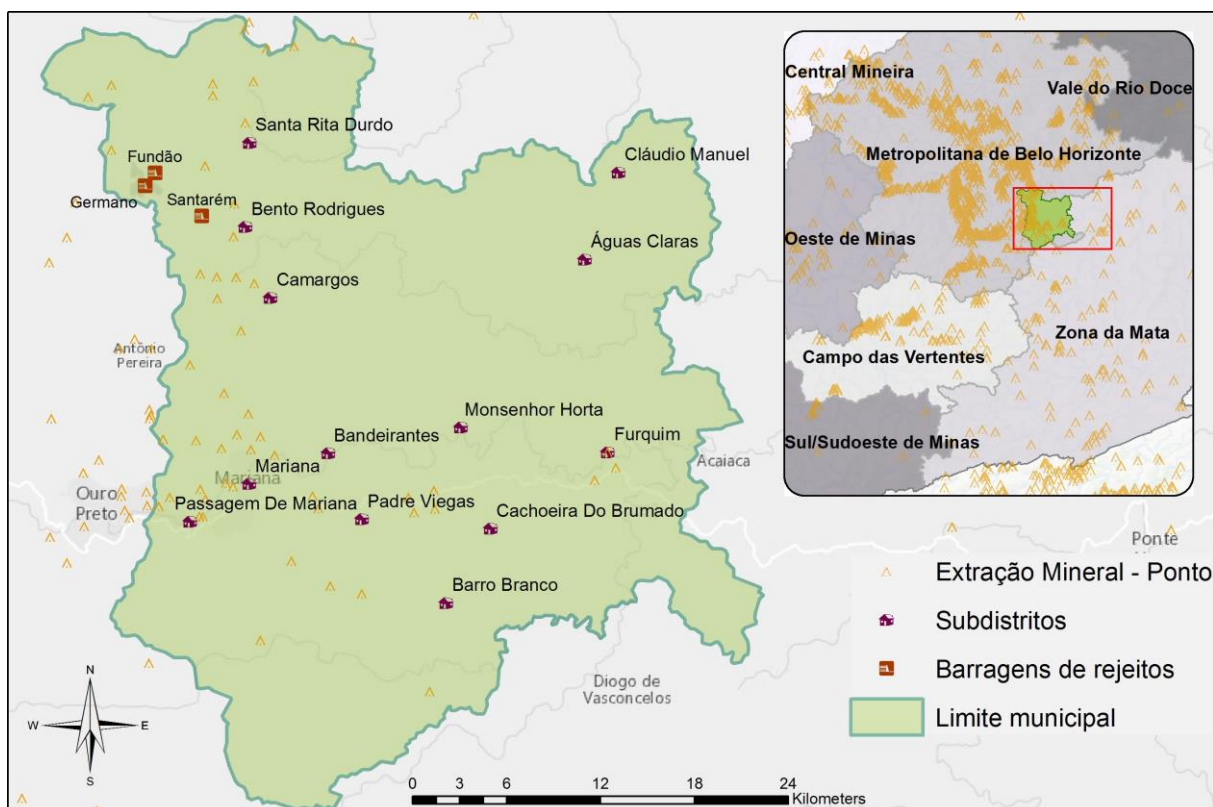
*Se eu falar em fechar a Samarco
eu estou falando em fechar a prefeitura.*

Duarte Junior, Prefeito de Mariana, 2015⁸

Localizado na região Central de Minas Gerais, o município de Mariana – MG está inserido na Região Metropolitana de Belo Horizonte e possui 1197 km² dividido entre 10 distritos e 25 subdistritos, incluídos na bacia hidrográfica do rio Doce. Conhecida como a primaz de Minas, Mariana foi a primeira vila, sede do primeiro bispado, primeira capital e primeira cidade planejada do estado (ROMEIRO; BOTELHO, 2003).

⁸ (DW, 2015)

Figura 9 – Localização geográfica do município de Mariana - MG e seus distritos.



Fonte: Elaboração própria. Dados do Instituto Prístino, IBGE e IBAMA.

Nas últimas décadas, o município tem sofrido fortemente os impactos das oscilações no mercado de *commodities* internacional devido a sua destacada participação entre os principais municípios mineradores do país. A intensa ocupação de determinadas áreas em decorrência da mineração ocorrida nas últimas décadas, bem como a alteração nos cursos das drenagens, desmatamentos e contaminação das águas por efluentes líquidos domésticos e industriais, tem gerado diversos problemas geoambientais (SOUZA; SOBREIRA; PRADO FILHO, 2005).

A mineração de minério de ferro se concentra nos distritos de Bento Rodrigues e Santa Rita Durão na região Noroeste do município, enquanto a extração de esteatita ou pedra-sabão e bauxita ocorre na região Sudeste. Embora outras atividades fora a mineração também participem da economia da região, como o artesanato com foco no distrito de Cachoeira do Brumado e a agropecuária em Cláudio Manoel e Furquim, Mariana mantém-se periférica nessas atividades quando comparada às outras centralidades da região, como o município de Ouro Preto (CYMBALISTA; CARDOSO, 2009).

Em 1823, Mariana perde seu posto de capital mineira para Ouro Preto, transferindo para a nova capital boa parte da oferta de comércio e serviços da região que, após a decadência da extração

de ouro, se consolidou como nova centralidade regional. A maior centralidade regional exercida por Ouro Preto sobre Mariana pode ser observado ainda nos dias atuais em muitos aspectos, seja pelo fato de boa parte da mão de obra especializada que atua principalmente na atividade mineral ou na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) *campus* Mariana residir em Ouro Preto, seja devido ao turismo que têm Mariana como passeio diurno e Ouro Preto como diurno/pernoite, oferecendo reduzida demanda pelos serviços de hotéis e restaurantes em relação ao potencial da cidade (CYMBALISTA; CARDOSO, 2009). Como destacado por Silva (2010):

Embora conte com um acervo cultural de extrema importância, o turismo em Mariana não se tem desenvolvido e não sendo aproveitado da mesma forma que em Ouro Preto. A estrutura de suporte dessa atividade é bastante insuficiente, inexistindo hotéis ou comércio voltados especificamente para a clientela turística.(...) É necessário salientar que, a longo prazo, fator fundamental de desenvolvimento do sistema urbano marianense é a preservação daquele patrimônio, uma vez que ele se apresenta como principal gerador da atividade turística, atividade está amplamente reconhecida como um dos alicerces do desenvolvimento econômico dos Municípios de Ouro Preto e Mariana (SILVA, 2010, p. 20)

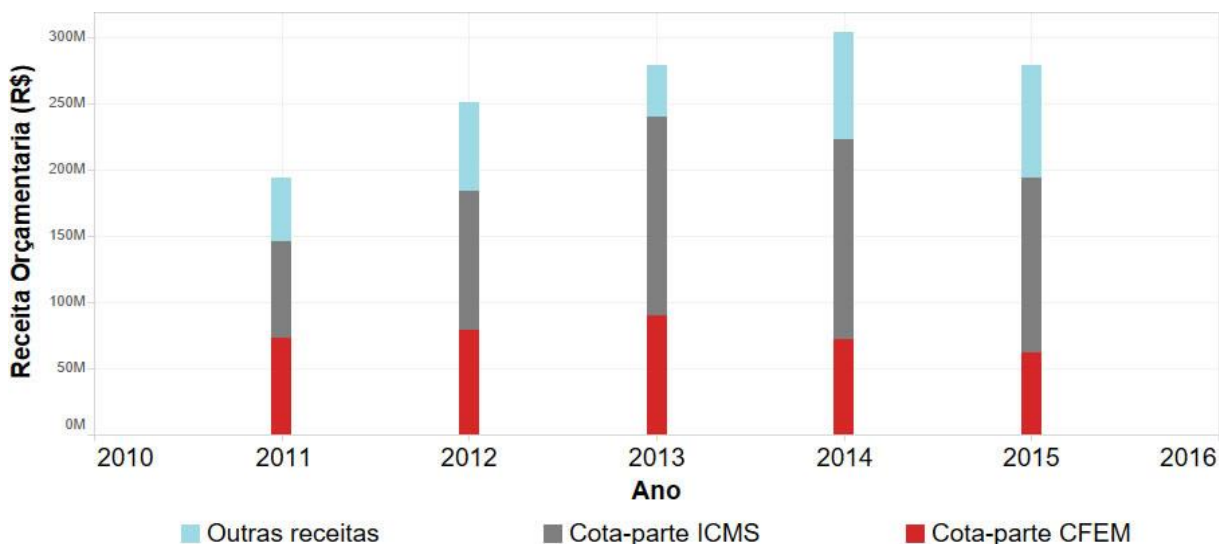
A forte presença da mineração no dia-a-dia dos marianenses pode ser observado também pela configuração do mercado de trabalho no município, pois boa parte dos cidadãos tem sua atividade de trabalho ligada direta ou indiretamente à mineração.

Visto que boa parte das atividades socioeconômicas no município giram em torno da mineração, as empresas atuantes na região, Vale S/A e Samarco Mineração S/A, são as principais percursoras da dinâmica regional e têm papel decisivo no desenvolvimento da região através da geração de empregos diretos e indiretos e da geração de impostos e *Royalties*. Este cenário, de certa forma, dificulta a elaboração de políticas públicas independentes para estímulo de setores alternativos (COELHO, 2012; SOUZA; SOBREIRA; PRADO FILHO, 2005). A mão-de-obra disponível na região possui, neste caso, restritas opções de alocação da sua força de trabalho, ficando mais exposta aos efeitos das decisões corporativas das empresas mineradoras, além de tender a se submeter mais facilmente à condições precárias de trabalho (POEMAS, 2015).

Diante disso, a atividade minerária permanece com importância destacada em relação a outras atividades no município de Mariana, principalmente quando se trata de receita orçamentária municipal, na qual a CFEM tem participação significativa. Apesar da redução da participação de CFEM na receita orçamentária de Mariana nos cinco anos anteriores ao desastre, o papel do imposto sobre a composição do orçamento ainda permanece elevada, bem como do ICMS que

faz parte do campo de incidência sobre a atividade mineral, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Participação da CFEM e ICMS na receita orçamentária do município de Mariana-MG.



Fonte: Elaboração própria. TCE/MG.

O nível de produção da mineração serve de base para o cálculo da CFEM e, no caso de municípios fortemente mineradores como Mariana, também serve como fonte principal de tributação de ICMS, determinando o volume de repasse da cota-parte do tributo. Isto expõe, portanto, a forte dependência direta e indireta das contas públicas municipais em relação à atividade minerária local que, como já foi discutido, depende dos preços determinados no mercado internacional.

As mudanças no processo produtivo nos últimos anos impostas pela redução do preço do minério de ferro e sua consequente pressão para redução de custos repercutiu também sobre a eficiência no consumo de água. No caso da Samarco em Mariana, o uso de água para cada tonelada de pelotas ou finos de minério cresceu 50% no período entre 2009 e 2014. Cenário que se agrava quando levamos em conta o efeito combinado da redução de eficiência com o aumento do volume de produção total. A adoção de rodízios no abastecimento de água para a população do município paralelamente ao aumento expressivo no consumo de água pela Samarco (114% entre 2009 e 2014), apontou condições de desigualdade no acesso ao recurso com o uso industrial privilegiado, gerando questionamentos por parte da comunidade com relação a gestão dos recursos hídricos disponíveis na região (POEMAS, 2015).

Em Mariana, a elevada complexidade geológica do território do município também se destaca e pode se tornar um risco de acidentes, como alertado por Sobreira (2001):

Além destes problemas de instabilidade de taludes, o assoreamento de canais de drenagem pelo material proveniente das encostas e de atividades mineiras no Ribeirão do Carmo propicia a possibilidade de inundação na planície aluviara e nas partes mais baixas da cidade. Consequentemente, em muitos locais a população vive em risco quase permanente, com agravante nas épocas mais chuvosas, quando os processos geológicos se manifestam mais intensamente (SOBREIRA, 2001, p. 58).

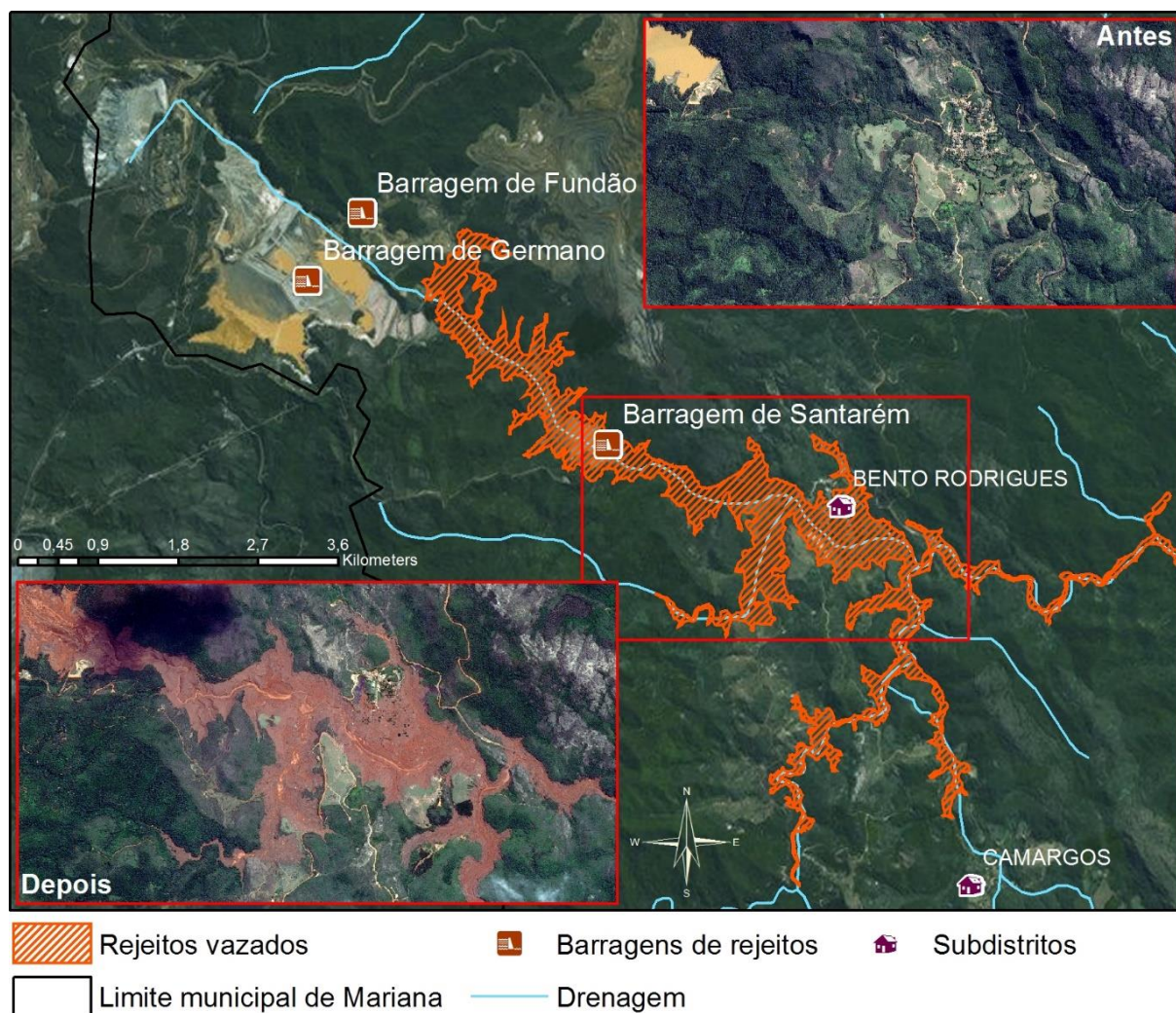
Em síntese, a má distribuição da ocupação no território do município devido a mineração, somado à fatores geológicos de risco, que, em alguns casos se intensificaram com a atividade mineral, formam um cenário de risco para desastres na região (SOBREIRA, 2001).

2.3 O Desastre de Mariana-MG

O rompimento da barragem do Fundão foi considerado o maior desastre ambiental do país, o maior do mundo desse gênero e pode se tornar um grande ícone do megaciclo das *commodities* no Brasil, estabelecendo-se não só como um grande símbolo de seu fim, como também de seus profundos impactos regionais (SESSA; SIMONATO; DOMINGUES, 2016).

O volume do vazamento, que atingiu cerca de 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos liquefeitos, percorreu 663km de distância, escoando pelos rios Guadalaxo do Norte e Carmo antes de atingir o rio Doce e, finalmente, invadir 80km² no mar a partir de sua foz. A avalanche de lama causou a perda de 19 vidas e deixou 1200 desabrigados, destruiu ao menos 1469 hectares de terras, além de uma série de outros danos ambientais e econômicos, com forte repercussão na mídia e sobre órgãos públicos, institutos de pesquisa, universidades e instituições independentes, trinta e cinco municípios ficaram em situação de emergência ou calamidade pública (ANA, 2015; IBAMA, 2015).

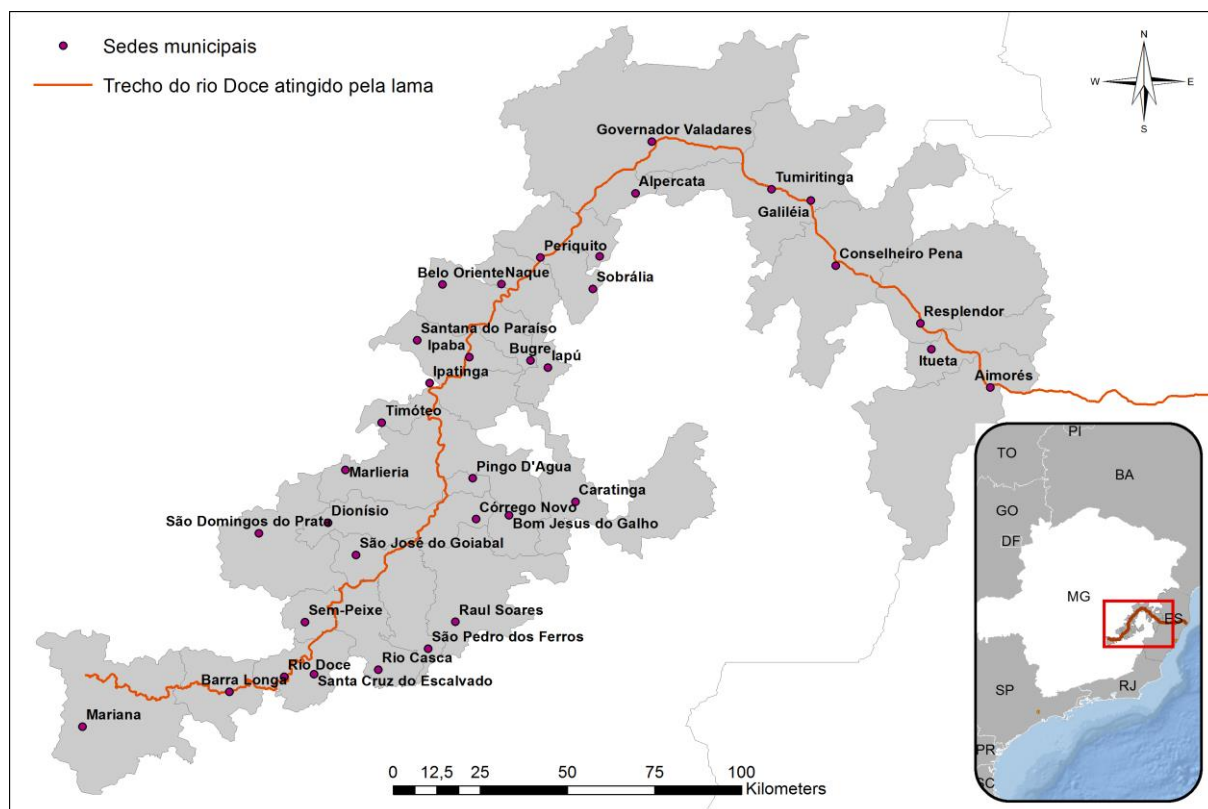
Como pode ser observado na Figura 11, o principal subdistrito atingido foi Bento Rodrigues que fica a 2 km de distância da barragem de Santarém e 6 km da barragem do Fundão, rompida no desastre. Teve seus danos em maior escala quando comparado a outros devido, principalmente, a sua localização aproximada de onde ocorreu o vazamento e também pelo relevo da região.

Figura 11 – Bento Rodrigues antes e depois do desastre.

Fonte: Elaboração própria. Dados do Instituto Prístino e IBAMA.

Bento Rodrigues compõe parte do trajeto da Estrada Real no século XVII e abrigava obras sacras importantes, bem como igrejas centenárias e monumentos de destacada importância cultural. Possui uma população estimada de 612 habitantes, sendo 85% negra e de baixa renda, assim como outros subdistritos atingidos em menor escala como Paracatu de Baixo, a 40 km de distância da barragem rompida e 70,4% da população negra, e Gesteira, a 62 km de distância e 60,3% da população negra (POEMAS, 2015).

De acordo com SEDRU/MG (2016), a lama escoada à jusante do local do rompimento atingiu diretamente 35 municípios mineiros, representados na Figura 12.

Figura 12 – Municípios diretamente atingidos pela lama.

Fonte: Elaboração própria.

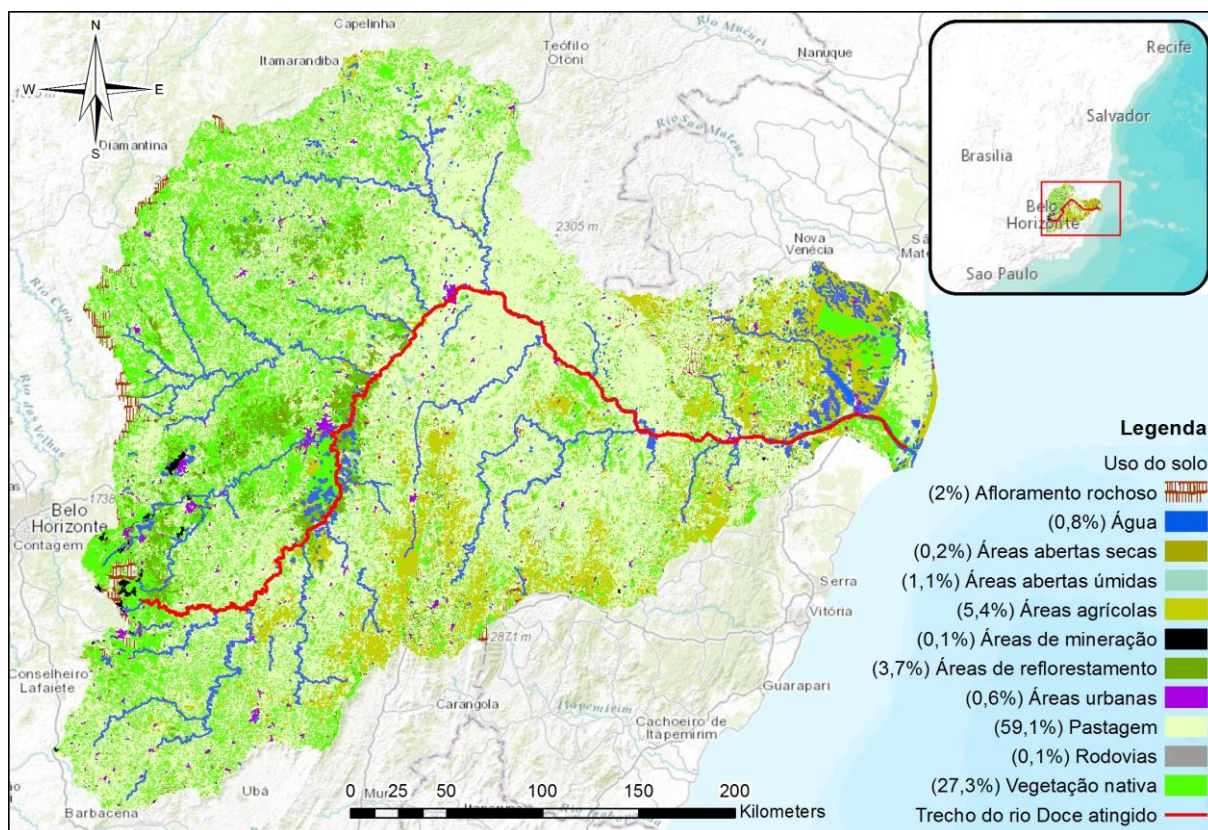
De imediato, a contaminação do rio pelos rejeitos levou a suspensão da captação de água do rio para abastecimento público de, pelo menos, sete cidades mineiras e duas capixabas, corte na geração de energia elétrica, restrição na atividade de pesca devido à alta concentração de uma série de metais pesados na água, além de outros efeitos negativos sobre a indústria e lazer.

Os efeitos do comprometimento na oferta de água de boa qualidade sobre a economia e sobre o dia-a-dia da população das regiões que usufruem dos recursos dessa bacia já vinham sendo discutidos nos últimos anos. O Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH-Doce), elaborado entre 2008 e 2009 e aprovado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce) em 2010, por exemplo, já considerava as metas de saneamento e controle de erosão como questões fundamentais (ANA, 2015).

A Bacia do rio Doce abrange o Estado de Minas Gerais (86%) e Espírito Santo (14%), na região sudeste do país, compreendendo 225 municípios (200 mineiros e 25 capixabas) se constitui na quinta maior bacia do Brasil. Se destaca pela sua disponibilidade hídrica e biodiversidade, com sua área inserida predominantemente no bioma da Mata Atlântica (98%), e parte no Cerrado

(2%), possuindo papel fundamental para os mais diversos tipos de uso do solo na região, como pode ser observado na Figura 13 (ANA, 2015).

Figura 13 – Bacia do rio Doce e o uso do solo de sua região.



Fonte: Elaboração própria. Dados IGEO.

Do ponto de vista dos efeitos recentes da mineração sobre a dinâmica territorial e sobre a disponibilidade de recursos hídricos, o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI-RMBH) também já apontava os impactos negativos do crescimento expressivo da produção de minério para as regiões que abrigavam esses empreendimentos, chamando a atenção para a “Expansão da exploração minerária e dos setores metalúrgico e siderúrgico na RMBH e no seu entorno, fortalecendo uma base industrial tradicional, de pouco dinamismo tecnológico e com impactos ambientais consideráveis.” (PDDI, p. 202, 2011), além de citar os desafios na administração e planejamento dos recursos hídricos relacionados à falta de articulação institucional e a problemas críticos nas bacias hidrográficas, como modificação degradatória do ecossistema aquático, fontes de poluição pontual e difusa, modificação inadequada do uso e ocupação do solo, etc.

Boa parte da calha do rio Doce foi assoreada, o que pode contribuir para uma mudança no padrão de inundações das regiões que compõe o trecho do rio, ou seja, regiões onde não havia

risco de enchentes podem, a partir da nova dinâmica de escoamento, apresentar ocupação pelas águas em períodos de cheias (ANA, 2015; POEMAS, 2015).

Em decorrência do desastre, o Governo do Estado de Minas Gerais, por meio da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), embargou as atividades da Samarco no município de Mariana no dia 9 de novembro de 2015.

A responsabilidade pelo monitoramento e controle de segurança das barragens é da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), que a executa junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), publicando anualmente no seu Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais a classificação das condições de segurança dessas estruturas, gerada em função do porte e estabilidade das barragens avaliadas.

Em 2014, o inventário publicado atribuiu não garantia de estabilidade à 27 barragens, sendo 7 consideradas de alto impacto ambiental e social, das quais não se inclui a barragem do Fundão, considerada com estabilidade garantida (FEAM, 2014). Além disso, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) referente ao licenciamento ambiental na barragem do Fundão atribui o nível mais baixo para a possibilidade de rompimento da barragem Brandt (2005).

Os principais impactos diretos se referem aos danos à infraestrutura urbana (pública e privada) e rural (morte de animais, perda de máquinas e equipamentos agrícolas, perdas de lavouras e paralisação da produção rural). Somam-se a isso os gastos, especialmente públicos, vinculados às ações emergenciais para mitigar o impacto imediato do desastre sobre a população (abastecimento de água, geração de energia elétrica, abrigo e alimentação). Ressalta-se que esses impactos apresentados correspondem, em boa medida, ao trecho de aproximadamente 77 quilômetros em que a onda de lama causou maior efeito destrutivo por extrapolar a calha dos rios.

Em decorrência desses impactos, tem-se a redução de várias atividades econômicas das regiões afetadas nos dois estados (agricultura, pecuária, pesca, turismo, comércio) e, conseqüentemente, do aumento do desemprego e da redução da base tributária, especialmente a advinda da interrupção da produção minerária (considerando os encadeamentos que essa atividade possui e a desaceleração que já vinha ocorrendo do setor em decorrência da queda do preço do minério de ferro no mercado internacional de commodities).

Dentre os diversos efeitos ambientais e sociais negativos já verificados em decorrência do desastre é possível incluir ainda uma série de outros impactos diretos de menor escala, bem como indicar vários outros impactos indiretos em decorrência desses primeiros. No entanto, tendo em vista a metodologia e abordagem a serem adotadas nesse trabalho e se baseando nos principais impactos econômicos diretos apontados em relatórios de órgãos competentes como (IBAMA, 2015) e (ANA, 2015), os que se destacam são:

- a) Destruição de estruturas públicas e privadas (edificações, pontes, ruas etc.);
- b) Destruição de áreas agrícolas e pastos;
- c) Corte da arrecadação proveniente das atividades interrompidas;
- d) Desalojamento de populações;
- e) Corte da geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas;
- f) Interrupção do turismo; e
- g) Interrupção do abastecimento de água;

Diante das dificuldades que se apresentam na projeção dos efeitos decorrentes de danos e perdas tão profundas como os gerados por este desastre, o capítulo seguinte expõe um resumo das principais discussões a respeito dos atributos e desafios das metodologias mais aplicadas para projeção dos impactos econômicos diretos e indiretos desses eventos.

3 DESASTRES E A MODELAGEM ECONÔMICA

A análise dos impactos de desastres é considerada como uma *Inexact Science* (HEWINGS; MAHIDHARA, 1993), pois independentemente do tipo de desastre e da região atingida, a única certeza é que um cenário exatamente igual nunca ocorrerá novamente. Diante disso, o que se deve ter em vista são os principais atributos e limitações da metodologia adotada, de modo a tirar proveito da melhor forma possível de suas projeções (OKUYAMA, 2011).

As perdas totais causadas por desastres dependem não só da escala do evento em si ou de características ligadas a sua magnitude física, mas também da vulnerabilidade da região atingida. A configuração econômica regional na qual o evento se concretiza, bem como o arranjo institucional favorável ou não à mitigação dos danos, tem papel fundamental na determinação da dimensão das perdas.

Podem ser tomados como exemplos os recentes terremotos ocorridos em 2010 no Haiti e no Chile, ambos em regiões com alta densidade populacional. O terremoto que atingiu o Haiti em janeiro de 2010 chegou a 7,0 pontos na escala Richter, causou entre 200.000 e 250.000 mortes e perdas econômicas estimadas em 100% do PIB⁹. Em contraste, o terremoto ocorrido no Chile em fevereiro do mesmo ano atingiu 8,8 pontos na escala Richter, porém, causou menos de 1000 mortes e menor perda econômica, fato que pode ser atribuído em boa parte ao maior planejamento de políticas públicas na tratativa *ex-ante* e *ex-post* desse tipo de desastre por parte das autoridades chilenas, além da maior capacidade financeira na resposta ao evento (BÁRCENA *et al.*, 2010).

Na análise dos efeitos de desastres, a literatura tem considerado como impacto direto aquele sobre os estoques de capital físico e humano, ou seja, perda de máquinas e equipamentos, estruturas e vidas. Impactos indiretos, por sua vez, considerados desdobramentos do primeiro, incluem as interrupções de atividades econômicas como produção e/ou consumo, redução no fator trabalho devido à saída de mão de obra da região atingida, entre outros (OKUYAMA, 2011). Nesse caso, considerando um cenário hipotético, no qual uma refinaria de petróleo sofre danos decorrentes de um desastre e tem seu funcionamento interrompido, as perdas físicas de máquinas e equipamentos e a perda de vidas são consideradas impactos diretos. O processo em

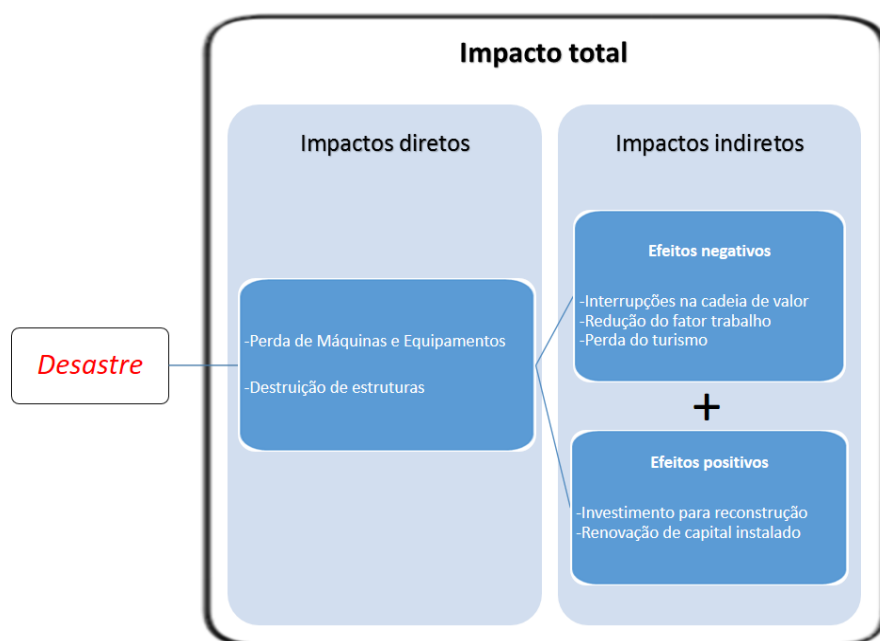
⁹ Foi estimado estatisticamente um piso de US\$ 8,1 bilhões em danos diretos que representavam 100% do PIB do Haiti, porém, o teto dos danos totais foi estimado em US\$ 13,9 bilhões. Mais detalhes em Cavallo, Powell e Becerra (2010).

cadeia que se segue das perdas produtivas dessa interrupção, comprometendo o recebimento de matéria-prima por parte de empresas que têm o petróleo refinado como insumo no seu processo produtivo e assim por diante, é considerado um impacto indireto.

Apesar do maior enfoque sobre os efeitos negativos, desastres também podem gerar efeitos econômicos positivos na sua fase de reconstrução. Os impactos diretos são tidos como efeitos negativos em sua totalidade. Entretanto, os impactos indiretos reúnem as consequências de longo prazo do primeiro e os efeitos dos investimentos em reconstrução, e é através desse fluxo de financiamento que é gerado o estímulo na produção e na renovação de capital, para citar os principais efeitos positivos (HALLEGATTE; DUMAS, 2009).

A Figura 14 ilustra de maneira resumida a sistematização na distribuição dos efeitos econômicos de um desastre, bem como o que é considerado impacto direto, indireto e total.

Figura 14 – Estrutura simplificada dos impactos econômicos



Fonte: Elaboração própria.

Embora ocorra maior sensibilização por parte da população para os efeitos diretos dos desastres, justificado em boa parte pelo apelo visual dos danos, do ponto de vista econômico os impactos indiretos podem ser os mais significativos. Um caso notável foi o 11 de Setembro, um exemplo de desastre induzido pelo ser humano no qual, apesar das terríveis perdas de vidas, as perdas econômicas diretas atribuídas pela queda das duas torres do World Trade Center se tornaram

ínfimas quando comparadas aos danos indiretos incorridos no longo prazo (CHANG; MILES, 2004).

3.1 Conceitos

O termo *disaster* pode agrupar diversos eventos extremos, desde aqueles não induzidos por humanos, como terremotos e erupções vulcânicas, até os induzidos, como ataques terroristas e acidentes industriais. A definição formal pode variar de acordo com a abordagem: para sociólogos, desastre é um evento que excede a capacidade de comunidades exercerem suas funções, enquanto para geógrafos *natural hazards* são eventos naturais que interferem nas escolhas e nos ajustes das pessoas. Outra distinção conhecida é a sugerida por Nations (2010), em que o termo *natural hazard* é atribuído a eventos naturais extremos e *unnatural disaster* aos danos e mortes resultantes de ações e/ou omissões humanas.

Para economistas regionais, o termo "desastre" costuma ser atribuído a eventos extremos, induzidos ou não por humanos, que geram efeitos significativos e mensuráveis no sistema econômico. Como definido por Okuyama e Chang (2004, p. 2) “(...) hazard is the occurrence of the physical event per se, such as an earthquake, and disaster is its consequence”.

O elo em comum das mais diversas interpretações, que será o adotado pelo presente trabalho, pode ser caracterizado da seguinte forma: eventos extremos são fenômenos singulares de grande escala e desastres, induzidos ou não por humanos, são eventos extremos com consequências severas sobre a vida das pessoas.

Do ponto de vista econômico, algumas consequências de desastres se destacam como: perda substancial de capital instalado; interrupção brusca da cadeia produtiva; efeitos indiretos de curto e longo prazo. Com relação ao último, a grande dificuldade de avaliação repousa na escassez de estudos apropriados, devido à natureza exclusiva de cada desastre e a ampla correlação com características individuais da região atingida, como as estruturas setoriais e regionais.

Essas consequências particulares dos eventos extremos, às quais se pode incluir o rompimento de uma série de conexões setoriais e regionais, fortes desdobramentos migratórios, bem como a imprevisível reação das famílias diante da inesperada perda de seus bens, traz à tona discussões sobre a capacidade de métodos e modelos genéricos estimarem tais

comportamentos, fazendo necessário o desenvolvimento de modelos próprios para tratar desses fenômenos (WEST; LENZE, 1994).

A modelagem econômica tem complicações adicionais relacionadas à falta de dados de eventos similares no passado, à incapacidade por parte de alguns métodos em separar impactos diretos e indiretos, à difícil construção de grupos de controle para análises realizadas pouco tempo após os desastres, às alterações no comportamento dos agentes devido à situação extrema a qual os agentes se deparam, entre outras. Essas dificuldades levantaram extensa discussão com relação à capacidade e à utilidade de se projetar impactos indiretos (ALBALA-BERTRAND, 1993). Entretanto, a projeção de impactos indiretos tem contribuído significativamente para fornecer *insights* sobre a vulnerabilidade da região estudada, indicar setores-chave para a recuperação econômica, sugerir alocações setoriais e regionais do financiamento para recuperação, além de fornecer dados para a formulação de políticas de mitigação dos danos (ROSE, 2004).

3.2 Metodologias Adotadas

Na tentativa de projetar os impactos indiretos de desastres naturais, uma das abordagens mais comuns e direta consiste em solicitar que as empresas atingidas estimem as perdas indiretas que foram acometidas em razão do desastre (abordagem retrospectiva) e, baseado nesses dados, projetar as perdas esperadas no horizonte de tempo estipulado (abordagem prospectiva). Porém, esse enfoque tem sua capacidade de projeção facilmente questionada, pois, diferentemente dos danos diretos divulgados, os danos indiretos alegados por empresas apresentam uma dificuldade maior de confirmação de veracidade, além de ter como base para projeção estimativas individuais e com claras tendências a superestimar as perdas. Sobre a alternativa de uso de abordagens mais diretas ao invés da abstração alegada na modelagem de efeitos indiretos, Rose (2004) aponta dois problemas principais:

(...). First, higher-order effects are so extensive and so often many steps removed from direct losses that it would be impossible for respondents to answer this question accurately. The situation is difficult enough for the case of input or output reductions and virtually impossible for responses to price changes. Second, the question is useful in hindsight for a one-shot assessment but not as useful as a model for analysis, prediction, and policy (ROSE, 2004, p. 23).

Uma das limitações nos trabalhos que visam projeções de longo prazo através de métodos descritivos é a incapacidade de distinguir efeitos que ocorreriam independentemente do evento estudado. Através de uma cuidadosa investigação descritiva do furacão Katrina, Vigdor (2008) apresenta uma forte tendência à redução populacional da região. Contudo, como levantado pelo

próprio autor, o trabalho é incapaz de diferenciar nos resultados a tendência de queda gerada pelo desastre daquela tendência que já vinha sendo observada pré-desastre.

Os impactos de desastres são extremamente complexos e muitas técnicas de modelagem não são capazes de lidar com tamanha mudança num intervalo tão pequeno de tempo, a qual, devido à própria natureza extrema do evento, não possui precedentes. A característica única desses eventos combinada às mudanças bruscas deixam em desvantagem técnicas com grande dependência de dados passados para as projeções e/ou técnicas pouco flexíveis com restrita capacidade de modelar variações excepcionais (OKUYAMA; HEWINGS; SONIS, 2004). Como discutido em National Research Council (1999):

The core of the problem with statistically based regional models is that the historical relationships embodied in these models are likely to be disrupted in a natural disaster. Temporary or emergency measures taken after disasters are not characteristic of usual socioeconomic conditions, and are therefore not reflected in the model. Economic resiliency can be expected from changes in historical regional production functions, changes in historical purchase and sale patterns, temporary reassignment of labor from outside the area, increased overtime of labor in shortage, and temporary housing arrangements (such as doubling up with relatives or residing in a hotel) (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999, p. 40).

Segundo Dixon e Parmenter (1996) , foi nos sucessivos choques da década de 70 (aumento brusco do preço do petróleo, elevação expressiva do salário real e mudanças do sistema monetário internacional) que tanto as dificuldades de modelos econométricos em projetar choques de natureza inédita tiveram mais destaque, quanto a capacidade de modelos de EGC em compreender esses choques ganharam maior relevância. As razões principais para essas diferentes características são: a atenção fundamental a séries temporais por parte dos modelos econométricos, que não fornecem dados de situações análogas para a construção adequada do modelo no caso de choques inéditos; e a especificação fortemente baseada na teoria econômica por parte dos modelos de EGC, que permite maior independência com relação à existência de experiência histórica equivalente.

Apesar da disponibilidade de aplicação de técnicas como a *intervention analysis*¹⁰, no que se refere à análise contra factual de longo prazo, modelos econométricos apresentam limitações significativas na ausência de grupos de controle apropriados, como é o caso de estimações realizadas imediatamente após desastres. Como colocado em Cavallo e Noy (2010):

¹⁰ *Intervention analysis* trata-se de uma técnica econométrica que busca mensurar o efeito de mudanças bruscas em alguma atividade. Para isso, determina se a inclusão de uma variável *dummy* fornece informações que ajudam a explicar a variável dependente, ou seja, testa uma suposta mudança na média da série de tempo sob a hipótese nula de que uma intervenção (neste caso, desastre) não causa variação na variável dependente (PIB, preços, emprego, etc.). Mais detalhes em Hewings, Changnon e Dridi (2000).

When compared to the short-run research, the literature on the long-run effects of natural disasters is scant and its results inconclusive. Part of the reason for the scarcity of research in this area is the difficulty of constructing appropriate counterfactuals: what would have happened to the path of GDP growth in the absence of natural disasters? This is still, in our view, a very promising area of research (CAVALLO; NOY, 2010, p. 18).

Todavia, em avaliações com um intervalo temporal extenso o suficiente para disponibilizar dados de controle razoáveis, o método tem sido eficaz. Coffman e Noy (2012) avaliam através de um modelo econométrico os impactos de longo prazo do furacão que atingiu o Havaí em 1992. Nesse caso, com o horizonte de tempo extenso o bastante para gerar um grupo de controle adequado, foi possível indicar que, apesar do expressivo volume de transferências recebidas, foi necessário um período de aproximadamente sete anos para a retomada da tendência de renda *per capita* pré-desastre e uma perda permanente de cerca de 12% da população em comparação com o cenário sem desastre.

Como mencionado anteriormente, um dos grandes diferenciais entre os modelos baseados em matriz de insumo-produto, como modelos de EGC ou os modelos de insumo-produto tradicionais, está na flexibilidade que apresentam. Essa característica se torna mais relevante quando se trata da avaliação de impactos de desastres, levando inclusive alguns autores a diferenciar por denominação os *indirect impacts*, capturados por modelos de insumo-produto tradicionais, do que denominam de *higher-order effects*, projetados por modelos de EGC (ROSE, 2004). Em valores, os impactos indiretos capturados por modelos de insumo-produto tradicionais variam entre 2 ou 3 vezes o valor dos impactos diretos (ROSE, 2004), enquanto para modelos de EGC tendem a ser próximos de 1,5 (ROSE; GUHA, 2004). Essa diferença evidencia os mecanismos de ajustamento via mercado ou preços contido em modelos de EGC e outros relacionados à resiliência econômica regional.

Qual metodologia é mais apropriada para a análise dos impactos de desastres? A resposta para essa questão depende da pergunta que se quer responder, da disponibilidade de dados, do horizonte de projeção, etc. O que o pesquisador deve ter em mente são as vantagens e desvantagens de cada método e adotá-los de acordo com seus atributos. Ter conhecimento, por exemplo, que para análises regionais e setoriais modelos de insumo-produto e de EGC são amplamente utilizados, sendo que a rigidez dos primeiros tende a superestimar os impactos e serve como boa projeção do teto das perdas e a flexibilidade dos segundos tende a subestimar e oferecer um piso (OKUYAMA, 2011).

Na **Tabela 1** há um resumo dos principais traços de métodos largamente utilizados para projeção econômica.

Tabela 1 – Atributos predominantes dos principais métodos de projeção¹¹.

Modelo	Pontos fortes	Pontos fracos
<i>Econométrico</i>	Estatisticamente rigoroso	Ampla necessidade de dados passados (séries de tempo e <i>cross section</i>) Incapaz de diferenciar impactos diretos e indiretos
	Estimativa estocástica	
	Capacidade de previsão ao longo do tempo	
<i>Insumo - Produto</i>	Estrutura simples	Estrutura linear
	Conexões interindústria detalhadas	Coeficientes rígidos ¹²
	Técnicas analíticas amplamente disponíveis	Sem restrição de capacidade
	Fácil modificação e integração com outros modelos	Sem resposta a mudança de preços Tendência a superestimar os impactos
<i>Matriz de Contabilidade Social</i>	Maior detalhamento na interdependência entre as atividades e instituições	Estrutura linear Coeficientes rígidos Sem restrição de capacidade
	Técnicas analíticas amplamente disponíveis	Sem resposta a mudança de preços
	Amplamente usado para estudos de desenvolvimento	Necessidade de dados Tendência a subestimar os impactos
<i>Equilíbrio Geral Computável</i>	Estrutura não-linear	Pode ser excessivamente flexível para lidar com mudanças
	Responde a mudanças de preços	Necessidade de dados e calibragem
	Compreende substituições	Comportamento otimizador sobre o desastre
	Compreende restrições de oferta	Tendência a subestimar os impactos

Fonte: Adaptado de Okuyama (2011) e Koks *et al.* (2016).

¹¹ Além dos métodos apontados, pode-se incluir o *Sequential Interindustry Model* (SIM), originalmente desenvolvido devido à necessidade de avaliar aspectos interindustriais em um cenário econômico dinâmico, no qual alguns efeitos são transitórios, como no caso de projetos de (re)construção de grande escala, em que o estímulo sobre a produção e emprego são temporários. Ou seja, superando sua estrutura estática, torna possível avaliar impactos defasados, capacidade muito útil para análise dos impactos da fase de reconstrução. Mais detalhes em Okuyama, Hewings e Sonis (2004).

¹² Na tentativa de superar a estrutura linear e rígida dos modelos de insumo-produto, Donaghy, Balta-Ozkan e Hewings (2007) desenvolveram um modelo econométrico regional de insumo-produto de formulação temporal contínua que compreende o processo não-linear da fase de reconstrução de desastres.

3.3 Estágios dos Desastres e Perfis dos Efeitos

Eventos extremos como desastres naturais podem ter impacto tanto sobre variáveis endógenas e exógenas quanto também sobre as conexões entre elas. Pode-se citar como exemplo o decorrente foco dos esforços da região na recomposição econômica, em especial na reconstrução, que traz implicações relevantes para as relações anteriormente estabelecidas entre a demanda e oferta de trabalho, entre o investimento e o estoque de capital, sem contar a mudança nas reações a choques. Alterações em variáveis exógenas, como o abrupto aumento das transferências do governo para reconstrução, e endógenas, como realocações do fator trabalho, além da mudança na resposta desse último diante do direcionamento específico dessas transferências para o setor construção civil, podem ilustrar uma das circunstâncias atípicas a serem levadas em conta nesse tipo de análise (WEST; LENZE, 1994).

Uma das peças-chave de modelos que tratam de desastres com grandes perdas de capital físico é o módulo que projeta o comportamento da economia regional no período de reconstrução, o qual é função das transferências do governo, típicas desse tipo de situação, além dos valores recebidos por seguros e do próprio esforço interno por parte das famílias em busca de financiamento para recuperação de suas perdas. Esse módulo é responsável por ajustar simultaneamente os investimentos recebidos para a construção civil com a demanda e a capacidade do setor gerada devido a esse fluxo. A distinção entre as fontes dos recursos para reconstrução é fundamental, pois, caso seja proveniente das famílias, a demanda interna deve ser ajustada para baixo, de modo que todo o investimento em reconstrução autofinanciado é assumido como dívida e deduzido da renda futura, ou seja, toma-se como hipótese válida a teoria do ciclo de vida (OKUYAMA; CHANG, 2004).

A fase de reconstrução pode ser dividida em algumas etapas como: demolição e limpeza dos locais atingidos; construção de fundações; construção de estruturas; instalação de equipamentos pesados para edifícios; pavimentação; instalação de redes elétricas e de esgoto; instalação de equipamentos internos; etc. À vista disso, Rose *et al.* (1997) apontam que o melhor aproveitamento dos efeitos positivos dessa fase é obtido quando: primeiro, os investimentos são planejados de forma a acompanhar cada uma das etapas da construção civil, não permitindo a falta de insumos intermediários que vão desde máquinas e equipamentos até mão de obra qualificada; segundo, em posse de dados obtidos por estudos apropriados que indiquem a configuração das relações intersetoriais da região, identificar quais são os setores-chave para estímulo da economia na fase de reconstrução e distribuir os investimentos levando em

consideração o potencial multiplicador desse financiamento em cada setor. Essas diretrizes podem ser usadas para encontrar a alocação ótima de recursos a ser implantada como política de recuperação.

A conduta do governo na recomposição econômica, que toma papel principalmente sob a forma de transferências, é importante até mesmo para evitar um ciclo vicioso de perdas ou *systemic losses*, consequente à insuficiência de financiamento interno para retomada da produção, que depende principalmente da recuperação das condições prévias de capital e trabalho (COCHRANE, 2004b).

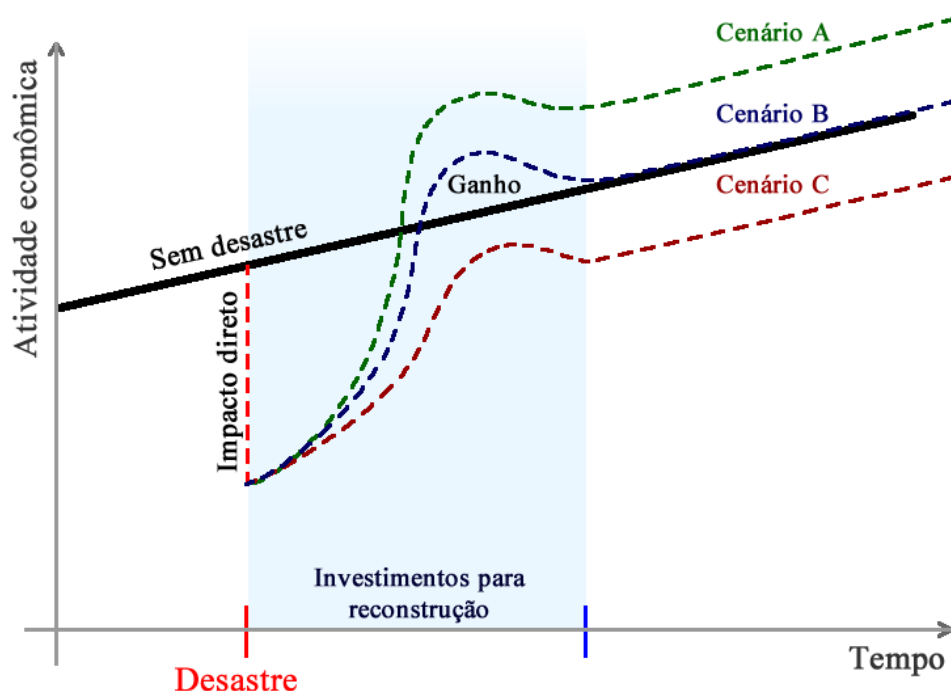
Os efeitos positivos não são gerados apenas por meio do financiamento para reconstrução, através da lógica keynesiana de estímulo da produção via investimentos (nesse caso, principalmente em construção civil), mas também por meio do aumento da produtividade consequente à renovação do capital perdido no desastre (HALLEGATTE; DUMAS, 2009). Levando em conta a capacidade do processo de renovação de capital em determinar a produtividade de longo prazo da região atingida, é desejável o planejamento de políticas públicas que acompanhem esse processo com o objetivo de auxiliar os agentes a aprimorar a qualidade do capital reposto.

Nesse sentido, Hallegatte e Dumas (2009) sugerem a observação de dois pontos principais na elaboração de políticas com esse fim. Primeiro, estimular o planejamento por parte das empresas para identificar tendências de longo prazo, aproveitando a oportunidade para se atualizar no mercado em que opera. E, segundo, implementar políticas de financiamento de recomposição de capital por um período suficientemente extenso, de modo que seja possível por parte dos agentes realizar o planejamento e pesquisa das melhores opções para substituição do capital perdido.

Como apresentado por Chang e Miles (2004), as políticas de reconstrução podem conduzir a economia local a três cenários distintos ilustrados na Figura 15. No cenário C, o processo de reconstrução não foi capaz de levar a economia local ao patamar anterior ao desastre, seja devido à deficiente alocação dos investimentos, seja devido à incapacidade de reverter a tendência de perdas sistêmicas, levando a um nível de equilíbrio inferior ao verificado no período pré-desastre. No cenário B, o pacote de reconstrução foi capaz de proporcionar um pico, acima do verificado pré-desastre, no período de realização desses investimentos, com retorno ao mesmo nível de equilíbrio pré-desastre após o término da fase de reconstrução. No

cenário A, os investimentos foram capazes não só de proporcionar um ganho temporário em relação ao período pré-desastre como também de levar a economia local a um novo equilíbrio de longo prazo, superior àquele verificado antes do desastre.

Figura 15 – Tendências de recuperação.



Fonte: Adaptado de Chang e Miles (2004).

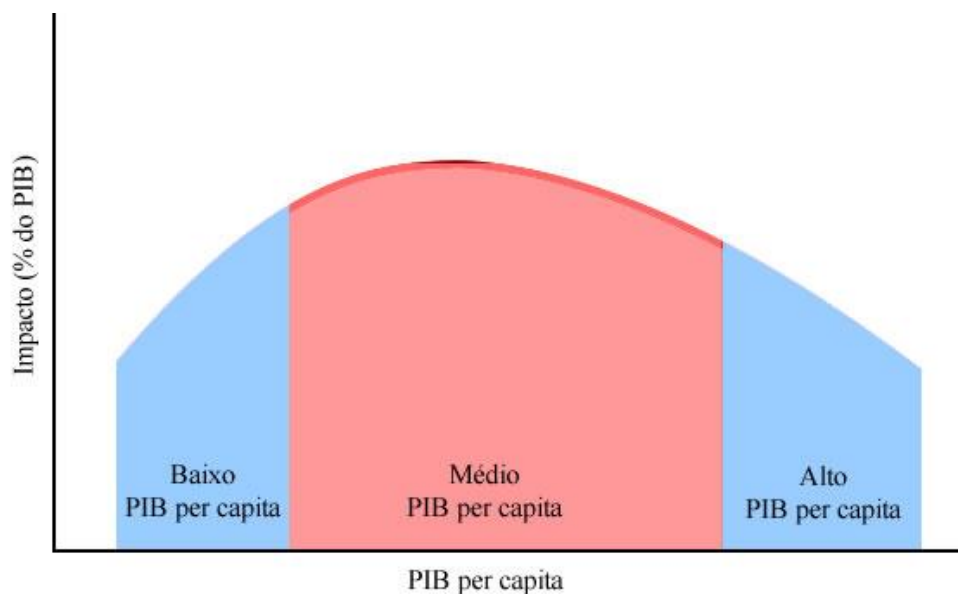
O planejamento de políticas de reconstrução, envolvendo inevitavelmente a alocação espacial dos investimentos dessa fase, passa também pelo conceito de sustentabilidade que, embora bastante difundido em seu sentido mais amplo conjugando crescimento, justiça social e proteção ao meio ambiente de modo a não minar a oportunidade de desenvolvimento das gerações futuras, pode ter também seu sentido expandido para a discussão de independência econômica. Sustentabilidade é abordada aqui basicamente como a precaução de se realizar o processo de recomposição econômica de maneira que minimize a chance de futura dependência, por parte das regiões atingidas, de ajuda externa para manutenção de suas atividades (ROSE, 2004).

De uma maneira indireta, o emprego do conceito de sustentabilidade reforça a importância do fator tempo na elaboração das políticas de recuperação, corroborando a análise de efeitos de longo prazo que envolve o uso de técnicas capazes não só de levar em conta todas as interações

inerentes ao processo de reconstrução, como também indicar através de dados as alocações de recursos mais adequadas ao futuro desenvolvimento independente da região.

Como é possível observar até aqui, os efeitos de desastres variam conforme o grau de vulnerabilidade local, de modo que desastres não apresentam efeitos uniformes entre regiões. Quando se trata da escala individual dos agentes, os determinantes dessa heterogeneidade vão além dos aspectos econômicos. Como analisado por Neumayer e Plumper (2007), mulheres são muito mais vulneráveis aos efeitos negativos de desastres do que homens, em termos de queda da expectativa de vida, principalmente em desastres considerados de alto impacto. Similarmente, negros e hispânicos apresentam maior taxa de exposição a ambientes de trabalho com alta incidência de lesões fatais e não-fatais (LEETH; RUSER, 2003). Pessoas de baixa renda também estão mais expostas aos danos, pois, entre vários fatores que podem ser citados, a maior propensão a residir em áreas de risco e o fato de comporem predominantemente a força de trabalho informal rural fazem com que a baixa disponibilidade de recursos, aliado à falta de acesso a direitos trabalhistas, as tornem extremamente vulneráveis, principalmente aquelas à beira da indigência (FREEMAN; KEEN; MANI, 2003).

Assume-se que os efeitos de curto prazo são os impactos ocorridos no intervalo temporal em que os investimentos para reconstrução são realizados e que os efeitos de longo prazo se manifestam no período em que se observam os impactos gerados pelo novo cenário estrutural resultante da reconstrução. No caso dos impactos de curto prazo, observa-se na literatura uma correlação entre o PIB *per capita* dos países atingidos e o impacto (medido em termos de percentual do PIB) em forma de uma curva em “U” invertida, como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Relação do nível de renda nacional com os impactos gerados por desastres.

Fonte: Adaptado de Okuyama (2012).

O menor impacto sofrido por países de baixo PIB *per capita* é explicado pela estrutura econômica pouco diversificada, predominantemente agrícola, que dificulta a transmissão das perdas para as outras regiões não afetadas diretamente. Por outro lado, países com PIB *per capita* elevado tendem a apresentar impactos inferiores, devido em boa parte à sólida formação constitucional e financeira que possui maior velocidade de resposta e capacidade de assistência. Finalmente, são os países de PIB *per capita* médio que experimentam os maiores impactos no curto prazo. A típica indústria emergente aliada a intuições em fase de formação e a certa fragilidade financeira tornam o ambiente propício para grandes perdas de capital, com facilidade de transmissão setorial e regional dos efeitos negativos e com insuficiente capacidade de resposta e de assistência (OKUYAMA, 2011).

A incidência de mortes devido a desastres também apresenta forte correlação com o grau de desenvolvimento. Dados levantados sobre o número de vidas perdidas durante toda a década de 1990 indicaram que países com baixo PIB *per capita* (<\$2.000) apresentaram 9,4 mortes por milhão de habitante ao ano, enquanto países de alto PIB *per capita* (>\$14.000) apresentaram apenas 1,8 (CAVALLO; NOY, 2010). Essa forte disparidade é atribuída à maior capacidade por parte dos países mais desenvolvidos de promoverem políticas eficazes de prevenção de danos, além da execução mais ampla de planejamento no uso dos territórios com alto grau de risco (FREEMAN; KEEN; MANI, 2003; JARAMILLO, 2009).

O potencial de disseminação dos danos diretos em forma de impactos indiretos no longo prazo depende de uma série de características regionais e setoriais, mas, como apontado por Cochrane (2004a), alguns elementos se destacam:

- a) Perfil da fronteira econômica (cidade, região metropolitana, estado, país);
- b) Nível de integração econômica;
- c) Conjuntura econômica pré-desastre (envolvendo inclusive a capacidade de realocação de capital e substituição); e
- d) Volume e diretrizes para o uso de transferências para reconstrução.

Na tentativa de encontrar um padrão de dinâmica fiscal gerada por um desastre considerado como de “média” intensidade, Noy e Nualsri (2011) fizeram uso da metodologia VAR-painel, chegando à conclusão de que os impactos fiscais de desastres dependem da dinâmica macroeconômica específica de cada país, bem como das políticas de mitigação dos danos e de recuperação implementadas pós-desastre.

Na mesma linha, Cochrane, Chang e Rose (1997) testaram a hipótese de haver um conjunto de parâmetros fixos que fazem a conexão entre os impactos diretos e os indiretos através de um experimento de Monte Carlo, rodando o modelo HAZUS¹³ seguidas vezes com variações nos padrões dos choques de entrada para as simulações. Dado o grau de singularidade desses pontos, de acordo com a natureza do evento e da região, não foi possível indicar uma relação padrão e independente das características do desastre entre os efeitos diretos e indiretos. Entretanto, foram apontadas algumas tendências com relação aos efeitos indiretos:

- a) Se todos os setores da economia são afetados de maneira uniforme, então a economia sofre impactos proporcionais e os efeitos diretos podem ser considerados indiretos;
- b) Dependendo do grau de importância de uma pequena indústria, danos pequenos em valores totais nesse setor podem gerar perdas grandes para economia como um todo;

¹³ O modelo HAZUS (Hazards U.S.) foi desenvolvido num esforço da Agência Federal de Gerenciamento de Emergências dos Estados Unidos para estimar os impactos diretos e indiretos de desastres, sendo considerado pela literatura especializada como um modelo de fronteira para projeções desse segmento até o presente momento. Mais detalhes em Fema (2003, 2013).

- c) Podem ser negativos, representando impactos econômicos regionais positivos. É o caso particular de uma economia com grande excesso de capacidade e que usufrui de um processo de reconstrução financiado externamente; e
- d) Podem variar de positivos para negativos no decorrer do tempo em caso de financiamento interno da reconstrução. Isso se dá devido ao efeito oposto sobre a demanda interna entre o potencial inicialmente positivo dos investimentos para reconstrução e o posterior potencial negativo da consequente dívida das famílias, que tende a ser menos intenso embora persista por mais tempo. O efeito líquido depende dos respectivos multiplicadores, que ponderam a magnitude dos efeitos de ambos sobre a demanda.

Políticas *ex-ante* para mitigação dos danos de eventos extremos se caracteriza por seu alto custo de implementação, tornando necessárias não apenas uma boa noção sobre as probabilidades de ocorrência de desastres em regiões de risco, mas também a cuidadosa projeção de seus danos potenciais (SKOUFIAS, 2003). No caso de projeção dos efeitos de desastres naturais *ex-ante* ou falta de dados sobre os impactos diretos *ex-post*, torna-se necessário tomar como fase inicial a simulação dos efeitos diretos do evento, com o propósito de estimar os dados que servirão de insumo para projeção dos impactos indiretos. Boa parte da literatura especializada no tema se debruça sobre as técnicas para desenvolvimento dos módulos para a simulação dos impactos diretos. Apesar da atrativa discussão decorrente, o presente trabalho tem como foco o arranjo dos dados já disponíveis sobre os impactos diretos para prosseguir com as projeções dos impactos totais. Sendo assim, as discussões a seguir têm como foco algumas particularidades da modelagem para projeção dos impactos indiretos.

3.4 Principais Particularidades na Modelagem de Eventos Extremos

Um ponto bastante sensível na modelagem dos efeitos indiretos de desastres diz respeito às mudanças no comportamento dos agentes no pós-desastre. No que se refere à demanda, podem ocorrer alterações significativas nas preferências dos agentes em comparação com aquela identificada pré-desastre, devido, por exemplo, ao receio de reincidência do evento que pode implicar a redução do uso de serviços de regiões atingidas no passado, fenômeno que a literatura internacional denomina como “*fear factor*”. Embora existam alguns trabalhos discutindo esse fenômeno para desastres naturais como em Burns e Slovic (2007), esse tipo de fenômeno é

discutido com maior frequência em trabalhos que avaliam impactos indiretos de desastres por ataques terroristas, nos quais se verifica redução significativa na demanda do serviço atingido (metrô, transporte aéreo, etc.). É o caso dos trabalhos de Gordon *et al.* (2007) e Rose *et al.* (2009), que estudam o impacto transmitido pelo desastre de 11 de Setembro sobre a demanda de longo prazo dos setores de aviação e de turismo, projetando um piso de U\$100 bilhões em impactos indiretos, representando em torno de 80% do que foi estimado como impactos diretos do desastre.

Em outras palavras, desastres que, do ponto de vista dos agentes, tem potencial de comprometer a qualidade e a segurança dos bens e serviços produzidos futuramente na região atingida podem implicar rejeição por parte dos consumidores. Bostedt (2001) encontrou uma queda de 54% no preço da carne sueca no ano do incidente de Chernobyl, apesar das garantias de verificação de contaminação da carne por parte do governo. Numa análise mais geral, Hayes *et al.* (1995) identificaram que os consumidores estão dispostos a pagar de 15 a 30% de acréscimo no preço dos alimentos para reduzir a chance de contaminação para 1 em 100 milhões.

Pelo lado da oferta, quando se trata de desastres reincidentes, porém sem possibilidade de demarcação de áreas específicas de se concretizarem as perdas, como é o caso de regiões frequentemente atingidas por terremotos ou furacões, a prevenção de perdas de vidas e de capital via alocação intra-regional não é realizável. O risco assumido pelos agentes é repassado para o preço dos aluguéis, salários e lucro, implicando geralmente aumento do custo dos produtos ofertados pela região (GIESECKE *et al.*, 2012).

No caso dos salários, Leeth e Ruser (2003) estudaram os setores da economia dos Estados Unidos e encontraram valores que variam de 0,5 a 1,4% de acréscimo nos salários em forma de compensação ao risco de reincidência de desastres fatais e não-fatais. Com relação aos impactos sobre o preço dos imóveis e aluguéis, estudos como o de Davis (2004), que identificou uma queda de 15% no preço de venda de imóveis no raio próximo ao foco de um desastre de pequena escala, Ihlanfeldt e Taylor (2004) e Greenstone *et al.* (2005), também encontraram o forte impacto de desastres sobre os preços do mercado imobiliário.

Entretanto, no caso de desastres não esperados, a região tende a sofrer todo o potencial nocivo, colocando, assim, o fator previsibilidade como importante elemento na capacidade da região absorver os efeitos negativos do evento, reagir a interrupções na cadeia produtiva e realocar fatores. Os desdobramentos econômicos da expectativa de ocorrência de desastre por parte dos

agentes são analisados também por Tatano, Yamaguchi e Okada (2004) através de um modelo micro fundamentado que leva em consideração o cenário com informação perfeita e imperfeita, além dos efeitos sobre o preço da terra, chegando à principal conclusão de que, em caso de informação imperfeita por parte dos agentes sobre o risco de desastres, políticas de regulação do uso da terra devem ser implementadas.

Tendo em consideração o fator trabalho, a complicação reside na resposta esperada diante da perda parcial ou até total de bens materiais por parte das vítimas de regiões afetadas por eventos extremos, situação na qual a identidade de local ou “*sense of place*” tende a tornar decisões aparentemente evidentes não tão certas (ALVES, 2014). As experiências empíricas mostram que, diante da oportunidade de mudança de região gerada pelo recebimento de transferências do governo, seguro ou outras fontes, fatores não-econômicos relativos ao grau de envolvimento dessas famílias com a região emergem como elementos substanciais na tomada de decisão (MISHRA; MAZUMDAR; SUAR, 2010).

A adoção da hipótese de um comportamento otimizador tradicional por parte dos agentes atingidos por desastres também pode ser questionada. Como indicado por Rose e Liao (2005), a situação caótica na qual os agentes estão sujeitos implica alterações relevantes no comportamento habitual, levando a mudanças inesperadas na curva de oferta e de demanda em situações extremas, recaindo sobre o conceito de *economic resilience* “(...) which refers to the inherent ability and adaptive response that enables firms and regions to avoid maximum potential losses” (ROSE; LIAO, p. 76, 2005).

Nesse sentido, avanços tem sido feitos na direção de incorporar comportamentos alternativos que incluam reações compatíveis com o contexto. No próprio trabalho de Rose e Liao (2005) foi desenvolvido um modelo de EGC que, através da mudança de parâmetros, tenta endogeneizar a questão da resiliência. Nessa mesma linha, Okuyama, Sonis e Hewings (1999) consideram em seu modelo a reação de ajuda por parte dos agentes na forma de transferências para a região atingida, incorporando um decréscimo adicional na demanda na economia do resto do Japão, decorrente das transferências para o auxílio no processo de recuperação da região atingida pelo terremoto de Kobe.

Com relação ao fator capital, duas questões principais podem ser levantadas: primeiro, em regiões onde tanto o capital em forma de equipamentos quanto em forma de estruturas são antigos e obsoletos, o ganho de produtividade proveniente do moderno capital investido na

reconstrução da região tende a produzir um efeito econômico positivo maior no longo prazo (OKUYAMA; HEWINGS; SONIS, 2004); segundo, a análise da frequência e a consequente previsibilidade do desastre devem ser consideradas na formulação das hipóteses dos impactos potenciais sobre o capital na região atingida, pois regiões frequentemente atingidas por eventos de mesma natureza tendem a se adaptar e reduzir a perda de capital decorrente do desastre. Como observado em Haddad e Teixeira (2013), desastres com perfil rotineiro e de fácil demarcação de áreas reincidentes, como as enchentes na cidade de São Paulo, podem induzir as regiões frequentemente afetadas a se adaptarem com o tempo, minimizando os impactos sobre a cidade e, principalmente, sobre o estoque de capital.

Na avaliação inter-regional dos impactos, o caráter crítico da produção da região inicialmente atingida se destaca como importante componente indutor na propagação dos efeitos além das suas fronteiras. Se os produtos que tiveram sua produção prejudicada têm baixo grau de substituição, a transmissão dos efeitos negativos para fora do território que a princípio foi atingido tende a ser maior e a transferência dos efeitos se dá basicamente através da mudança nos padrões de comércio entre as regiões. Sendo assim, embora a região atingida diretamente possa auferir um crescimento líquido devido aos investimentos externos, numa análise macro incluindo o resto do país, o qual financia esses investimentos, o resultado líquido geralmente indica perdas apesar dos ganhos locais. (COCHRANE, 2004b).

A pesquisa de campo realizada por Chang *et al.* (2014), elaborada através de entrevistas com *decision-makers* 15 meses após o terremoto de Christchurch na Nova Zelândia, procurou levantar os pontos de maior complexidade e relevância na resposta ao desastre, destacando as ações mais significativas para mitigação dos mais variados danos. No que tange aos aspectos econômicos, o ambiente institucional foi apontado como ponto de forte influência na tomada de decisão por investimentos privados, que envolvem todos os procedimentos legais inerentes ao intenso processo de reconstrução de estruturas. Outro elemento levantado diz respeito não só à origem do financiamento para reconstrução (se obtido por seguradoras, transferências do governo ou financiamento próprio via dívida), mas também às novas condições estabelecidas para manutenção desses seguros, pois a ocorrência de desastres e a numerosa abertura de sinistros subsequente tendem a repercutir na reformulação dos contratos pós-desastre.

As peculiaridades encontradas na relação entre seguros e desastres naturais são discutidas com maior minúcia por Kunreuther e Pauly (2009), principalmente aqueles associados aos acordos *ex-ante*. Dentre as dificuldades levantadas no estudo, se destaca a incerteza relacionada à

probabilidade e à magnitude do evento e, conseqüentemente, ao desconhecimento da provável dimensão das perdas. Os autores também apontam que, apesar desses eventos serem passíveis de cobertura por parte de determinados contratos de seguro, mesmo em países intensamente segurados como os Estados Unidos apenas uma parcela restrita dos danos costumam ser amparados por seguro, a exemplo do Furacão Katrina que gerou sinistros num total de US\$43,3 bilhões diante da soma total de US\$158,2 bilhões em perdas (VIGDOR, 2008).

Ainda na discussão a respeito da importância dos sistemas de transferência de risco, como seguros, Pettersen, Skjelvilj e Krokeide (2005) numa análise acerca da América Latina levantam dúvidas sobre o benefício do desenvolvimento sistemas de gerenciamento de risco numa estrutura institucional fraca, envolvendo um estado com restrita capacidade de implementação de políticas de recuperação em tempo hábil, baixa disponibilidade de dados e estatísticas sobre os eventos, ausência de projeções acuradas de perdas, além do deficiente uso dessas informações. Na visão dos autores, um ambiente institucional que contribua para a retenção de risco tem prioridade com relação à criação e à manutenção de instrumentos de transferências de risco.

A questão da escala geográfica, bem como o horizonte de tempo adotado para análise dos resultados, deve ser observada com cautela. Análises demasiadamente amplas tendem, em termos relativos, a minorar os efeitos locais, visto que a grande maioria dos desastres tem os impactos mais relevantes na escala municipal ou microrregional e tanto o tempo de ocorrência do desastre em si quanto o período de investimento mais intenso para reconstrução são curtos. A importância da escolha correta de escala regional e temporal fica clara em Hewings, Changnon e Bridi (2000), que testaram através de um modelo econométrico a significância de impactos de desastres sobre o PIB de 11 estados dos Estados Unidos, dos quais apenas um se apresentou significativo. Os autores atribuem o resultado ao excessivo grau de amplitude na escala temporal e regional adotada que, embora seja indiscutível a existência de impactos negativos relevantes nesses desastres, teve seus efeitos minorados quando abordados numa escala estadual e anual.

3.5 Modelos de EGC: Características Básicas

No processo de desenvolvimento econômico podem surgir diversos gargalos na estrutura produtiva, como desequilíbrios regionais ou setoriais e outras assimetrias, expondo a economia

a instabilidades tanto internas quanto externas. Nesses momentos, faz-se necessário instrumentos que ofereçam o máximo de informações e indicadores possíveis, com a capacidade de contribuir na avaliação de políticas públicas que foram, ou poderão ser implementadas.

Na compreensão e administração dessas mudanças estruturais, modelos de Equilíbrio Geral Computável têm se evidenciado muito úteis, pois incorporam a produção a um nível de agregação que possibilita a análise de transformações estruturais e também captam a natureza interdependente essencial da produção, demanda e comércio dentro de um sistema de equilíbrio geral, incorporando mecanismos de mercado e instrumentos de política que funcionam através de incentivos de preços (DERVIS; MELO; ROBINSON, 1982).

O uso de modelos de equilíbrio geral intersetoriais e inter-regionais permitem obter informações mais precisas e detalhadas de interesse tanto para a empresa como para o governo. Para a empresa, a principal contribuição é a capacidade de previsão das reações de determinado setor em específico frente a determinada situação. Para o governo, o apoio principal é na avaliação dos efeitos gerados por determinada política pública sobre os diferentes setores e qual seu impacto nas relações entre eles (GUILHOTO; HASEGAWA; LOPES, 2002).

No campo de políticas públicas, embora a teoria contribua na tomada de decisões, essa não é suficiente. É necessário o conhecimento da importância quantitativa dos vários mecanismos analisados pela teoria pois, entre outras vantagens da modelagem, ela é capaz de captar muitos efeitos indiretos que ocorrem no cenário real, apesar de escaparem do arcabouço teórico, tanto num ambiente de curto, quanto de longo prazo.

Pode-se, então, resumir política pública como o campo do conhecimento que busca, ao mesmo tempo, “colocar o governo em ação” e/ou analisar essa ação (variável independente) e, quando necessário, propor mudanças no rumo ou curso dessas ações (variável dependente) (SOUZA, 2006, p. 26).

Assim sendo, podemos considerar os modelos de equilíbrio geral como uma ponte entre os teóricos econômicos, os planejadores, e os formuladores de políticas. O teórico será capaz de visualizar a sua base teórica no cenário real com maior facilidade e o formulador de política possuirá, através do modelo, indicações de soluções menos generalistas e mais precisas para os problemas encontrados na prática. De modo que, pode-se argumentar que a principal contribuição dos trabalhos de Equilíbrio Geral Computável não são seus resultados empíricos, mas sim a sua capacidade de forçar os formuladores de políticas a estudarem suas decisões

diante de informações consistentes, considerando muitas vezes, uma variedade de consequências diferentes das cogitadas anteriormente (DERVIS; MELO; ROBINSON, 1982).

Ainda hoje existem algumas barreiras no uso desses modelos, como a dificuldade de obter o comportamento real dos atores e suas preferências, ou a dificuldade para obter dados em algumas circunstâncias devida a falta de disponibilidade, informações muito ultrapassadas ou falta de compatibilidade, dificultando assim, a calibragem do modelo. A falta de disponibilidade dos dados ou de estimativas adequadas para os parâmetros torna essencial a análise de sensibilidade dos resultados (DOMINGUES; HADDAD; HEWINGS, 2008).

Os modelos de Equilíbrio Geral Computável são fundamentados na teoria microeconômica, apresentando consistência interna sobre todas as variáveis e fornecendo soluções numéricas para todas as variáveis endógenas, de modo que, como consideram as relações entre todas as variáveis modeladas, possibilita identificar os efeitos diretos e indiretos de políticas econômicas (FOCHEZATTO, 2006). Sendo assim, numa análise dos efeitos de determinada política econômica sobre determinado setor produtivo, os impactos captados por modelos de Equilíbrio Geral Computável tem a capacidade de representar não apenas as perdas financeiras em que esses produtores incorreriam, mas na verdade os efeitos gerados na economia como um todo, considerando rendimentos marginais decrescentes, as substituições entre os fatores de produção, estoque de capital, as reações da economia diante de questões como a variação dos preços, comércio, mercado de trabalho, etc. Desse modo, entre outras vantagens, esses modelos permitem que sejam capturados efeitos de uma política de forma sistêmica em toda a economia (DINIZ; FILHO, 2013).

Os impactos de políticas econômicas na economia brasileira envolvem importantes aspectos microeconômicos e macroeconômicos, podendo causar não só alterações nos agregados macroeconômicos, como também transformações no equilíbrio regional e setorial. Nesse contexto, diante da diversidade das variáveis e do elevado nível de complexidade das inter-relações entre as mesmas nesse tipo de estudo, modelos de Equilíbrio Geral Computável se tornam uma ferramenta apropriada devido sua característica robusta e sua alta capacidade de contemplar as interdependências inerentes à economia. O uso de modelos de Equilíbrio Geral Computável para avaliação de políticas econômicas tem como vantagem a própria natureza multisetorial do modelo e sua capacidade de considerar as inter-relações dos agentes, possibilitando a verificação dos resultados dessas complexas interações e seus efeitos. Como mencionado por Dixon e Rimmer (2010):

Today, thousands of economists from nearly every country are undertaking Johansen-style CGE modelling to elucidate policy questions in trade, taxation, environment, labour markets, immigration, income distribution, technology, resources, micro-economic reform and macro stabilization (DIXON; RIMMER, 2010, p. 1).

O emprego deste modelo é capaz de fornecer uma projeção dos impactos decorridos da mudança ou da implantação de políticas econômicas, tornando-se um instrumento bastante proveitoso principalmente para os formuladores de políticas (BURFISHER, 2011).

3.5.1 Base Teórica

Os principais modelos econômicos de uso geral são os modelos econométricos e os modelos de Equilíbrio Geral Computável. Os econométricos são mais voltados para o estudo de agregados econômicos, simulação e previsão de variáveis econômicas ao longo do tempo e diferem dos modelos de equilíbrio geral por considerarem o componente monetário da economia, ou seja, a produção é afetada pela moeda. Os modelos de equilíbrio geral, por sua vez, são baseados na premissa neoclássica que a moeda não afeta a produção, consideram o lado real da economia e trabalham com mudança de preços relativos, além disso, apresentam resultados mais desagregados. Existem também modelos integrados, que apresentam a vantagem de vincular a dinâmica dos modelos econométricos com o detalhamento dos modelos de equilíbrio geral numa análise temporal (GUILHOTO; HASEGAWA; LOPES, 2002).

Um modelo de Equilíbrio Geral Computável pode ser definido como uma representação numérica das condições de equilíbrio de uma economia, promovidas por agentes econômicos representados por equações comportamentais. Seu propósito é converter a concepção teórica de equilíbrio geral walrasiano, formalizada nos anos 50 por Kenneth Arrow, Gerard Debreu e outros, em modelos aplicados à economia real (FOCHEZATTO, 2006, p. 114).

O modelo walrasiano de uma economia em concorrência perfeita e dois agentes principais, os produtores e os consumidores, é a base do modelo de equilíbrio geral computável padrão. Todos os agentes consomem, produzem e comercializam seus bens e fatores. Os consumidores possuem uma dotação inicial e um conjunto de preferências, sendo o consumo dos bens dado pela maximização de sua função utilidade. Os produtores por sua vez, tem a tecnologia definida por uma função de produção com rendimentos constantes de escala, sendo a demanda das firmas determinada pela minimização do seu custo (WING, 2004).

Entretanto, muitos economistas se mantêm duvidosos diante desses modelos, o que não deixa de ser um incentivo para melhorias no método. Como Rauscher (1999) colocou:

To many economists, computable general equilibrium (CGE) models are a bit dubious. They are huge, they are complex, and they appear to be large black boxes that produce results that cannot be traced to an accessibly small set of simple assumptions or axioms (RAUSCHER, 1999, p.799).

Esse contexto, aliado aos problemas decorridos dos desvios entre a simplificação teórica e a realidade empírica, motivou uma série de melhorias do método a partir da base walrasiana, sendo realizadas mudanças com o intuito de aumentar a proximidade entre os impactos captados pelos modelos daqueles observados na realidade.

Uma das principais mudanças foi a inclusão de mecanismos de rigidez nos ajustamentos, mantendo a capacidade de substituição do modelo neoclássico, mas acrescentando restrições de acordo com as imperfeições nos processos de ajustamento. Outra alteração foi a inserção da hipótese de concorrência imperfeita, visando uma maior adequação as condições de curto prazo, onde as empresas podem exercer algum nível de poder monopolístico. Também foram criados mecanismos dinâmicos com o objetivo de superar a natureza determinística desses modelos e estimar a evolução da economia no decorrer do tempo até chegar ao seu resultado final. Esses modelos se deparam com a necessidade de uma formulação das expectativas intertemporais dos agentes, e isso se torna uma dificuldade devido à complexa cadeia de regras para a formação de expectativas que deve ser construída (DIXON; RIMMER, 2010; DIXON; PARMENTER, 1996b)

A mudança mais recente dentre as citadas é a inclusão de mais de uma região, com o intuito de realizar análises de políticas econômicas num contexto multi-regional, possibilitando assim a captura das inter-relações entre municípios, cidades, estados e consequentemente, de países. Esses modelos podem ser divididos entre: *top-down*, *híbrido* e *bottom-up*: Os modelos *top-down* tem como principal característica a independência entre os componentes nacional e regional, dessa forma, é extraído do modelo nacional os resultados econômicos macro e distribuído esses resultados para as regiões, respeitando o peso relativo delas na economia nacional; os híbridos se diferenciam do anterior devido a inclusão de um conjunto de dados regionais na parte nacional do modelo; os modelos *bottom-up*, por sua vez, possuem fluxos de impostos, gasto do governo, comerciais e financeiros que fazem o papel de ponte entre os componentes regionais e nacionais (FOCHEZATTO, 2006). Modelos *bottom-up*, que determinam os resultados nacionais através dos resultados regionais, tem como característica a utilização de medias ponderadas dos dados regionais para estimar as variáveis nacionais (DOMINGUES; HADDAD, 2006).

Desse modo, dado as condições de cada modelo, um *top-down* é incapaz de captar os impactos de políticas regionais num prisma nacional, devido a dissociação entre o regional e o nacional, limitação essa que não é observada nos modelos *bottom-up* e, em parte, nos híbridos.

Outro ponto importante são as técnicas desenvolvidas para atualização das Matrizes de Insumo Produto utilizadas como principal base de dados em boa parte dos trabalhos de Equilíbrio Geral Computável. Considera-se que essas matrizes indicam os valores do ambiente de equilíbrio de uma economia em determinado ano, sujeito as ações comportamentais dos agentes econômicos (FOCHEZATTO, 2006). Em virtude da variedade de fontes utilizadas em sua elaboração, a apresentação de matrizes não balanceadas nas quais os valores das linhas não correspondem aos valores das colunas é bastante comum. Nesses casos, é necessário o uso de métodos matemáticos para realizar esse balanceamento, como o método RAS que se utiliza de algoritmos escalares para tal (DINIZ; FILHO, 2013).

Não se pode deixar de mencionar que, devido ao fato de a capacidade computacional não ser mais limitativa para os cálculos destes modelos, foram obtidos ganhos significativos com o desenvolvimento de *softwares* para as simulações, aumentando a acessibilidade dos pesquisadores, devido a menor necessidade de conhecimentos avançados em programação, facilitando a transferência dos modelos criados entre os usuários e incentivando a troca de informações. Os dois *softwares* principais são o GAMS, desenvolvido na década de 70 por Alex Meeraus e Jan Bisschop no Banco Mundial, e o GEMPACK, desenvolvido na década de 80 por Ken Pearson.

Esses avanços contribuíram para melhorar a precisão das previsões e o realismo das transmissões dos efeitos das políticas econômicas, criando um cenário cada vez mais próximo do verificado na prática. Diante disso, a capacidade de modelos de EGC em considerar interdependências em grande escala e projetar choques de natureza inédita torna esses modelos amplamente utilizados para projeção dos impactos econômicos totais de desastres. Conforme aponta Dixon (2003), “(...) the most attractive feature of CGE modeling is that it enables us to think clearly about the likely implications of events for which there is no direct experience in the historical record (...)” É baseado nesses atributos que o presente trabalho faz uso da metodologia para tratar do tema em questão.

4 O MODELO DAMAGE

O Modelo DamAge (*Dynamic Applied Mining General Equilibrium Model*), utilizado nesta dissertação, foi construído especialmente para projetar as perdas diretas e indiretas ocorridas devido ao desastre em Mariana - MG decorrentes dos prejuízos sociais, financeiros e de propriedade, bem como os efeitos diretos e indiretos das políticas de mitigação dos danos e recomposição econômica.

Trata-se do primeiro modelo EGC brasileiro especialmente construído para a projeção dos impactos econômicos de um desastre. Sendo *bottom-up*, permite simular cenários que geram efeitos sobre os preços específicos das regiões, além de considerar a mobilidade regional e setorial dos fatores diante desses cenários.

Como em outros modelos multiregionais de Equilíbrio Geral Computável, o Modelo DamAge apresenta metodologia capaz de projetar impactos de choques econômicos localizados geograficamente ao longo da região afetada. Essa competência decorre principalmente da consideração das características estruturais e inter-regionais do sistema econômico em grande escala de forma integrada e consistente.

O objetivo de captar da maneira mais precisa possível os efeitos regionais do desastre foi considerado durante todo o processo de modelagem do problema, que se estende desde a construção da base do modelo, regionalização, elaboração dos choques e simulação. Nesse sentido, este capítulo busca apresentar a estratégia adotada durante as etapas que envolvem a construção do modelo, com foco nas singularidades que o modelo apresenta em relação aos seus pares, além da descrição de suas características gerais.

4.1 Características Gerais

O Modelo DamAge tem como base o modelo *bottom-up* australiano TERM (*The Enormous Regional Model*) (HORRIDGE, 2012), que por sua vez, tem como origem o modelo ORANI (DIXON, 1982). Apesar da especificação teórica de modelos baseados na arquitetura do TERM

já ter sido amplamente descritos na literatura brasileira¹⁴, cabe aqui uma revisão dos principais aspectos para título de apoiar a discussão das simulações e resultados.

O TERM foi desenvolvido com o intuito de proporcionar análises desagregadas do ponto de vista regional e setorial através de simulações mais rápidas, apresentando-se útil para a análise dos impactos regionais de choques que podem ter efeitos espacialmente heterogêneos, utilizado em sua primeira aplicação para avaliar os efeitos regionais do desastre envolvendo a seca ocorrida na Austrália nos anos de 2002 e 2003 (HORRIDGE; MADDEN; WITTEWER, 2005). Além disso é um modelo do tipo Johansen, em que a estrutura matemática é representada por um conjunto de equações linearizadas e as soluções são obtidas na forma de taxas de crescimento. As características básicas da ferramenta e método de solução são apresentadas no APÊNDICE A.

O modelo DamAge possui 51.753 variáveis, sendo 16.150 exógenas e 35.603 endógenas, que compõem um total 36.603 equações. A estratégia de construção dessas equações e sua representação estrutural é apresentada com mais detalhes nas próximas seções.

Os principais conjuntos do modelo são descritos na Tabela 2 e são úteis para a apresentação da estrutura da tecnologia de produção do modelo, bem como o mecanismo de composição da demanda.

¹⁴ Entre outros Carvalho (2014), Magalhães (2011) e Faria (2009).

Tabela 2 – Conjuntos do Modelo DamAge.

Header	Descrição	Elementos	Tamanho
ORG	Regiões de origem	(*)	53
DST	Regiões de destino	(*)	53
PRD	Regiões de margem produção	(*)	53
IND	Indústrias	(**)	16
COM	Commodities	(**)	16
MAR	Margens	Comércio	2
		Transporte	
SRC	Origem	Importado	2
		Doméstico	
CFAC	Conjunto de variáveis operacionais necessárias para extensão dinâmica		14
USR	Usuários demandantes	(**)	20
		Famílias	
		Investimento	
		Governo	
		Exportações	

* 53 regiões descritas na Figura 21.

** 16 setores descritos na Tabela 4.

Fonte: Elaboração Própria. Baseado em Horridge (2012).

De modo geral, o modelo DamAge é composto por blocos de equações que determinam relações de demanda e oferta, de acordo com hipóteses de otimização e condições de equilíbrio de mercado. Além disso, vários agregados nacionais são definidos nesses blocos, como nível de emprego agregado, PIB, saldo comercial e índices de preços. Os setores produtivos minimizam os custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala em que as combinações de insumos intermediários e fator primário (agregado) são determinados por coeficientes fixos (Leontief). Há substituição via preços entre produtos domésticos e importados na composição dos insumos via função de elasticidade de substituição constante (CES). Uma especificação CES também controla a alocação do composto doméstico entre as diversas regiões. Também ocorre substituição entre capital e trabalho na composição dos fatores primários por meio de funções CES.

Os produtos de uma determinada região direcionados para outra são compostos pelos valores básicos e pelas margens de comércio e transporte. A participação de cada margem no preço de entrega é uma combinação de origem, destino, produto e fonte (doméstico ou importado). As margens sobre os produtos de uma região para outra podem ser produzidas em diferentes regiões. Espera-se que as margens sejam distribuídas mais ou menos equitativamente entre origem e destino, ou entre regiões intermediárias no caso de transporte entre regiões mais distantes. Existe substituição nos fornecedores de margem de acordo com uma função CES.

No modelo, há uma família representativa para cada região, que consome bens domésticos (das demais regiões) e bens importados. A escolha entre domésticos e importados (de outros países) é realizada por uma especificação CES (hipótese de Armington¹⁵). O tratamento da demanda das famílias é baseado num sistema combinado de preferências CES/Klein-Rubin. Assim, a utilidade derivada do consumo é maximizada segundo essa função de utilidade. Essa especificação dá origem ao sistema linear de gastos (LES)¹⁶, no qual a participação do gasto acima do nível de subsistência, para cada bem, representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família.

As exportações setoriais respondem às curvas de demanda negativamente associadas aos custos domésticos de produção e positivamente afetadas pela expansão exógena da renda internacional, adotando-se a hipótese de país pequeno no comércio internacional. Não há uma teoria para o mercado de trabalho e a relação entre emprego e salário é escolhida conforme os objetivos da simulação. O consumo do governo é exógeno. Como existe substituição entre os fatores primários, trabalho e capital, a demanda por um fator aumenta em relação ao outro fator se o seu preço se torna relativamente mais baixo.

O DamAge opera com equilíbrio de mercado para todos os bens, tanto domésticos quanto importados, assim como no mercado de fatores (capital e trabalho) em cada região. Os preços de compra para cada um dos grupos de uso em cada região (produtores, investidores, famílias, exportações e governo) são a soma dos valores básicos e dos impostos sobre vendas (diretos e indiretos) e margens (de comércio e transporte). Impostos sobre vendas são tratados como taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos. As demandas por margens (transporte e comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão conectadas. As subseções seguintes apresentam maior detalhamento da estrutura teórica do modelo.

4.1.1 Produção Setorial

O Modelo DamAge consiste de um modelo EGC multi-produto, sendo assim, cada setor regional pode produzir mais de um produto através do uso combinado de insumos domésticos e importados, trabalho, capital e terra. A função de produção pode ser separada em dois ramos:

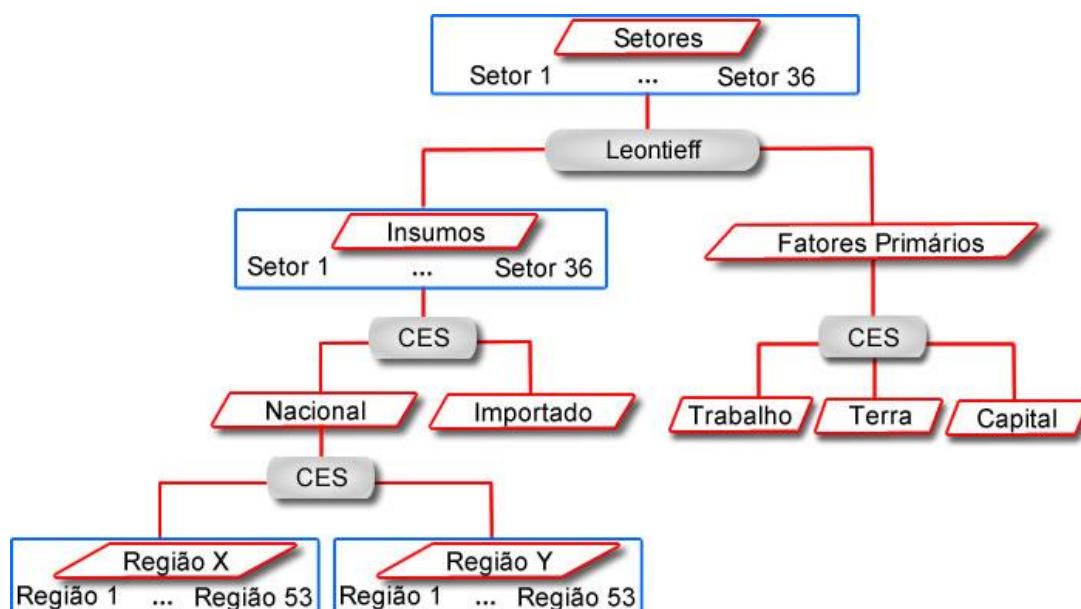
¹⁵ Hipótese de Armington - bens de origens diferentes são tratados como substitutos imperfeitos.

¹⁶ O LES é adequado para amplos agregados de bens onde substituições específicas não são consideradas. Isto é, elasticidades de preços-cruzados são iguais ao efeito renda dado na equação de Slutsky sem qualquer contribuição dos efeitos de preço-cruzado. Isso implica que todos os bens são complementares fracos. O sistema linear de gastos não permite a inclusão de bens inferiores (i.e., elasticidades renda negativas).

o responsável pela definição das parcelas do uso dos fatores primários; e o responsável pelo gerenciamento da origem dos insumos. Como ilustrado na Figura 17.

A tecnologia de produção é determinada através da combinação em proporções fixas (função Leontieff) do uso de fatores primários (trabalho, terra e capital) com insumos intermediários, que tem sua origem (nacional ou importado), definida por uma função CES e, no caso de nacionais, tem sua região nacional de origem definida também através de uma CES. É considerada nessa etapa a hipótese de substituíbilidade imperfeita entre os insumos nacionais e importados, bem como entre os insumos das regiões nacionais da última etapa, de acordo com a hipótese de Armington (1969).

Figura 17 – Estrutura da Tecnologia de Produção do Modelo DamAge.



Fonte: Elaboração própria. Baseado em Horridge (2012).

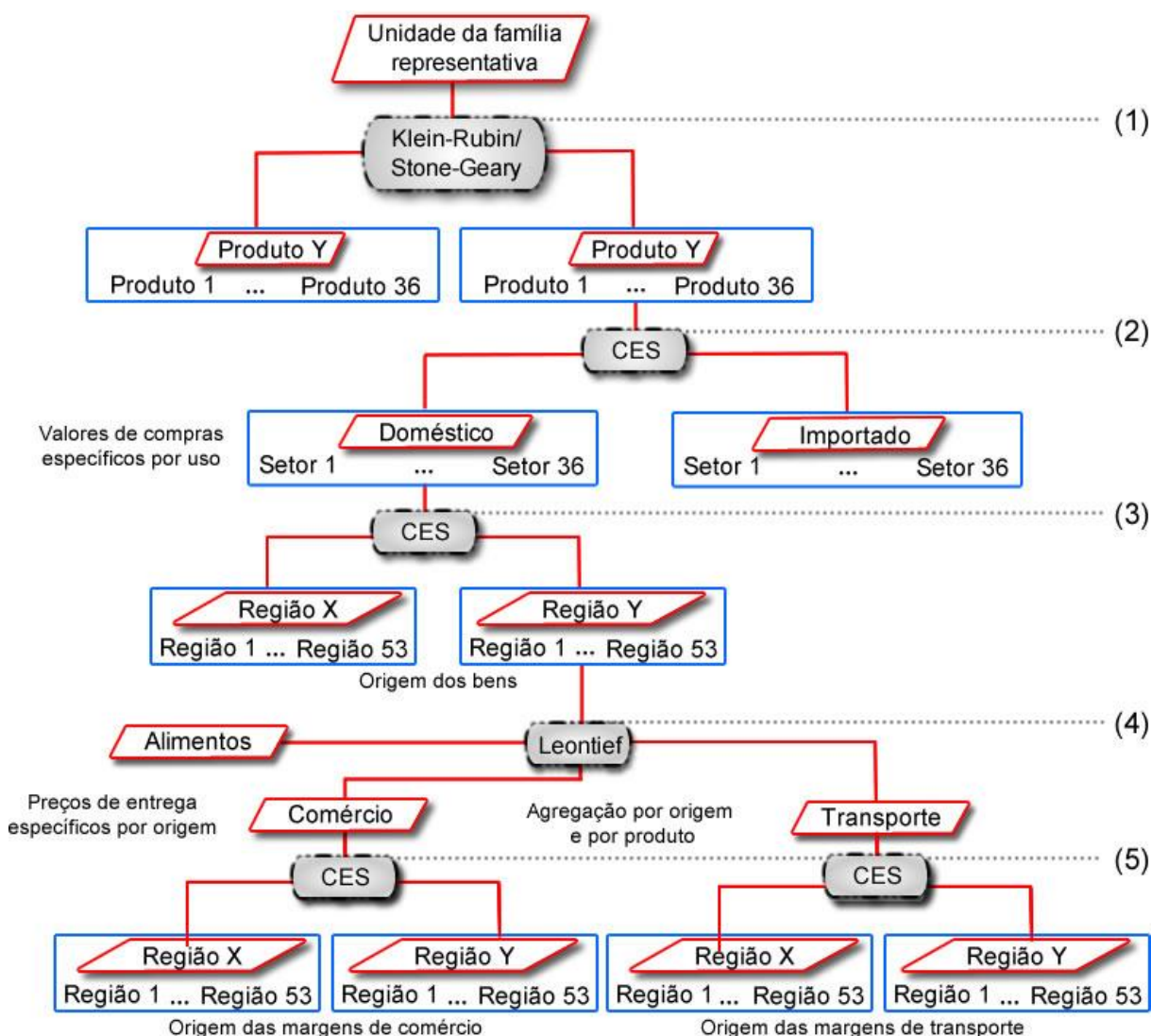
O Modelo DamAge possui retornos constantes de escala em suas funções de produção regionais. Apesar da existência de discussões na Nova Geografia Econômica a respeito, apontando para retorno crescente de escala, o seu uso em modelos de EGC não é habitual devido a fatores metodológicos, como a possibilidade da existência de múltiplos equilíbrios. Entretanto, no intuito de evitar problemas teóricos e práticos, considera-se usualmente que os resultados obtidos em simulações de modelos de EGC com retornos constantes refletem o limite inferior dos benefícios dos investimentos¹⁷.

¹⁷ Discussões mais amplas a respeito das implicações e obstáculos do uso de retornos não-constantemente de escala em modelos de EGC podem ser encontradas em Haddad (2004) e Mansori (2003).

4.1.2 Demanda Regional/Famílias

O consumo no Modelo DamAge é especificado por meio da relação de preços e gastos, que atendem condições de maximização de utilidade, considerando diversas possibilidades de substituição no decorrer do processo que forma o mecanismo de composição da demanda, como ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Mecanismo de composição da demanda do Modelo DamAge.



Fonte: Elaboração própria. Baseado em Magalhães (2013) e Horridge (2012).

O primeiro nível (1), trata diretamente do problema de maximização de utilidade da família representativa de cada região do modelo, gerando as equações de demanda. A maximização da utilidade decorrente do consumo segue uma função não-homotética Stone-Geary ou Klein-Rubin, dando origem ao sistema linear de gastos (LES– Linear Expenditure System).

Essa função, diferentemente da tradicional Cobb-Douglas, não possui elasticidade-renda da demanda unitária, considerando, portanto, que a participação orçamentária dos bens na renda se alteram em função de variações da renda total. A participação do gasto acima do nível de subsistência representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família, para cada bem. Além disso, se dividirmos a função Stone-Geary em seu nível de subsistência, constituindo-se abaixo desse nível o componente de subsistência e acima o componente de luxo, outra propriedade pode ser verificada, que apenas o componente superior, de luxo, pode alterar a utilidade per capita (PETER *et al.*, 1996).

No segundo nível (2) é definido a origem dos bens consumidos pelas famílias, se nacional ou importado, seguindo uma função CES. Assim como no nível anterior, a hipótese de Armington é válida. As demandas são relacionados com valores de compra específicos por uso, com elasticidade de substituição entre doméstico e importado (Armington) encontradas em Kume e Piani (2011).

O terceiro nível (3), por sua vez, trata da origem doméstica dos bens. Determina quais regiões do modelo produzem quais fatias de mercado de determinado bem. Essa alocação produtiva regional é calculada baseada em preços de entrega decorrentes de margens de transporte e de comércio, ou seja, embora os custos de produção sejam fixos, a fatia de produção de cada região varia em função de seus custos de transporte. Nesse nível uma função CES com elasticidades de substituição do comércio inter-regional baseada nas estimativas de Faria e Haddad (2014).

O quarto nível (4) resolve como é direcionada a produção entre as regiões em função dos valores básicos, margem de transporte e margem de comércio. A parcela de cada margem no preço total de entrega é uma combinação de origem, destino, bem e fonte determinada por uma função Leontieff, ou seja, tem proporções fixas. Desse modo, regiões com queda relativa no custo de seus produtos aumentarão sua participação no mercado regional de destino. Por exemplo, espera-se que a participação da margem de transporte no preço de mercadorias comercializadas entre regiões distantes seja alta, dando vantagem, nesse aspecto, ao comércio com regiões mais próximas.

O quinto e último nível é responsável basicamente por gerenciar como as margens podem ser geradas pelas regiões consideradas no modelo. As margens de transporte são distribuídas de forma equitativa entre as regiões, enquanto as margens de comércio são geradas em maior

parcela em sua região de destino, havendo algum grau de substituição do fornecimento de dessas margens especificada por uma CES.

4.1.3 Estoque de Capital e Investimento

Através de um processo de minimização de custos sujeito a uma estrutura de tecnologia hierarquizada, os “investidores” escolhem os insumos utilizados no processo de criação de capital. Estes são uma categoria de uso da demanda final, responsáveis pela produção de novas unidades de capital (formação bruta de capital fixo).

O bem de capital é produzido por insumos domésticos e importados, de forma análoga à tecnologia de produção. No primeiro nó, uma função CES é utilizada na combinação de bens de origens domésticos e importados. No segundo nó, um agregado do conjunto dos insumos intermediários compostos é formado pela combinação em proporções fixas (Leontief), o que define o nível de produção do capital do setor. Nenhum fator primário é utilizado diretamente como insumo na formação de capital (HORRIDGE, 2012).

4.1.4 Mercado de Trabalho

O Modelo DamAge considera o emprego nacional exógeno, não apresentando um sistema de ajuste temporal do mercado de trabalho. Ou seja, como as principais regiões desagregados do modelo tem participação reduzida no mercado de trabalho nacional, o emprego total do Brasil é considerado exógeno e é adotada uma teoria para o mercado de trabalho mais simplificada para facilitar o procedimento computacional do modelo.

O mercado de trabalho regional, por sua vez, é endógeno e seus opções de tratamento baseadas em: i) Variação no emprego determinadas por características demográficas históricas com salários se ajustando endogenamente para equilibrar o mercado de trabalho regional; ii) salário real (ou nominal) fixo e o emprego determinado pelo lado da demanda no mercado de trabalho (HORRIDGE, 2012).

4.1.5 Equilíbrio de Mercados, Demanda por Margens e Preços de Compra

O modelo opera com equações de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos localmente, tanto domésticos como importados. Os preços de compra para cada um dos grupos de uso (produtores, investidores, famílias, exportadores e governo) são a soma dos valores básicos, impostos (diretos e indiretos) sobre vendas e margens. Impostos sobre vendas são tratados como taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos. Há equilíbrio de mercado para todos os bens, tanto domésticos como importados, assim como no mercado de fatores (capital e trabalho) em cada região. As demandas por margens (transporte e de comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão conectadas. Os preços de compra para cada um dos grupos de uso em cada região (produtores, investidores, famílias, exportadores, e governo) são a soma dos valores básicos, impostos (diretos e indiretos) sobre vendas e margens (de comércio e transporte) (MAGALHÃES, 2011).

4.1.6 Equações Comportamentais e Outras Equações

Além das estruturas apresentadas nas seções anteriores, o Modelo DamAge é composto por vários outros conjuntos que geram uma série de equações operacionais, como as utilizadas para o cálculo dos agregados macroeconômicos e para os indicadores do banco de dados. Entre elas:

- a) PIB do lado do dispêndio e do lado da renda;
- b) Saldo Comercial;
- c) Índices de preços de consumo das famílias, do investimento, das exportações, das importações e do PIB (deflator implícito);
- d) Agregações de fatores primários (capital, trabalho e terra);
- e) Decomposições das vendas (uso intermediário e final);
- f) Decomposições do PIB (lado da renda e do dispêndio).

Devido ao extenso número de considerações do modelo, foram selecionadas as equações em formato operacional do *software* GEMPACK mais relevantes e estão descritas no [ANEXO A](#).

4.2 Base de Dados

A base de dados do modelo DamAge foi construída por meio de um procedimento de regionalização a partir de um grande conjunto de dados nacionais e regionais. O procedimento se baseou na metodologia proposta em Horridge (2006), adaptado para o caso brasileiro. A base de dados principal parte da Matriz de Insumo Produto Nacional para 2013, estimada a partir das Tabelas de Recursos e Usos (IBGE, 2013).

O procedimento computacional de regionalização utilizou diversos dados de participações regionais nos indicadores macroeconômicos (PIB, investimento, consumo das famílias, gastos do governo, importações, exportações). A fim de obter as participações por região, foram utilizados dados de diversas fontes: PIB por região (incluindo a divisão entre PIB da agropecuária, indústria, serviços e administração pública), divulgados pelo IBGE; exportações e importações por região existentes no sistema ALICEWEB da SECEX, e a massa salarial (por setor de atividade e região) obtida por meio da “Relação Anual de Informações Sociais” (RAIS). O gasto familiar, por sua vez, foi desagregado a partir de informações de consumo da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), disponibilizada pelo IBGE (2015), dentre outros. O resultado final do procedimento é um modelo com 53 regiões 49 municípios de Minas Gerais mais a região composta por Belo Horizonte, Contagem e Betim, além de Espírito Santo, Pará e o restante do Brasil. Durante o procedimento, busca-se a consistência da base de dados com os dados oficiais das Contas Regionais, Contas Nacionais, Matriz de Insumo-Produto, informações do IBGE; e Comércio Exterior (SECEX), Produção Industrial (PIA) e Emprego (RAIS).

As próximas seções descrevem os critérios adotados para seleção das regiões do modelo DamAge e os principais elementos da base de dados resultante.

4.2.1 Regionalização

Em relação ao modelos brasileiros mencionados na seção 3.5, o Modelo DamAge se diferencia pelo modo como foi definida sua regionalização. Esta é uma questão importante pois, como discutido anteriormente, o local onde ocorreu o desastre está inserido numa região extremamente heterogênea, sobretudo economicamente, tanto no que se refere ao nível de produto de cada município quanto em sua vocação setorial na produção.

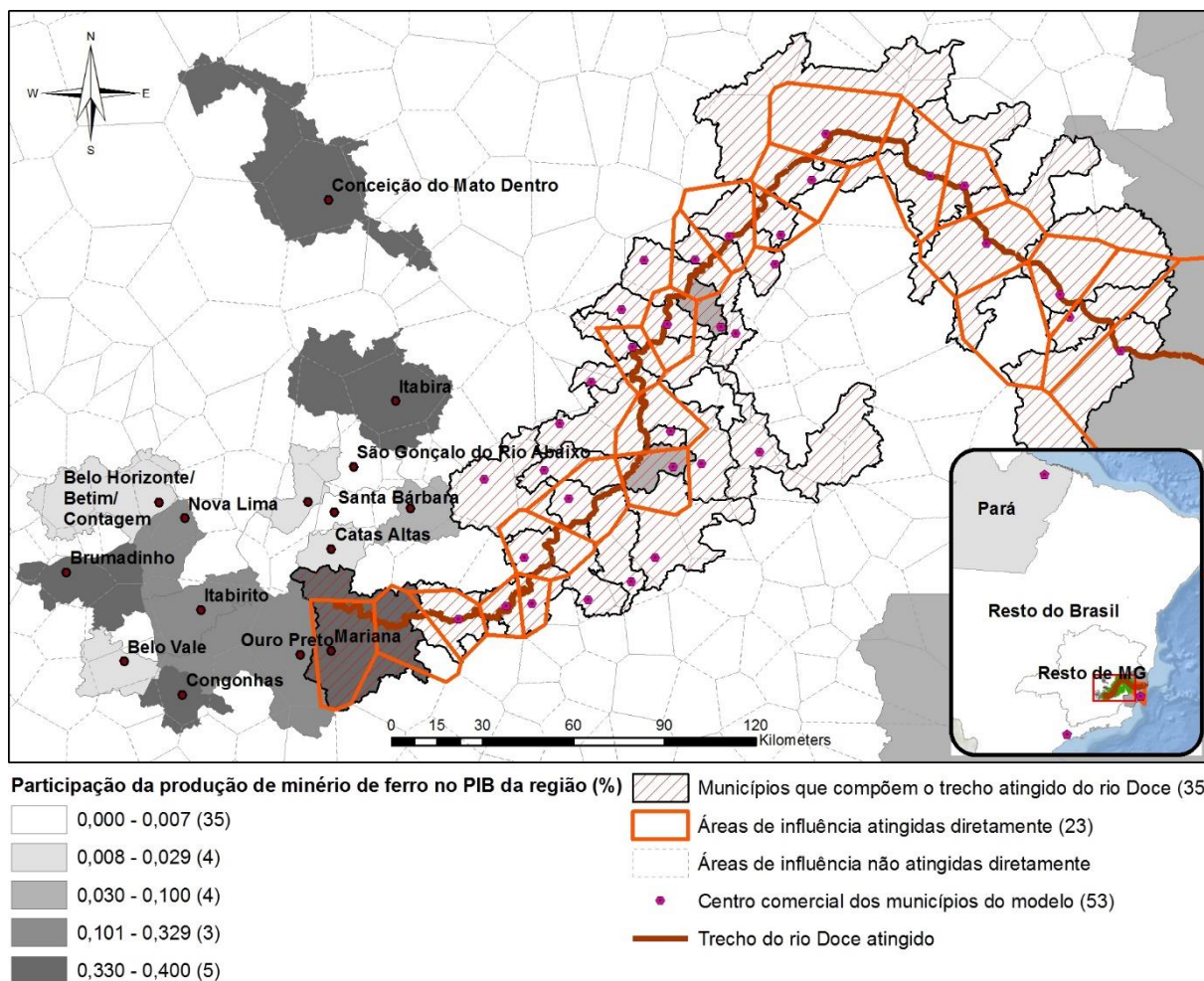
Diante disso, tendo em vista o objetivo de compreender como se dá o processo de propagação regional dos efeitos negativos do evento, a seleção das regiões para o processo de regionalização foi feita seguindo 3 critérios principais:

- a) Regiões que compõem o trecho do rio Doce contaminado pelo rejeito de minério;
- b) Regiões próximas ao desastre que apresentam relevante participação da produção de minério de ferro na composição do seu PIB;
- c) Regiões com intenso fluxo comercial com as anteriores.

Para o item (a), além da consideração da simples intersecção entre o trecho atingido do rio Doce e o território dos municípios de Minas Gerais, também foi levado em conta a intersecção com a área de influência de cada município. Para isso, foram projetados polígonos de *Thiessen* (diagrama de *Voronoi*) através do encadeamento com os centros comerciais de cada município, o objetivo principal foi projetar de maneira clara a área de influência potencial de cada região e considerar sua intersecção com o trecho atingido do rio Doce na definição da regionalização do modelo.

Com relação ao item (b), foram utilizados os mesmos dados de 2013 que alimentam o *share* de produção setorial e regional do Modelo DamAge, obtidos através do IBGE. A Figura 19 demonstra espacialmente os itens (a) e (b).

Figura 19 – Ilustração espacial da produção de minério de ferro¹⁸ e da cobertura municipal do desastre.



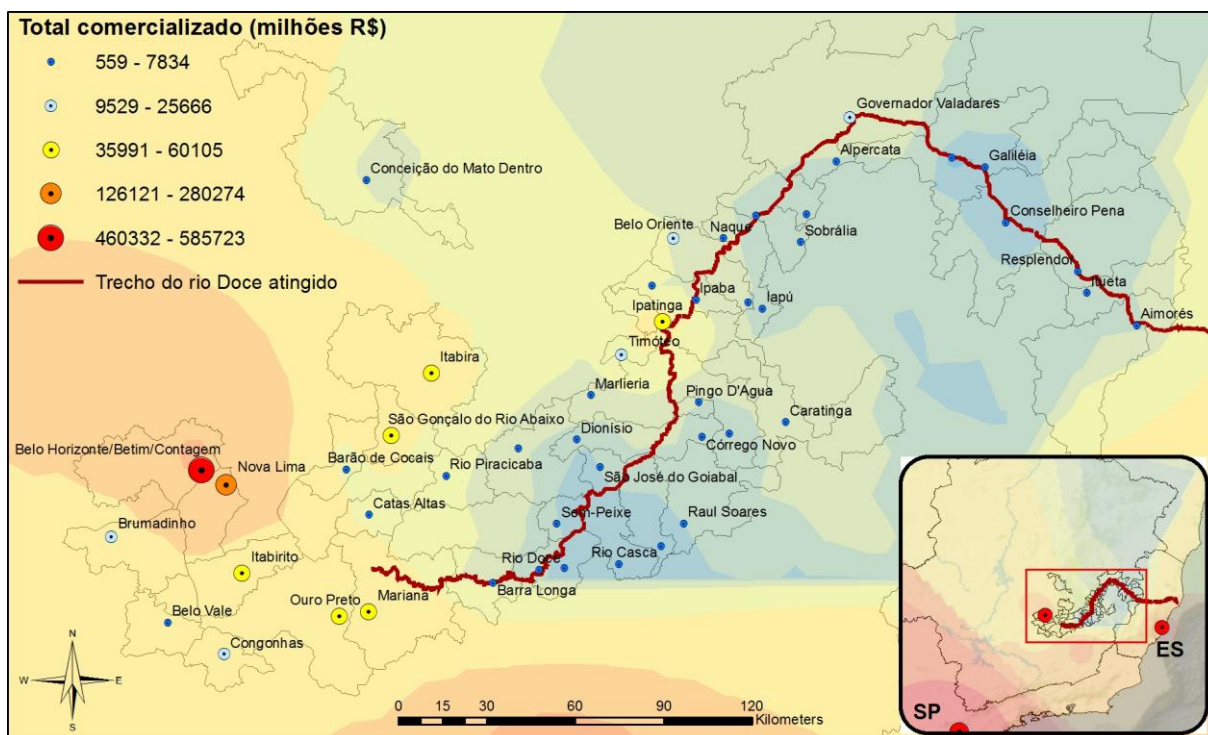
Fonte: Elaboração própria. Dados do Modelo DamAge.

Para o item (c) foi tomado como referência o valor do total comercializado por cada região, ou seja, a soma da oferta e demanda de produtos da região alvo em relação a todas as outras regiões do modelo, gerado pela matriz de comércio regional (discutida no item 4.2.3). Para a análise visual dessa questão, foi feita a associação via interpolação¹⁹ dos dados de comércio total com a localização georreferenciada dos centros comerciais, representada na Figura 20.

¹⁸ Para fins ilustrativos, o mapa construído diferencia visualmente a participação de minério de ferro em relação ao PIB de acordo com a regionalização definida para o Modelo DamAge, sendo assim, municípios e estados não desagregados no modelo também não tem a participação de minério de ferro no PIB representada de maneira desagregada no mapa.

¹⁹ A interpolação de pontos com planos pode ser realizada ponderando o valor total da magnitude tomada como referência (nesse caso, total comercializado) pelo o inverso da distância.

Figura 20 – Distribuição espacial do total comercializado nas regiões.



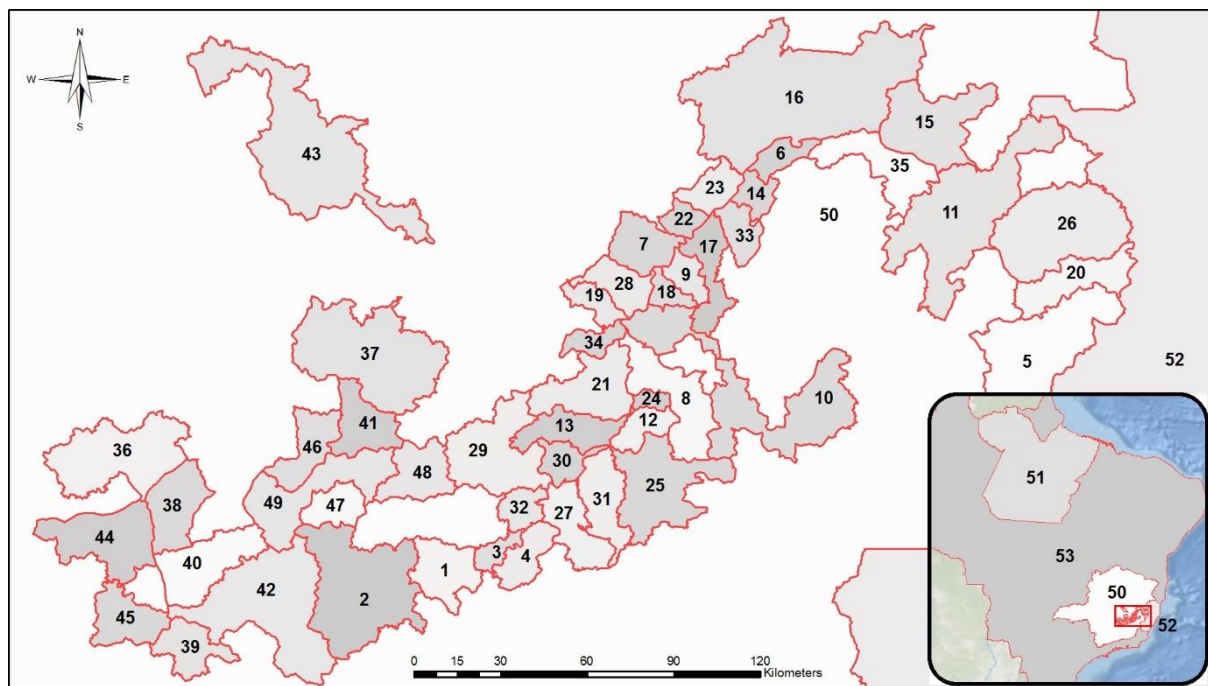
Fonte: Elaboração própria. Dados do Modelo DamAge.

Após a identificação dessas características, a determinação do nível de agregação regional foi realizada considerando o nível municipal para aquelas regiões diretamente afetadas pelo desastre e nível macro-regional ou estadual para aquelas que apresentam forte conexão comercial ou setorial (produção de minério de ferro) para com as regiões atingidas.

No caso do Pará, sua especificação no modelo se justifica principalmente pelo componente setorial da atividade minerária expressivo no estado. No mesmo sentido, com relação ao Espírito Santo, estado que abriga o principal porto escoador do minério produzido em Minas Gerais, sua desagregação também possibilita a análise dos efeitos de realocação da produção de minério sobre a atividade setorial do estado.

A regionalização resultante dos critérios adotados está sintetizada na Figura 21.

Figura 21 – Regiões consideradas no Modelo DamAge.



- | | | | |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1. Barra Longa | 15. Galiléia | 29. São Domingos do Prata | 43. Conceição do Mato Dentro |
| 2. Mariana | 16. Governador Valadares | 30. São José do Goiabal | 44. Brumadinho |
| 3. Rio Doce | 17. Iapú | 31. São Pedro dos Ferros | 45. Belo Vale |
| 4. Santa Cruz do Escalvado | 18. Ipaba | 32. Sem-Peixe | 46. Barão de Cocais |
| 5. Aimorés | 19. Ipatinga | 33. Sobrália | 47. Catas Altas |
| 6. Alpercata | 20. Itueta | 34. Timóteo | 48. Rio Piracicaba |
| 7. Belo Oriente | 21. Marliéria | 35. Tumiritinga | 49. Santa Bárbara |
| 8. Bom Jesus do Galho | 22. Naque | 36. Belo Horizonte/ Betim/ Contagem | 50. Resto de MG |
| 9. Bugre | 23. Periquito | 37. Itabira | 51. Pará |
| 10. Caratinga | 24. Pingo D'Água | 38. Nova Lima | 52. Espírito Santo |
| 11. Conselheiro Pena | 25. Raul Soares | 39. Congonhas | 53. Resto do Brasil |
| 12. Córrego Novo | 26. Resplendor | 40. Itabirito | |
| 13. Dionísio | 27. Rio Casca | 41. São Gonçalo do Rio Abaixo | |
| 14. Fernandes Tourinho | 28. Santana do Paraíso | 42. Ouro Preto | |

Fonte: Elaboração própria.

Após a definição das regiões consideradas no modelo, prossegue-se com o procedimento operacional de geração da base de dados regionalizada do modelo que será utilizada para as simulações. O resumo dos dados necessários para o procedimento está ilustrado na Tabela 3.

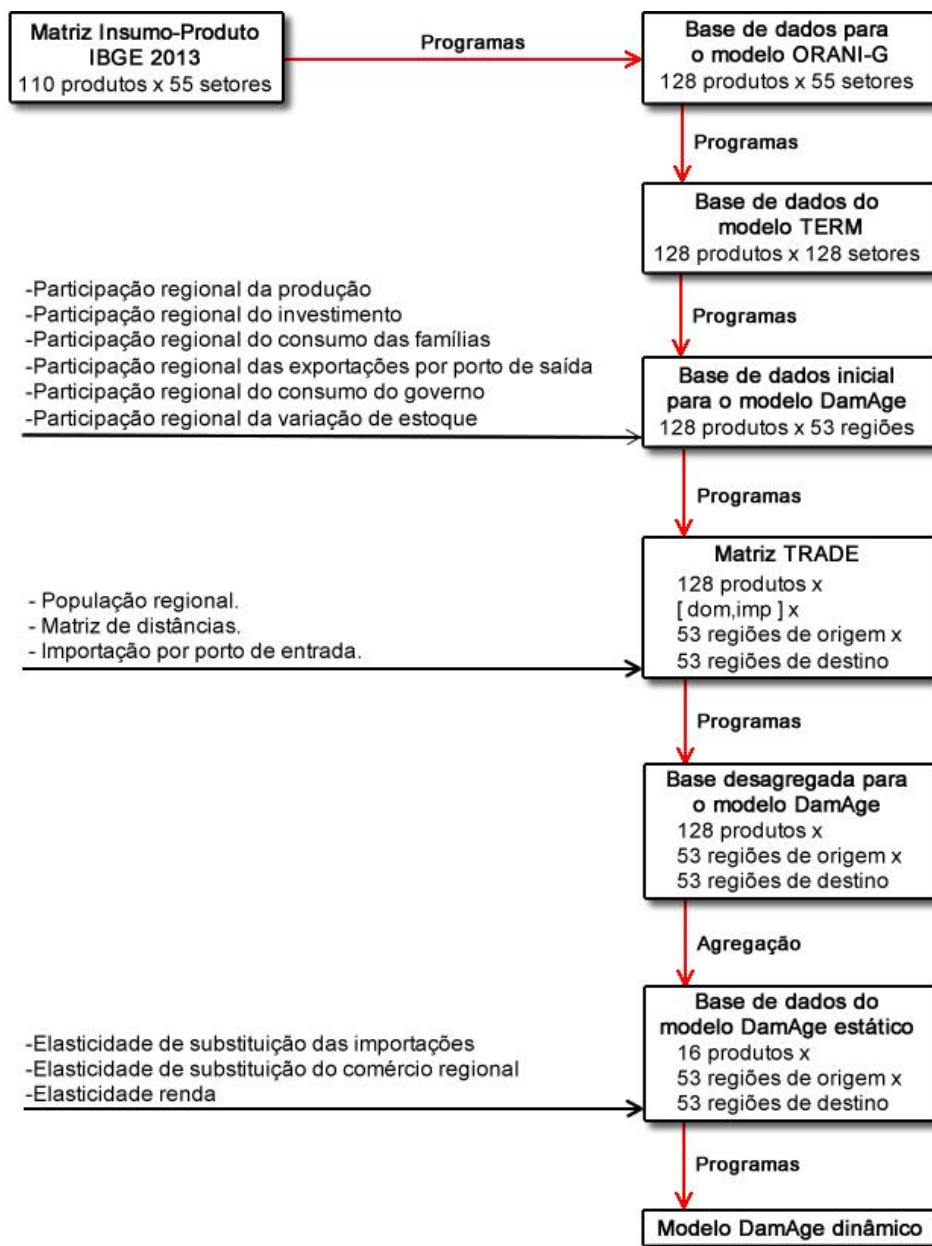
Tabela 3 – Principais dados utilizados no procedimento de regionalização.

Descrição	Fonte dos dados
Matriz de Insumo-Produto	IBGE
Participação regional da produção	IBGE, RAIS
Participação regional do investimento	RAIS
Participação regional do consumo das famílias	POF, IBGE
Participação regional das exportações por porto de saída	Sistema ALICEWEB da SECEX
Participação regional do consumo do governo	IBGE
Participação regional da variação de estoque	RAIS
Participação regional das importações por porto de entrada	Sistema ALICEWEB da SECEX
População regional	IBGE
Distância entre as regiões	(CARVALHO <i>et al.</i> , 2016)
Elasticidade de substituição das importações	(KUME; PIANI, 2011)
Elasticidade de substituição do comércio regional	(FARIA; HADDAD, 2014)
Elasticidade renda	(HOFFMANN, 2010)

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 22 apresenta o resumo do procedimento computacional executado.

Figura 22 – Resumo do procedimento de regionalização do Modelo DamAge.



Fonte: Elaboração própria. Baseado em Horridge (2012) e Carvalho (2014).

4.2.2 Agregação Setorial

Na determinação da agregação setorial do modelo, como exposto por Guilhoto (1995), deve-se evitar tanto a agregação de setores em excesso, comprometendo a capacidade de identificação de efeitos relevantes nos resultados, quanto a desagregação exagerada que pode comprometer a capacidade computacional das simulações.

Isto em conta, a estratégia adotada foi priorizar a seleção não só de setores que compõe predominantemente a atividade produtiva das regiões desagregadas na regionalização, como também de setores que tendem a sofrer indiretamente com os efeitos do desastre de maneira mais acentuada, seja através do comércio, da realocação regional da produção, ou outra via de transmissão. O resultado da seleção é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição setorial da base de dados do Modelo DamAge.

Nº	Setor
1	Agricultura
2	Pecuária
3	Pesca
4	Indústria
5	Minério de ferro
6	Eletricidade, gás e outras utilidades
7	Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos
8	Construção
9	Comércio
10	Transporte
11	Serviços privados
12	Aluguel efetivo
13	Aluguel imputado
14	Serviços públicos
15	Educação pública
16	Saúde pública

Fonte: Elaboração própria.

4.2.3 Análise Descritiva da Base de Dados

De acordo com os critérios e procedimentos metodológicos para regionalização descritos previamente, foi gerada uma base de dados *bottom-up* que compreende 53 regiões e 16 setores. Esta seção tem como objetivo a apresentação das principais características dessa base, por meio da análise da distribuição regional e setorial de indicadores de fluxo e estoque.

De acordo com a base de dados construída para o modelo DamAge, os municípios direta ou indiretamente afetados pelo desastre correspondem a apenas 2,97% do PIB nacional. Nesse sentido, com o propósito de evitar comparações desproporcionais, serão explorados com mais detalhes apenas os dados dos municípios afetados pelo desastre e aqueles fortemente mineradores, como Nova Lima, Ouro Preto e Itabira, dentre outros. As tabelas desta seção, portanto, não incluem agregados regionais como Restante do Brasil, Restante de Minas Gerais, Pará, Espírito Santo e a agregação municipal de Belo Horizonte/Betim/Contagem. As tabelas

indicando as participações de todas as regiões e setores, no entanto, podem ser encontradas no APÊNDICE B.

Tabela 5 – Participações municipais do PIB total dos municípios afetados direta ou indiretamente pelo desastre e municípios mineradores (%).

Nº	Região	Participação no PIB total dos municípios	Nº	Região	Participação no PIB total dos municípios
1	Barra Longa	0,0	26	Resplendor	0,1
2	Mariana	10,3	27	Rio Casca	0,0
3	Rio Doce	0,0	28	Santana do Paraíso	0,5
4	Santa Cruz do Escalvado	0,0	29	São Domingos do Prata	0,1
5	Aimorés	0,2	30	São José do Goiabal	0,0
6	Alpercata	0,0	31	São Pedro dos Ferros	0,0
7	Belo Oriente	2,3	32	Sem-Peixe	0,0
8	Bom Jesus do Galho	0,0	33	Sobralia	0,0
9	Bugre	0,0	34	Timóteo	3,3
10	Caratinga	0,4	35	Tumiritinga	0,0
11	Conselheiro Pena	0,1	37	Itabira	10,3
12	Córrego Novo	0,0	38	Nova Lima	17,5
13	Dionísio	0,0	39	Congonhas	5,4
14	Fernandes Tourinho	0,0	40	Itabirito	6,3
15	Galiléia	0,0	41	São Gonçalo do Rio	6,8
16	Governador Valadares	1,7	42	Ouro Preto	10,4
17	Iapú	0,0	43	Conceição do Mato	0,3
18	Ipaba	0,0	44	Brumadinho	5,9
19	Ipatinga	12,5	45	Belo Vale	0,2
20	Itueta	0,0	46	Barão de Cocais	2,3
21	Marliéria	0,0	47	Catas Altas	0,6
22	Naque	0,0	48	Rio Piracicaba	0,9
23	Periquito	0,0	49	Santa Bárbara	1,0
24	Pingo D'Agua	0,0			
25	Raul Soares	0,0		Total	100%

Fonte: Elaboração própria. Base de dados do modelo DamAge.

De acordo com a Tabela 5 observa-se a destacada heterogeneidade do Produto Interno Bruto na região analisada. Enquanto municípios como Mariana, Ipatinga, Itabira, Ouro Preto e Nova Lima correspondem sozinhos a cerca de 60% da soma do PIB de todos os municípios analisados. Os 33 municípios que ainda compõe o trecho abrangido pelo rio Doce, indicados na Figura 12, correspondem a aproximadamente 9,1%.

A Tabela 6 apresenta através da participação setorial no PIB de cada município, quais atividades são mais importantes nos municípios analisados.

Tabela 6 – Participação setorial no PIB das regiões consideradas no modelo DamAge (%).

Nº	Região	Agricultura e Pecuária	Indústria	Minério de Ferro	Comércio	Serviços Privados	Serviços Públicos	Outros setores	Total
1	Barra Longa	39,6	21,2	0,0	9,3	4,7	17,9	7,3	100
2	Mariana	0,1	5,8	23,2	10,6	15,5	13,1	31,7	100
3	Rio Doce	15,1	23,0	0,0	2,8	10,5	28,2	20,4	100
4	Santa C. do Escalvado	65,3	14,1	0,0	3,4	4,4	12,7	0,0	100
5	Aimorés	9,4	22,2	0,0	12,0	20,1	23,5	12,8	100
6	Alpercata	35,0	17,1	0,0	12,2	8,7	22,6	4,4	100
7	Belo Oriente	0,2	49,5	0,0	6,2	8,0	8,6	27,5	100
8	Bom Jesus do Galho	44,7	18,2	0,0	10,4	8,5	16,7	1,6	100
9	Bugre	33,6	43,2	1,0	0,0	6,7	15,5	0,0	100
10	Caratinga	7,0	22,4	0,0	18,6	23,1	12,1	16,9	100
11	Conselheiro Pena	37,6	21,1	0,0	10,5	15,2	9,5	6,2	100
12	Córrego Novo	45,7	37,4	1,0	0,0	0,4	15,5	0,0	100
13	Dionísio	51,6	14,2	0,0	7,2	13,9	10,0	3,1	100
14	Fernandes Tourinho	20,6	61,9	0,0	4,0	1,7	9,3	2,5	100
15	Galiléia	31,4	15,3	0,0	11,0	14,2	12,4	15,8	100
16	Governador Valadares	2,5	26,2	0,1	15,2	26,1	9,8	20,0	100
17	Iapú	19,9	22,2	0,0	17,1	20,9	8,7	11,2	100
18	Ipaba	23,4	21,6	0,0	16,1	17,4	15,7	5,9	100
19	Ipatinga	0,0	37,3	0,0	11,6	18,7	8,0	24,4	100
20	Itueta	53,2	14,5	1,4	3,9	5,3	20,0	1,8	100
21	Marliéria	40,7	14,4	0,0	5,8	8,8	27,3	3,0	100
22	Naque	47,8	15,4	0,0	8,5	10,8	17,5	0,0	100
23	Periquito	38,9	30,4	0,0	6,0	3,6	18,2	2,9	100
24	Pingo D'Agua	9,5	22,6	0,0	13,6	4,3	44,3	5,7	100
25	Raul Soares	42,2	15,0	0,0	10,8	14,1	9,0	8,9	100
26	Resplendor	13,5	34,5	0,0	14,2	18,0	16,5	3,3	100
27	Rio Casca	36,2	18,0	0,0	11,9	18,1	10,2	5,6	100
28	Santana do Paraíso	1,3	32,9	0,0	11,0	9,3	11,8	33,6	100
29	São Domingos do Prata	11,5	42,9	0,0	12,3	11,6	12,7	8,9	100
30	São José do Goiabal	57,6	11,6	0,0	6,0	9,2	10,8	4,9	100
31	São Pedro dos Ferros	26,8	33,8	0,0	13,4	6,4	15,1	4,5	100
32	Sem-Peixe	65,0	9,4	0,0	0,0	0,2	23,0	2,4	100
33	Sobralia	28,9	18,3	0,0	8,9	7,3	29,4	7,2	100
34	Timóteo	0,0	39,5	0,0	10,3	16,9	11,6	21,7	100
35	Tumiritinga	61,3	9,3	0,0	7,0	3,1	16,5	2,9	100
37	Itabira	0,2	5,7	28,0	11,1	20,6	7,2	27,2	100
38	Nova Lima	0,0	11,1	18,8	5,7	30,7	10,5	23,1	100
39	Congonhas	0,0	7,3	24,5	9,4	17,2	13,7	27,9	100
40	Itabirito	0,1	13,1	25,5	10,3	11,7	10,2	29,2	100
41	São G. do Rio Abaixo	0,1	18,6	31,8	2,9	15,8	25,7	5,0	100
42	Ouro Preto	0,1	15,5	6,3	9,3	25,6	14,7	28,5	100
43	C. do Mato Dentro	4,6	5,9	11,2	5,4	20,6	10,0	42,3	100
44	Brumadinho	0,2	3,8	22,3	5,7	14,3	34,4	19,3	100
45	Belo Vale	8,1	7,9	61,3	4,9	7,4	8,1	2,2	100
46	Barão de Cocais	0,1	40,5	16,5	11,4	15,6	11,2	4,6	100
47	Catas Altas	0,9	20,2	23,6	6,3	7,4	30,5	11,2	100
48	Rio Piracicaba	0,4	25,9	11,9	11,7	20,0	20,8	9,3	100
49	Santa Bárbara	1,0	20,7	25,2	9,1	13,9	7,9	22,2	100

Fonte: Elaboração própria. Base de dados do modelo DamAge.

O padrão apresentado pelos municípios diretamente atingidos (basicamente, os primeiros 35 da Tabela 6) é, essencialmente, de forte presença da agricultura, pecuária e serviços públicos. Essa

característica será determinante na forma como esses municípios absorvem os impactos diretos do desastre, sofrendo perdas de áreas de pasto, plantações, morte de animais etc, discutido posteriormente.

Observa-se também que, dos cinco municípios de maior PIB (61%) citados anteriormente, apenas Ipatinga não possui a produção de minério de ferro como importante parcela do seu PIB. Entretanto, Ipatinga possui destacada participação da indústria, derivada principalmente da siderurgia, atividade que está fortemente relacionada a exploração de minério por parte de outras regiões.

Como discutido anteriormente, seja direta ou indiretamente, a mineração é bastante presente na região, de modo que, é difícil discutir sobre a desigualdade regional em termos de PIB na região sem passar pela atividade mineradora, e a análise através da base de dados gerada só corrobora com o destacado peso que a atividade exerce e sua importância para a distribuição regional do PIB.

As oscilações da atividade minerária, destacadamente, exercem grande impacto sobre a economia dos municípios como um todo, pois, além da grande parcela da atividade na produção total de Mariana e outros municípios, é uma atividade com expressivo efeito multiplicador sobre a economia da região, transbordando para o Estado de Minas Gerais.

Para se ter noção mais clara da magnitude desse multiplicador pode-se estima-lo por meio do multiplicador de renda tipo II de insumo-produto (BRADLEY; GANDER, 1969). Aplicando-o de maneira análoga no Modelo DamAge, obteve-se para cada R\$1,00 de queda na produção de minério em Mariana, a queda de R\$1,37 no PIB total do município e R\$1,44 no PIB total do Estado de Minas Gerais.

Esses valores se tornam ainda mais relevantes quando se leva em conta o fato de seu cálculo ter sido realizado através de um modelo flexível com mecanismos de ajuste via mercado e preços, de modo que, se o multiplicador fosse gerado por um modelo rígido de insumo-produto tradicional, os multiplicadores tenderiam a apresentar números ainda maiores.

Os efeitos de choques sobre a produção podem ser capturados por diversos indicadores, com origem no PIB pelo lado da demanda ou pelo lado da oferta. Nesse sentido, o conhecimento da composição dos fatores de produção do modelo contribui na interpretação dos resultados das simulações. Regiões onde a remuneração do capital tem parcela destacada, por exemplo, indica

forte presença de atividades capital-intensivas, tornando os indicadores de emprego e consumo das famílias menos sensíveis a choques sobre a produção.

A análise do PIB pelo lado da renda, apresentado na Tabela 7, aponta como é distribuída a composição dos fatores primários nas regiões, isso é, terra, capital, trabalho e impostos²⁰. Em comparação com o restante do Brasil, que apresenta remuneração do fator terra, trabalho e capital correspondendo a 0,11, 44,4 e 41,1%, respectivamente, os municípios que compõem o modelo apresentam remuneração do fator terra, trabalho e capital correspondendo a 0,01, 43,8 e 47,1%.

O diferencial sobre o fator capital fica ainda mais evidente quando avalia-se municípios mineradores. Segundo a base de dados, a média de participação no PIB do fator capital dos cinco maiores mineradores²¹ é 51,12%, bem acima do valor gerado para o resto do país (41,1%), indicando a característica capital-intensiva da atividade mineradora.

²⁰ Os dados sobre impostos são gerados através do procedimento de regionalização, de modo que não são reunidos de fontes externas.

²¹ Em ordem de participação correspondem a: Nova Lima, Itabira, Mariana, São Gonçalo do Rio Abaixo e Itabirito. Segundo as participações regionais na produção total de minério de ferro pelos municípios considerados no Modelo DamAge geradas através base de dados e indicadas na Tabela 22, do APÊNDICE B.

Tabela 7 – Participação dos fatores no PIB por município (%).

Nº	Região	Terra	Trabalho	Capital	Impostos	Total
1	Barra Longa	0,70	42,5	45,0	11,9	100
2	Mariana	0,01	41,2	50,7	8,1	100
3	Rio Doce	0,27	56,4	33,8	9,5	100
4	Santa Cruz do Escalvado	1,31	33,6	54,3	10,8	100
5	Aimorés	0,20	52,3	37,4	10,1	100
6	Alpercata	0,51	49,3	41,8	8,4	100
7	Belo Oriente	0,01	51,0	35,8	13,2	100
8	Bom Jesus do Galho	0,85	41,4	48,6	9,2	100
9	Bugre	0,66	42,3	49,8	7,3	100
10	Caratinga	0,15	45,0	39,4	15,4	100
11	Conselheiro Pena	0,83	37,6	45,8	15,8	100
12	Córrego Novo	0,99	42,5	48,6	7,9	100
13	Dionísio	0,46	30,9	59,6	9,1	100
14	Fernandes Tourinho	0,57	46,2	39,9	13,3	100
15	Galiléia	0,50	45,8	41,3	12,4	100
16	Governador Valadares	0,04	40,8	41,3	17,9	100
17	Iapú	0,33	38,0	49,7	12,0	100
18	Ipaba	0,26	39,7	45,2	14,9	100
19	Ipatinga	0,00	47,8	40,6	11,6	100
20	Itueta	1,22	40,0	50,3	8,5	100
21	Marliéria	0,63	46,1	44,6	8,6	100
22	Naque	0,69	40,6	43,9	14,8	100
23	Periquito	0,48	34,4	45,5	19,6	100
24	Pingo D'Agua	0,17	61,1	27,9	10,8	100
25	Raul Soares	0,85	35,6	50,1	13,4	100
26	Resplendor	0,26	48,6	33,2	17,9	100
27	Rio Casca	0,69	40,7	44,9	13,6	100
28	Santana do Paraíso	0,02	46,6	40,4	13,0	100
29	São Domingos do Prata	0,31	45,2	37,8	16,7	100
30	São José do Goiabal	0,57	30,0	57,1	12,4	100
31	São Pedro dos Ferros	0,69	43,7	41,5	14,1	100
32	Sem-Peixe	1,13	40,5	51,3	7,1	100
33	Sobralia	0,47	52,4	36,2	10,9	100
34	Timóteo	0,00	49,4	39,7	10,8	100
35	Tumiritinga	0,95	42,0	47,6	9,4	100
37	Itabira	0,01	34,6	57,4	8,0	100
38	Nova Lima	0,00	42,9	48,8	8,3	100
39	Congonhas	0,00	41,1	50,7	8,2	100
40	Itabirito	0,01	39,7	51,4	8,9	100
41	São Gonçalo do Rio Abaixo	0,00	45,0	47,4	7,6	100
42	Ouro Preto	0,00	50,7	39,7	9,6	100
43	Conceição do Mato Dentro	0,06	37,4	50,8	11,8	100
44	Brumadinho	0,00	51,9	40,8	7,3	100
45	Belo Vale	0,20	25,1	67,2	7,5	100
46	Barão de Cocais	0,00	42,6	47,5	9,9	100
47	Catas Altas	0,02	49,1	43,4	7,5	100
48	Rio Piracicaba	0,01	51,4	40,1	8,5	100
49	Santa Bárbara	0,01	35,5	54,7	9,7	100
	Total	0,01	43,8	47,1	9,1	100

Fonte: Elaboração própria. Base de dados do modelo DamAge.

O comércio também se constitui como importante indicador na captura dos efeitos de choques produtivos e dos meios de distribuição regional dos impactos. Nesse sentido, como descrito na seção 4.2.1, no decorrer do procedimento computacional para regionalização é gerada a matriz de comércio que será a base para as projeções dos impactos de choques sobre fluxos comerciais.

A Matriz de comércio inter-regional gera para cada produto, seja ele doméstico ou importado, uma matriz região x região (no caso do Modelo DamAge, 53x53), na qual as linhas representam a origem do produto, as colunas o destino de uso e os elementos da diagonal a produção consumida localmente. Para isso é realizado uma série de cálculos baseados no método gravitacional, no qual o volume de comércio é inversamente proporcional à distância entre as regiões que compõe tal fluxo. A principal hipótese da abordagem gravitacional²² é que o comércio inter-regional está baseado na distância entre as regiões e na interação derivada do tamanho de suas economias.

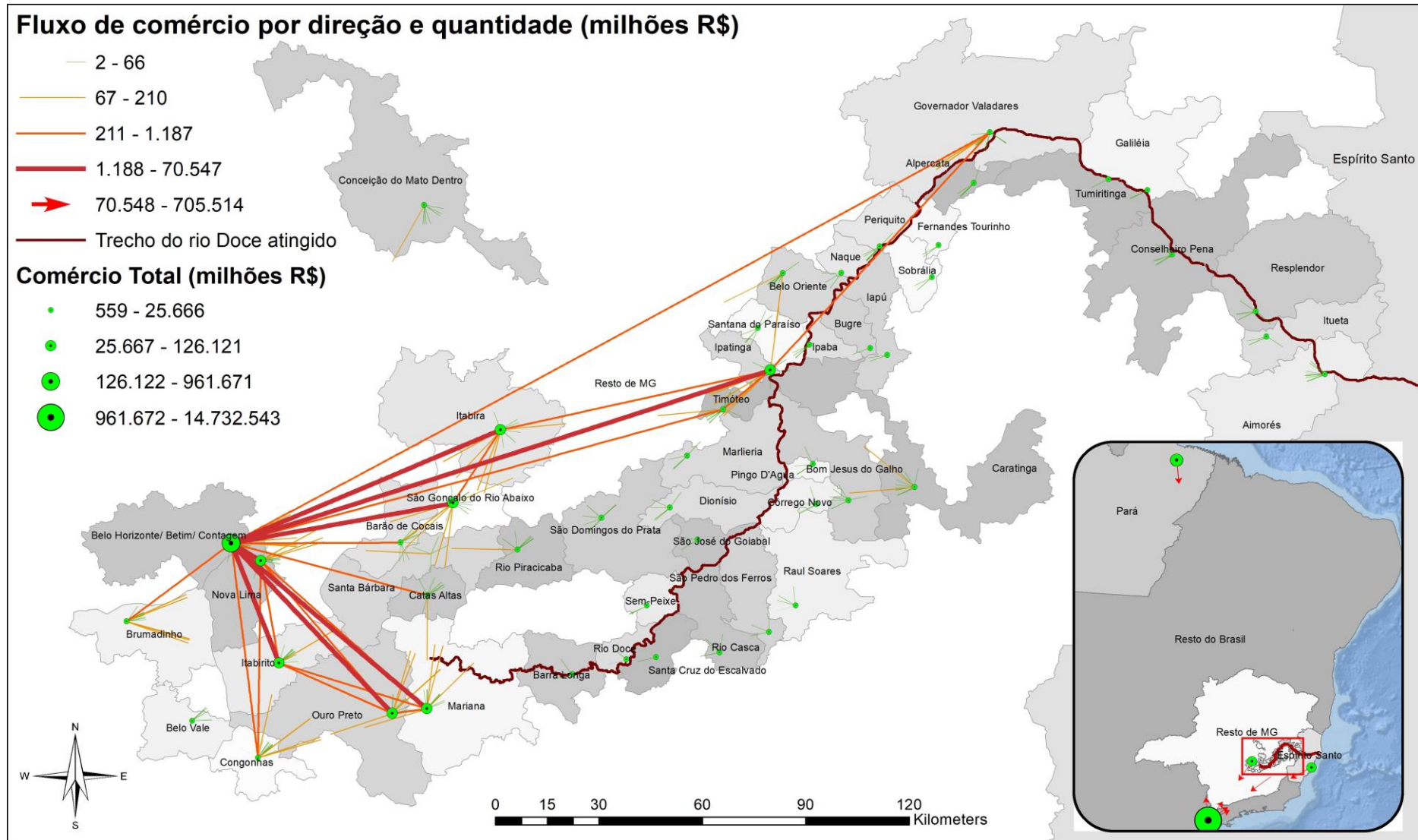
Dados descritos no processo de regionalização como a matriz de distâncias, dados de produção por produto e região, população por região e importação nacional por produto e porto de entrada, são utilizados no cálculo da matriz de comércio, bem como métodos de correção e consistência descritos mais detalhadamente em Horridge (2012). Os resultados das projeções de comércio por meio da Matriz de comércio para o Modelo DamAge estão representados na Figura 23.

Nota-se que, embora o Espírito Santo seja considerado e desagregado na projeção de comércio, os municípios a jusante do trecho atingido do rio Doce tem o fluxo comercial proeminente no sentido dos municípios que compõe parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Além disso, segundo a base de dados, Mariana apresenta fluxo regular não só com os municípios da RMBH, como também no sentido dos municípios atingidos diretamente pelo desastre.

O conhecimento dos níveis de interação comercial entre as regiões consideradas pelo modelo também se faz útil na interpretação dos resultados. Maior presença de fluxos comerciais tendem a potencializar a distribuição de impactos diretos através de impactos indiretos via comércio.

²² Uma difundida justificativa teórica à ideia de que os fluxos bilaterais de comércio dependem positivamente da renda das regiões e negativamente da distância entre elas baseia-se em um modelo de comércio desenvolvido por Krugman (1980). Maiores detalhes do método e algumas aplicações podem ser encontrados em Miller e Blair (2009).

Figura 23 – Oferta de comércio por volume e direção no Modelo DamAge.



Fonte: Elaboração própria. Baseado nos dados da matriz de comércio TRADE do Modelo DamAge.

5 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Este capítulo descreve a estratégia de simulação utilizada com o Modelo DamAge, bem como os resultados obtidos. O objetivo principal é estimar os impactos negativos do desastre no curto e médio prazo, sob diferentes hipóteses de retomada das atividades de mineração na região.

Antes de adentrar no mérito das simulações e resultados, faz-se necessário esclarecer alguns pontos de terminologia de maneira mais rigorosa, entre eles, o que aqui é considerado como impacto direto e indireto.

O presente trabalho segue a tipologia indicada em Bradshaw (2003), na qual *impacto direto* e *impacto indireto* são dos não apenas pelo fator tempo, mas também pela natureza fixa ou flexível das variáveis atingidas de modo que, de maneira simplificada, considera-se como impacto direto apenas os efeitos imediatos sobre ativos fixos. Sendo os efeitos imediatos em variável fluxo e efeitos precedentes em variável fixa ou fluxo, considerados como impactos indiretos.

São considerados impactos diretos aqueles sobre capital e ativos fixos, incluindo estoques. Ou seja, as perdas imediatas incorridas pela destruição de máquinas e equipamentos, matérias primas, estruturas, além da mortalidade e morbidade, podem ser consideradas exemplos de impactos diretos.

Impactos indiretos são as perdas geradas pelas interrupções ou comprometimentos da cadeia produtiva de bens e serviços, abrangendo inclusive as transformações da estrutura produtiva regional em decorrência do evento. Desse modo, os impactos indiretos abrangem todos os custos adicionais decorrentes das perdas diretas, submetendo a região atingida a uma adaptação de suas atividades ao novo cenário de recursos disponíveis e ao uso de insumos de maior custo e/ou menor produtividade quando comparados aos utilizados anteriormente. Isso faz com que o efeito duplo do aumento do custo dos bens locais aliado ao possível comprometimento de parte da renda (desemprego), apesar da possível injeção de recursos com a reparação de prejuízos, leve a um novo equilíbrio econômico regional.

A apresentação das simulações e resultados está dividida em três seções principais. A primeira é responsável pela exposição dos cenários adotados e vetores de choques das simulações,

enquanto a segunda e a terceira apresentam os resultados regionais, com foco no município de Mariana e demais afetados, e agregados, para o estado de Minas Gerais como um todo.

5.1 Estratégia de Simulação

O Modelo DamAge permite o tratamento temporal das simulações de maneira explícita. Isso se deve ao mecanismo de dinâmica recursiva incorporada no modelo que identifica o horizonte temporal necessário para que as variáveis endógenas se ajustem diante dos choques colocados.

Entretanto, a escolha do horizonte temporal adotado nas simulações deve levar em conta também a natureza e magnitude dos choques aplicados pois, como ressaltado em Hewings, Shangnon e Dridi (2000), análises com horizonte de tempo demasiadamente extenso podem ocultar ou reduzir a relevância dos efeitos negativos de desastres devido a característica pontual dos impactos diretos.

Nesse sentido, com o intuito de captar os efeitos setoriais e regionais nos anos seguintes ao evento, foi adotado nas simulações um período de cinco anos (2016-2020). Sobre esses cinco anos, foi adotado um cenário base de trajetória econômica e choques decorrentes do desastre em Mariana.

5.1.1 Cenário Base

O cenário base pode ser interpretado como o cenário que indica o quadro econômico no qual os choques exógenos irão incidir, ou seja, é o cenário que tenta reproduzir a trajetória da economia sem o desastre, o qual será perturbado por esse evento.

No caso do presente trabalho, os choques adotados são os impactos diretos que correspondem as perdas e danos em variáveis econômicas de fluxo e estoque decorrentes do desastre. Em outras palavras, o cenário base dessa simulação representa o quadro econômico hipotético caso não ocorresse o desastre, para cada ano de simulação.

Nos modelos EGC, denomina-se fechamento o conjunto de hipóteses de operacionalização do cenário base e cenário de política do modelo que, no caso dos que incorporam dinâmica recursiva como o Modelo DamAge, estão associados com a definição das variáveis exógenas e endógenas e ao horizonte temporal das simulações, ou seja, o período no qual se reportam os

resultados na trajetória rumo ao novo equilíbrio. As variáveis endógenas se ajustam ao longo do período de análise após os choques iniciais, tanto no cenário base (ou cenário de referência) quanto no cenário de política, que incluirão choques sobre o desastre em Mariana.

As simulações de cenário base utilizam um fechamento (escolha de variáveis) conhecido como “histórico”, em que os indicadores macroeconômicos representam os choques e variáveis naturalmente exógenas (como produtividade e participação do consumo na renda) tornam-se endógenas. Assim, o modelo calcula o valor das variáveis endógenas que gera o cenário base, e o passo seguinte é adotar estas como exógenas e computar o cenário efetivamente. A relação de variáveis do fechamento de cenário base encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Relação de variáveis do fechamento de Cenário Base.

Fechamento Base	
Variáveis exógenas do PIB real (lado da oferta)	
x1lnd	Dotação de terra por setor
rnorm	Taxa de retorno bruta
gtrend	Taxa bruta de retorno setorial tendencial
acap aprimtot aprim_i a1lab_o alnd a1tot atradmar_cs blab_o bint_scd blab_oid	Mudanças tecnológicas
Variáveis exógenas do PIB real (lado do gasto)	
x3toth	Gasto agregado no consumo privado real por família
x2tot_i	Gasto agregado no investimento real
x4	Demanda por exportações
x5tot	Gasto agregado no consumo real do governo
f5	Distribuição das demandas do governo
fx6	Demandas reais por estoques
Condições externas: preços das importações fixos; curvas de demanda por exportações fixas no preço e quantidade	
pf0cif	Preços externos das importações
f4p f4q	Deslocamento das Exportações setoriais
fpexp	Preços das exportações
fqexp fqexp_cs	Quantidade das exportações
Impostos são exógenos	
delPTXRATE delUnity	
Investimento	
finv1	Investimento relacionado a lucros
frnorm frnorm_id	Taxa bruta de retorno normal
invslack	Investimento agregado determinado pelas configurações do investimento setorial
gtrend	Tendência da razão investimento/capital
Número de famílias e preferências no consumo	
q	Número de famílias
a3_s	Preferências das famílias por bens
houslack	Hiato no consumo para acomodação da restrição nacional
Governo	
fgovgen	Consumo do governo
fgovgen fgovtot fgov_s	Deslocamento total da demanda governamental
Mercado de trabalho	
flab_io flab_iod	Salário nacional
Numerário	
phi	Taxa nominal de câmbio

Fonte: Elaboração própria. Baseado em Magalhães (2013).

Como o Modelo DamAge possui base de dados para o ano de 2013, para a construção do cenário base foram utilizados os dados observados para os principais indicadores macroeconômicos

apresentados nos anos anteriores ao desastre (2014 e 2015) do IBGE, e projeções de crescimento econômico para os anos subsequentes, de 2016 a 2020, com base nas projeções para o PIB feitas pelo Banco Central (BCB, 2016). A Tabela 9 apresenta as variações percentuais adotadas.

Deve-se ressaltar que o cenário base não tem papel significativo no que se quer calcular nesta dissertação, que é o desvio (impacto) do desastre. Como aponta a literatura (HORRIDGE, 2012), dada a forma de solução dos modelos EGC do tipo Johansen, o efeito de desvio de choques em variáveis exógenas independe do cenário base estipulado, se os fechamentos forem corretamente formulados.

Tabela 9 – Valores adotados para a construção do Cenário Base, 2014-2020 (var. % real).

Indicadores para economia brasileira	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PIB	-0,75	-3.72	-3.87	0.53	1.64	2.06	2.18
Consumo das Famílias	1,3	-4	-3.87	0.53	1.64	2.06	2.18
Consumo do Governo	1,2	-1,05	-3.87	0.53	1.64	2.06	2.18
Investimento	-4,5	-14.1	-3.87	0.53	1.64	2.06	2.18
Exportações	-1,1	-6.09	-3.87	0.53	1.64	2.06	2.18

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do BCB (2016) e IBGE (2016).

As taxas de crescimento implementadas no cenário base geraram projeções bem uniformes entre as regiões do modelo, acompanhando as taxas nacionais adotadas, como pode ser observado na Tabela 10. As projeções regionais dos outros indicadores adotados no cenário base encontram-se na Tabela 24 do APÊNDICE B.

Tabela 10 – Resultados do Cenário Base sobre o PIB nas regiões consideradas pelo modelo DamAge (var. % acumulada, 2014-2020).

Nº	Região	PIB 2014 - 2020	Nº	Região	PIB 2014 - 2020
1	Barra Longa	1,67	28	Santana do Paraíso	1,84
2	Mariana	1,04	29	São Domingos do Prata	2,04
3	Rio Doce	1,87	30	São José do Goiabal	2,79
4	S. Cruz do Escalvado	2,57	31	São Pedro dos Ferros	2,6
5	Aimorés	2,45	32	Sem-Peixe	1,85
6	Alpercata	1,84	33	Sobralia	1,75
7	Belo Oriente	1,61	34	Timóteo	1,81
8	Bom Jesus do Galho	2,52	35	Tumiritinga	1,3
9	Bugre	2,05	36	Belo H./Betim/Contagem	1,75
10	Caratinga	2,42	37	Itabira	1,24
11	Conselheiro Pena	2,67	38	Nova Lima	1,28
12	Córrego Novo	2,59	39	Congonhas	1,45
13	Dionísio	3,18	40	Itabirito	0,69
14	Fernandes Tourinho	2,17	41	São Gonçalo do Rio	1,5
15	Galiléia	1,51	42	Ouro Preto	0,32
16	Governador Valadares	2,23	43	Conceição do Mato	1,5
17	Iapú	3,28	44	Brumadinho	1,7
18	Ipaba	2,65	45	Belo Vale	1,13
19	Ipatinga	1,44	46	Barão de Cocais	2,26
20	Itueta	2,72	47	Catas Altas	1,41
21	Marlândia	2,24	48	Rio Piracicaba	1,73
22	Naque	1,75	49	Santa Bárbara	1,52
23	Periquito	2,52	50	Resto de Minas Gerais	2,27
24	Pingo D'Água	2,3	51	Pará	1,41
25	Raul Soares	2,8	52	Espírito Santo	2,03
26	Resplendor	2,14	53	Resto do Brasil	2,56
27	Rio Casca	1,96			

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

5.1.2 Simulação de Impacto do Desastre

Visto que o principal objetivo desta dissertação é analisar os efeitos econômicos do desastre numa abordagem regional, o presente trabalho fica dependente não só de dados que ofereçam indicadores quantitativos das perdas e danos por região e setor, como também dos dados de representatividade econômica dessas perdas e danos nos fluxos e/ou estoques do cenário pré-desastre.

Diante disso, foi feito um esforço no sentido de reunir dados apontando valores absolutos de perdas e danos que, através da base de dados do modelo, possam ser convertidos em participações nos fluxos e/ou estoques do cenário econômico anterior ao desastre. Em outras palavras, além da disponibilidade de informações sobre prejuízos imediatos do desastre, a elaboração dos choques para as simulações também demandou uma compatibilização dessas informações com a base de dados do modelo, e com variáveis que pudessem captar mais adequadamente o tipo de impacto observado.

A esse respeito uma particularidade é o setor de pesca. Apesar do Modelo DamAge possuir o setor desagregado, a pesca é uma atividade com grande componente informal, sobretudo em municípios pequenos como aqueles incluídos no modelo que compõe a região ao longo do trecho abarcado pelo rio Doce. Isso faz com que a parcela da produção de pesca para esses municípios seja subestimada, potencialmente comprometendo a consistência das projeções.

Além disso, a pesca foi proibida em toda a bacia do rio Doce nos limites do Estado de Minas Gerais a partir de novembro de 2016 (FLORESTAS, 2016). A medida tem forte relação com o fenômeno que a literatura tem denominado como “*fear fator*”, discutido na seção 3.4, que se refere ao obstáculo que se coloca para a modelagem em consequência de mudanças repentinas na demanda por produtos (principalmente alimentos) provenientes de regiões atingidas por desastres, devido particularmente ao receio de contaminação desses produtos por parte dos agentes. Sendo assim, optou-se por não explorar o setor de pesca nos resultados.

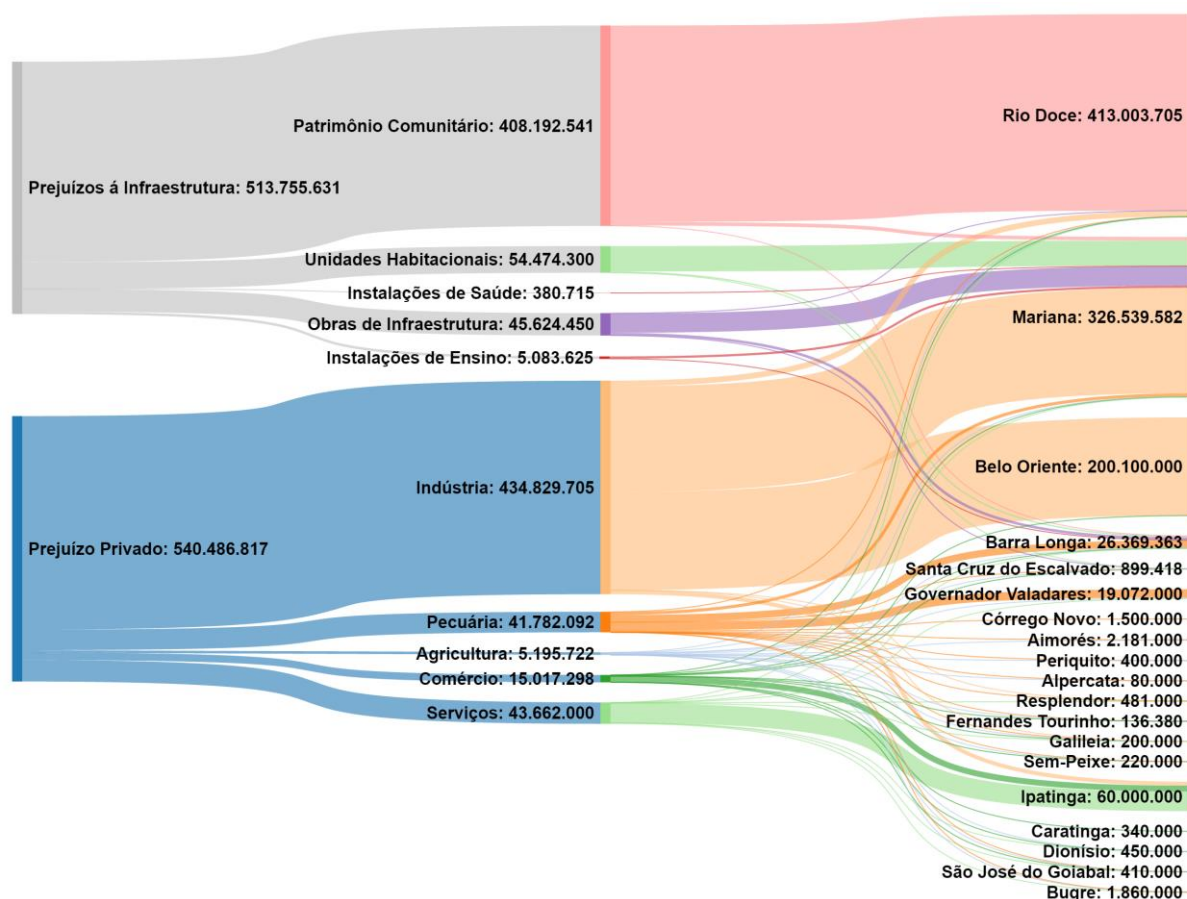
Isto posto, os dados selecionados que compõe os choques do desastre para as simulações foram construídos tomando como base principal as seguintes informações oficiais:

- a) Prejuízos privados reportados no relatório da Força Tarefa composta por representantes de órgãos e entidades do Estado e de municípios afetados, produzidos pelo Governo de Minas Gerais (SEDRU/MG (2016)).
- b) Impacto do desastre no recolhimento de impostos no município de Mariana reportados pela prefeitura do município.
- c) Variação da produção de minério no município de Mariana-MG obtidos do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), além do comportamento da produção nas demais regiões mineradoras do estado e do país.

Os dados referentes aos impactos diretos foram obtidos através dos prejuízos privados em escala micro e macrorregional reportados em SEDRU/MG (2016). Esse relatório foi produto da Força Tarefa instituída pelo Governo do Estado de Minas Gerais que, dentre outros objetivos, teve como propósito o levantamento de dados e emissão de relatórios sobre os impactos do desastre.

As informações nele publicadas são fruto da consolidação de diversos dados reportados por outros relatórios técnicos independentes que envolvem não só dados sobre danos materiais, mas também ambientais e humanos. O relatório decompõe os impactos diretos em prejuízos a infraestrutura e prejuízos privados²³, representados na Figura 24.

Figura 24 – Representação visual da distribuição dos prejuízos por segmento/setor e município (R\$ de 2015).



Fonte: Elaboração própria. Baseado nos dados de SEDRU/MG (2016).

²³ Também são reportados pelo relatório danos econômicos de menor escala relacionados a ações temporárias de natureza emergencial como assistência médica emergencial, limpeza urbana etc. Esses dados não foram aproveitados para a construção dos choques devido a incompatibilização com a base de dados do modelo.

Segundo SEDRU/MG(2016), os prejuízos privados foram desagregados por setores considerando:

- i) Agricultura: Danos relacionados à perda de plantação e máquinas e equipamentos agrícolas (tratores, caminhões, entre outros);
- ii) Pecuária: Morte de animais e perda de infraestrutura de apoio (curral, galinheiro, pastagens, entre outros);
- iii) Indústria: Impacto direto sobre o faturamento da Samarco e Usina Hidrelétrica Risoleta Neves;
- iv) Comércio: Danos à pequenos comerciantes e;
- v) Serviços: Prejuízos relacionados ao turismo (pousadas, hotéis, entre outros).

Calculou-se a participação desses valores deflacionados para o ano de 2013 (ano base do Modelo DamAge), tomando como referência a mesma divisão setorial, sobre o estoque de capital setorial-municipal da base de dados do Modelo DamAge, gerando os choques sobre a produtividade do capital, indicados na Tabela 11.

Tabela 11 – Choques sobre a produtividade do capital por setor e município decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG (var. %).

Município	Agricultura	Pecuária	Indústria	Comércio	Serviços
Mariana	-5,38	-8,86	-0,84	-0,01	0
Barra Longa	-7,8	-54,69	0	-15,54	-6,2
Rio Doce	-16,65	-4,87	-100*	-6,49	-4,93
Santa Cruz do Escalvado	-0,58	-0,48	0	-31,11	-12,73
Aimorés	-0,96	-1,67	0	0	-0,1
Alpercata	-2,34	-0,08	0	0	-2,43
Belo Oriente	0	0	-9,25	-0,01	-0,01
Bugre	-1,43	-0,08	0	0	-14,74
Caratinga	0	0	0	-0,09	-0,06
Córrego Novo	0	-11,35	0	0	-27,85
Dionísio	-1,18	0	0	-3,11	-2,59
Fernandes Tourinho	-0,7	-0,47	0	-0,9	-12,33
Galileia	-0,83	-0,21	0	-0,65	-2,41
Governador Valadares	-12,44	-6,38	0	0	-0,01
Ipatinga	0	0	-0,09	-0,15	0
Periquito	-2,17	-0,33	0	0	-3,99
Resplendor	0	-0,03	-0,82	0	-0,44
São José do Goiabal	-0,03	-0,09	0	-0,28	-1,37
Sem-Peixe	-0,76	-0,38	0	-100*	-24,5

*Refere-se à prejuízos reportados com valores superiores àqueles do estoque de capital contidos na base no Modelo DamAge, nesses casos, foram considerados como 100% de perda.

Fonte: Elaboração própria com base nas informações da SEDRU/MG(2016) e base de dados do modelo DamAge.

Com o propósito de captar nas simulações não só os impactos da queda da produção minerária verificada no município de Mariana como também os efeitos da realocação da produção para as outras regiões, considerou-se nas simulações, além de uma queda de 100% da produção no município de Mariana, um aumento homogêneo nas demais regiões de 9,2%, de modo a manter a produção nacional de minério constante. Esta foi estimada a partir da base de dados do modelo, no qual a participação da produção minerária de Mariana representava 9,2% do total nacional. Esta hipótese de efeito zero sobre a produção mineradora nacional é baseada nos dados e estimativas de 2016, que já mostravam que não houve efeito significativo do desastre na produção nacional, e também na produção de Minas Gerais.

Vale ressaltar que, apesar de tratar-se de uma realocação produtiva homogênea em termos percentuais, em regiões onde a produção de minério de ferro é mais presente o aumento de 9,2% representa em termos absolutos valores superiores àquelas onde a produção de minério de ferro é pequena ou inexistente. Desse modo, permite avaliar a relação ganho/perda de um provável

redirecionamento do volume produzido até então em Mariana para outras regiões de maneira proporcional ao grau de participação dessas regiões na produção de minério nacional.

A paralização da produção em Mariana não implicou queda imediata no pagamento de renda aos trabalhadores. Embora uma parcela dos empregados tenham aderido a pacotes de demissão voluntária²⁴, até o final de 2016 a maior parte permanecia em férias remuneradas ou alocados para outras funções, algumas delas envolvendo inclusive a reparação de danos decorrentes do desastre (EXAME, 2016; G1, 2016). Ou seja, o quadro econômico que se coloca é a suspensão da produção de minério de ferro no município simultaneamente à permanência dos fatores de produção e seus custos na região.

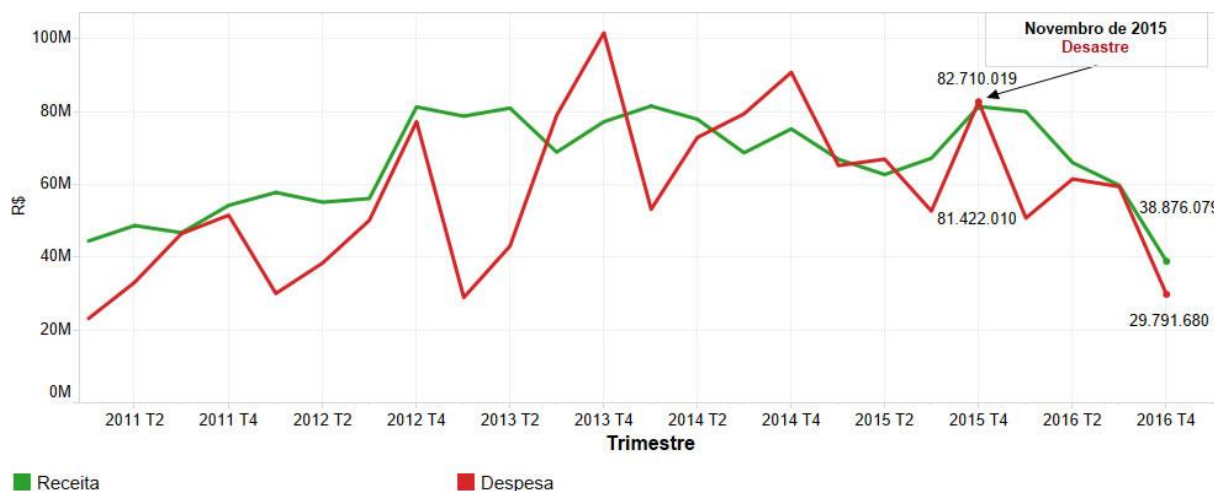
Desse modo, uma vez que os custos do fator trabalho, capital e terra tendem a se manter constantes apesar da interrupção da produção, implementar a queda de produção nas simulações através de um choque negativo sobre a produtividade do setor de mineração em Mariana permite que o modelo capture os efeitos da queda da produção paralelamente a manutenção dos custos.

Em outras palavras, o objetivo desse choque que impõe queda de 100% sobre a produtividade do setor em Mariana é captar de maneira mais precisa os efeitos da interrupção da produção de minério de ferro apesar da manutenção dos custos sobre os fatores de produção, sobretudo o pagamento da renda do trabalho. Entretanto, como discutido em 2.2.3, a produção de minério tem papel destacado no orçamento municipal de Mariana por meio da arrecadação de CFEM e ICMS e, dado que os gastos do governo são exógenos no modelo, os impactos da suspensão da produção sobre as despesas municipais não são capturados.

Diante disso, visando incorporar os efeitos da paralização do setor minerário sobre as receitas e despesas da prefeitura no município de Mariana, foi considerado na construção dos choques a queda de arrecadação divulgada pela prefeitura de Mariana no período pós-desastre. A Figura 25 ilustra a trajetória trimestral de receitas e despesas no município de Mariana para o período de 2011 a 2016.

²⁴ Os funcionários que aderiram a demissão voluntária, o fizeram em acordo que estabelece o recebimento de remuneração em função do tempo de vínculo do funcionário com a empresa e outros critérios, de modo que, mesmo nesses casos, o pagamento de renda dos trabalhadores não é suspenso imediatamente.

Figura 25 – Receita e despesa trimestral da prefeitura do município de Mariana no período de 2011 a 2016 (R\$).



Fonte: Elaboração própria. Dados da Prefeitura do município de Mariana.

Nesse sentido, com o intuito de capturar os efeitos setoriais e regionais desse encolhimento da receita e despesa do governo, adotou-se um choque de 40% de queda no consumo do governo no município de Mariana para o ano de 2016.

Além disso, incluiu-se como cenário alternativo uma possível retomada da produção da atividade minerária em Mariana no ano de 2018, hipótese bastante factível diante das sucessivas tentativas de acordo por parte da Samarco S/A para retomada da produção no município (BLOOMBERG, 2017; EXAME, 2016b; REUTERS, 2016) O objetivo desse cenário é projetar a capacidade endógena de recuperação do município em caso de reativação de sua principal atividade econômica pré-desastre, bem como os reflexos sobre outros setores e regiões.

Em síntese, os choques adotados para o cenário de desastre sem retomada da produção de minério em Mariana são:

- a) Perda de estoque de capital em diversas atividades e municípios afetados pelo desastre;
- b) Redução de 100% da produção de minério de ferro no município de Mariana;
- c) Redução de 40% dos gastos do governo no município de Mariana;

Para o cenário de retomada da produção de minério por parte de Mariana, acrescentou-se:

- d) Retomada de 100% da produção de minério de ferro no município de Mariana a partir de 2018;

Dado que todos os cenários incluem os choques adotados para o cenário base (CB), pode-se simplificar a estrutura de simulação como:

$$\text{Cenário sem retomada} = \text{CB} + (a) + (b) + (c)$$

$$\text{Cenário com retomada} = \text{CB} + (a) + (b) + (c) + (d)$$

A Tabela 12 apresenta a alocação dos choques no decorrer do período de 2014 a 2020 adotados nas simulações.

Tabela 12 – Alocação dos choques nas simulações, decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG 2014-2020 (%).

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Choques do Cenário Base (CB)	X	X	X	X	X	X	X
Perda de estoque de capital (a)			X				
Queda da produção de minério (b)			X				
Queda do consumo do governo (c)			X				
Retomada da produção de minério (d)					X		

Fonte: Elaboração própria.

A adoção do ano de 2016 para a inclusão dos choques de perdas e danos se justifica pelo fato de o desastre ter ocorrido no mês de novembro de 2015. Parte dos choques só se materializam com mais intensidade nos dados oficiais a partir de 2016, tal como a queda da produção e da arrecadação. Sendo assim, considerou-se como primeiro ano de incidência completa dos impactos o de 2016.

Em razão da necessidade de compatibilização dos dados divulgados com a base de dados do modelo e, sobretudo, do objetivo da presente pesquisa em avaliar a distribuição regional dos impactos econômicos do desastre de Mariana, outras informações reportadas em SEDRU/MG (2016) e publicações de órgãos públicos e institutos de pesquisa, como dados de impactos ambientais e humanos, não foram aproveitados para a elaboração dos choques.

Dados os objetivos da simulação, no cenário de política optou-se por utilizar um fechamento que se adapta às hipóteses e aos dados e estimativas oficiais liberados até então: i) o consumo do governo é exógeno para o município de Mariana; ii) a produção setorial do minério de ferro em Mariana é exógena; iii) o investimento agregado é exógeno, com taxas de retorno endógenas; iv) o emprego é endógeno e o salário real é exógeno e; v) o consumo das famílias

segue a renda do trabalho. A Tabela 13 apresenta a relação de variáveis do fechamento de cenário de política.

Tabela 13 – Relação de variáveis do fechamento de Cenário de Política.

Fechamento de política	
Variáveis exógenas do PIB real (lado da oferta)	
xlnd	Dotação de terra por setor
gtrend	Taxa bruta de retorno setorial tendencial
acap aprimtot aprim_i a1lab_o alnd a1tot atradmar_cs	Mudanças tecnológicas
blab_o bint_scd blab_oid	
Condições externas: preços das importações fixas; curvas de demanda por exportações fixas no preço e quantidade	
pfimp	Preços externos das importações
fpexp	Preços das exportações
fqexp fqexp_cs	Quantidade das exportações
Impostos exógenos	
delPTXRATE delUnity	
Investimento	
finv1	Investimento relacionado a lucros
invslack	Investimento agregado determinado pelas configurações do investimento setorial
gtrend	Tendência da razão investimento/capital
Número de famílias e preferências no consumo	
q nhou	Número de famílias
Governo	
fgovgen	Consumo do governo
fgovgen fgov_s fgov_s	Deslocamento total da demanda governamental
Mercado de trabalho	
Labslack	Emprego nacional
flab_io flab_iod	Salário nacional
Numerário	
phi	Taxa nominal de câmbio
Produção, Investimento e Gasto do governo exógenos conforme objetivos da simulação	
xtot("Minério de Ferro")	Produção de minério de ferro
xinvtot	Investimento
fgovtot ("Mariana")	Gasto do governo
Resto Endógeno	

Fonte: Elaboração própria. Baseado em Magalhães (2013).

5.2 Resultados das Simulações: Impacto em Mariana e Municípios do Vale do Rio Doce

Nesta seção apresentam-se os resultados dos impactos econômicos do desastre baseados nos cenários descritos anteriormente, com foco regional. Inicialmente, reportam-se os resultados para o município de Mariana e, posteriormente, para as demais regiões. Além disso, a exposição é dividida entre os resultados obtidos para o cenário que conta com a retomada da produção minerária em Mariana no ano de 2018 e para o cenário sem a retomada da produção da Samarco S/A.

Na avaliação dos resultados do cenário com retomada, o foco está na comparação com relação ao cenário sem retomada, de modo a expor por meio dos indicadores econômicos obtidos nas projeções do Modelo DamAge a contribuição da volta da produção em Mariana para a recuperação econômica das regiões atingidas, umas das demandas do município de Mariana e em estudo pelos órgãos ambientais do Estado (IBAMA, 2015).

Com exceção dos resultados sobre a arrecadação, que representam valores monetários, as taxas de variação obtidas nos resultados para o município de Mariana indicam desvios em relação ao cenário base, isto é, qual o ganho ou perda gerados pelos impactos do desastre em relação a um cenário em que o desastre não ocorresse.

5.2.1 Município de Mariana

Principal município atingido pelos danos, Mariana sofre, a partir do final de 2015, não só com os danos diretos da interrupção de sua principal atividade produtiva, a mineração, como também pelos danos indiretos sobre arrecadação municipal e impactos negativos a montante e a jusante em outras atividades econômicas interdependentes da atividade minerária.

Diante da capacidade da modelagem em capturar esses efeitos setoriais de maneira interdependente, os resultados para a economia do município apresentam as projeções da evolução e transformação da composição do PIB municipal no tempo, bem como a trajetória do emprego, consumo das famílias e gasto do governo. Também são apresentados os impactos setoriais e sobre a arrecadação de tributos, tanto no cenário de não retomada da produção minerária como no cenário de retomada.

5.2.1.1 Cenário sem retomada da produção minerária em Mariana

A queda brusca da principal atividade de Mariana teria profundo reflexo sobre o PIB do município, apresentando uma queda de cerca de 50% em 2020, em relação ao cenário base. Assim, a economia do município apresentaria uma taxa de crescimento acumulada no período 2016-2020 cerca de 50% inferior, o que significa que o PIB municipal estaria em 2020 abaixo do nível observado em 2016.

No que se refere a trajetória impactada dos outros principais indicadores econômicos para o mesmo período, o emprego é o que apresenta menor impacto, como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos no município de Mariana-MG (var. % acumulada, 2016-2020).

Indicadores	2016-2020
Consumo das Famílias	-1,74
Emprego	-1,65
Exportações	-16,86
Consumo do Governo	-40,7
PIB	-49,85

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

A queda acentuada do gasto do governo em relação ao cenário base é basicamente o choque de -40% no consumo do governo adotado nas simulações que, somado aos choques de interrupção da produção minerária e perdas do estoque de capital devido aos danos do desastre, impactariam negativamente as exportações, e em menor magnitude sobre o consumo das famílias e emprego.

O impacto sobre o emprego pode ser atribuído principalmente a suspensão da produção de minério em Mariana e redirecionamento para outros municípios mineradores, pois, dado que o emprego nacional é fixo, os resultados captam o deslocamento de mão de obra entre as regiões. Sendo assim, os resultados apontam que, embora em menor escala, o impacto negativo do desastre sobre o emprego permanece em 2020, quando o emprego formal de Mariana apresenta-se 1,65% menor em relação ao cenário sem desastre.

A análise da contribuição dos principais indicadores no desvio acumulado do PIB deixa claro o importante papel das exportações regionais na queda do PIB do município, que representou -46,02% do desvio total acumulado no PIB de -49,85%. O minério de ferro desempenha

importante função na geração de divisas no município por meio do comércio com outras regiões, principalmente direcionado para o Espírito Santo para exportação internacional.

Os efeitos negativos também são verificados no âmbito setorial. A queda da produção de minério e do consumo do governo repercute sobre diversas atividades do município, com maior impacto sobre setores que estão mais relacionados direta ou indiretamente com a composição das perdas e danos reportados. A Tabela 15 apresenta o impacto setorial acumulado em 2020 em relação ao cenário base (desvio % acumulado).

Tabela 15 – Impacto sobre o nível de atividade setorial em Mariana decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG, 2016-2020 (desvio % acumulado).

Setores	2016	2017	2018	2019	2020
Agricultura	-4,68	-4,67	-4,65	-4,65	-4,67
Pecuária	-8,14	-8,14	-8,15	-8,16	-8,17
Indústria	-0,12	-0,1	-0,1	-0,12	-0,15
Eletricidade, gás e outras utilidades	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Água, esgoto e reciclagem	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
Construção	0,11	0,09	0,07	0,06	0,06
Comércio	-2,43	-2,34	-2,26	-2,22	-2,2
Transporte	-0,19	-0,18	-0,18	-0,17	-0,17
Serviços privados	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05
Aluguel efetivo	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Aluguel imputado	0	0	0	0	0
Serviços públicos	-1,98	-2,06	-2,07	-2,04	-1,98
Educação pública	-3,01	-3,06	-3,07	-3,05	-3,01
Saúde pública	-3,35	-3,4	-3,41	-3,39	-3,35

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

O impacto sobre os setores é bastante heterogêneo. Nota-se que alguns setores mantiveram-se em sua trajetória base sem apresentarem desvios negativos em decorrência dos choques adotados. Esse é o caso predominantemente de setores com menor registro de perdas e danos ou, reduzida interdependência com o setor de mineração e gasto do governo. Enquanto que os setores que sofreram mais impactos diretos, como os setores públicos, agricultura, pecuária e comércio, apresentam desvios negativos significativos em relação ao cenário base em 2020. Eletricidade e água se relacionam ao consumo das famílias, que cai muito pouco, assim como o emprego.

Dentre os setores mais impactados, embora agricultura e pecuária apresentem pouco peso para a economia do município (menos de 1%), o comércio e os setores públicos representam cerca

de 23% do PIB. Diante disso, os resultados indicam que numa possível elaboração de planos de recomposição econômica, esses setores são fortes candidatos a políticas de incentivo devido a sua relevância regional e reduzida capacidade de retomada sem incentivos externos.

5.2.1.2 Cenário com retomada da produção minerária em Mariana

Na hipótese do cenário de retomada da produção de minério no município em 2018, nota-se um ganho significativo na recomposição do PIB em relação ao cenário anterior, que passou de um impacto acumulado de -49,85% para -33%.

No entanto, observa-se que mesmo na hipótese de retomada da produção de minério de ferro no município de Mariana em 2018, a atividade econômica não se aproximaria do nível do cenário base em 2020. Ou seja, a perda de atividade econômica é permanente, em relação ao cenário base sem o acidente, mas a retomada da produção representaria um impacto acumulado menor do desastre, como pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos no município de Mariana no cenário com retomada da produção (var. % acumulada, 2016-2020).

Indicadores	2016-2020
Consumo das Famílias	-1,22
Emprego	-1,22
Exportações	-11,77
Consumo do Governo	-40,7
PIB	-33,69

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

O consumo das famílias também apresenta menor queda que no cenário anterior, devido ao efeito positivo do aumento do nível de atividade e renda das famílias, principalmente em 2018, ano de recuperação da produção considerada nesse cenário.

Com a retomada em 2018, o desvio acumulado em relação ao cenário base sobre as exportações cai para -11,77%. Sem a retomada esse desvio era de -16,86%. Enquanto que o consumo das famílias e emprego que apresentavam 1,74 e -1,65%, respectivamente, nesse cenário passaram para -1,22%.

O importante papel das vendas minerais no nível de atividade do município também fica evidente quando se avalia a resposta dos principais agregados econômicos diante da retomada da produção minerária. Embora o consumo das famílias e o emprego apresentem resultados mais positivos quando comparado ao cenário anterior, a mudança de trajetória em 2018 tem destaque para a variável exportação.

Na avaliação da contribuição dos indicadores para esse efeito de desvio acumulado sobre o PIB, observa-se que o ganho é provocado principalmente pelo aquecimento da exportação regional, que representava um desvio de -46,02% para o PIB no cenário anterior e passou para -13,66% nesse cenário.

Nota-se, portanto, que mesmo a hipótese de três anos de retomada da produção de minério em Mariana, adotada nesse cenário, não foi suficiente para a total eliminação das perdas em relação ao cenário base.

No plano setorial, salvo o setor de mineração que nesse cenário teve seu nível de atividade em 2018 retomado através do choque implementado, os outros setores apresentaram resultados bastante similares daqueles obtidos no cenário sem retomada da atividade minerária, como indicado na Tabela 17. Isto indica mais uma vez os efeitos pequenos de inter-relação da mineração na região.

Tabela 17 – Impacto sobre o nível de atividade setorial em Mariana para o cenário com retomada, decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG, 2016-2020 (desvio % acumulado).

Setores	2016	2017	2018	2019	2020
Agricultura	-4,68	-4,67	-4,65	-4,65	-4,67
Pecuária	-8,14	-8,14	-8,15	-8,16	-8,17
Indústria	-0,12	-0,1	-0,1	-0,12	-0,15
Eletricidade, gás e outras utilidades	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Água, esgoto e reciclagem	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
Construção	0,11	0,09	0,07	0,06	0,06
Comércio	-2,43	-2,34	-2,26	-2,22	-2,2
Transporte	-0,19	-0,18	-0,18	-0,17	-0,17
Serviços privados	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05
Aluguel efetivo	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Aluguel imputado	0	0	0	0	0
Serviços públicos	-1,98	-2,06	-2,07	-2,04	-1,98
Educação pública	-3,01	-3,06	-3,07	-3,05	-3,01
Saúde pública	-3,35	-3,4	-3,41	-3,39	-3,35

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Nesse sentido, os resultados setoriais para o município apontam um efeito positivo da retomada da produção de minério em Mariana concentrado no próprio setor de mineração, com reduzido espraçamento para outras atividades.

5.2.2 Demais Regiões

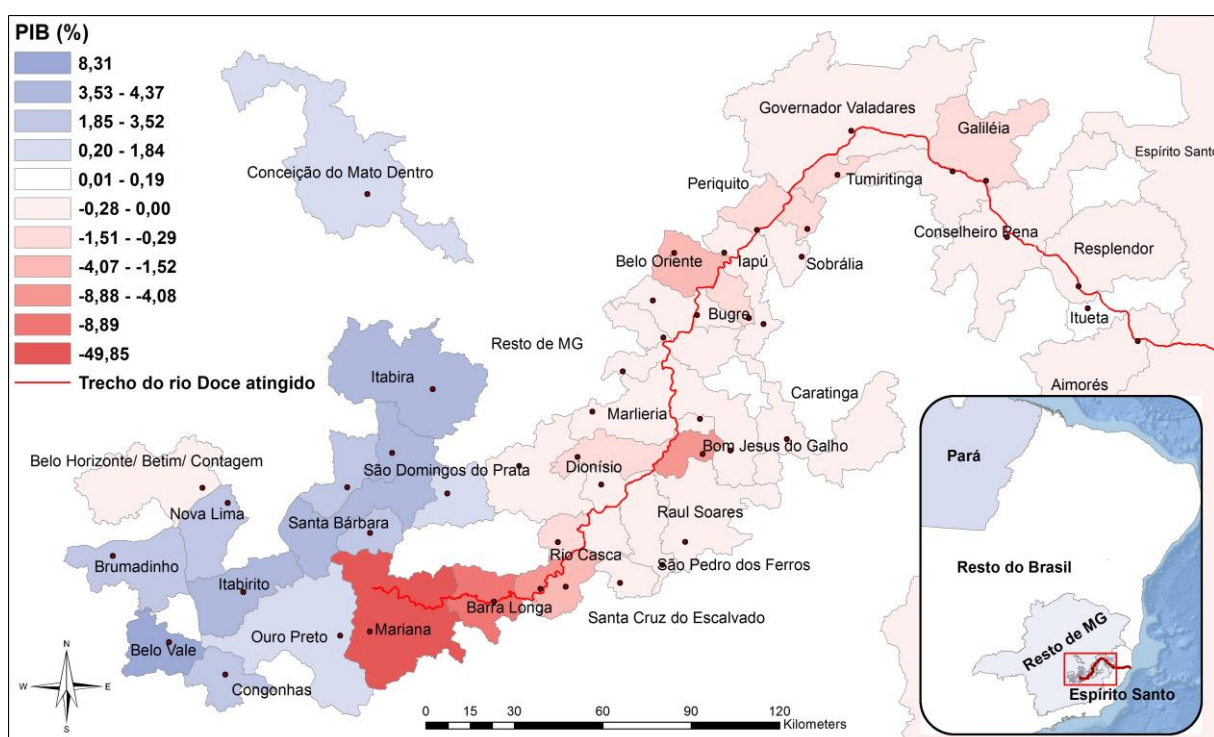
Embora o principal impacto do desastre seja em Mariana, nessa seção procura-se tirar proveito da estrutura do modelo e das simulações que permitem auferir os resultados de impacto nas regiões do Vale do Rio Doce. Os resultados das simulações que estão representados através de mapas também são exibidos na Tabela 25 (cenário sem retomada) e Tabela 26 (cenário com retomada), ambas no APÊNDICE B.

Novamente, os resultados devem ser lidos como os desvios em relação ao cenário base, ou seja, impacto do desastre sobre a trajetória de variáveis econômicas nas regiões. Esse impacto pode ser positivo ou negativo, uma vez que o choque de realocação de produção de minério de ferro que foi adotado nas simulações é um efeito positivo sobre outras regiões.

5.2.2.1 Cenário sem retomada da produção minerária em Mariana

O impacto regional sobre o PIB demonstra a maneira como são distribuídos os efeitos gerados pela queda do consumo do governo e produção de minério no município de Mariana, e, principalmente, da realocação dessa produção para os outros municípios mineradores. A Figura 26 ilustra o desvio percentual acumulado (2016-2010) no PIB regional gerado pelos choques de perdas e danos em relação ao cenário base.

Figura 26 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o PIB nas regiões consideradas no Modelo DamAge (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

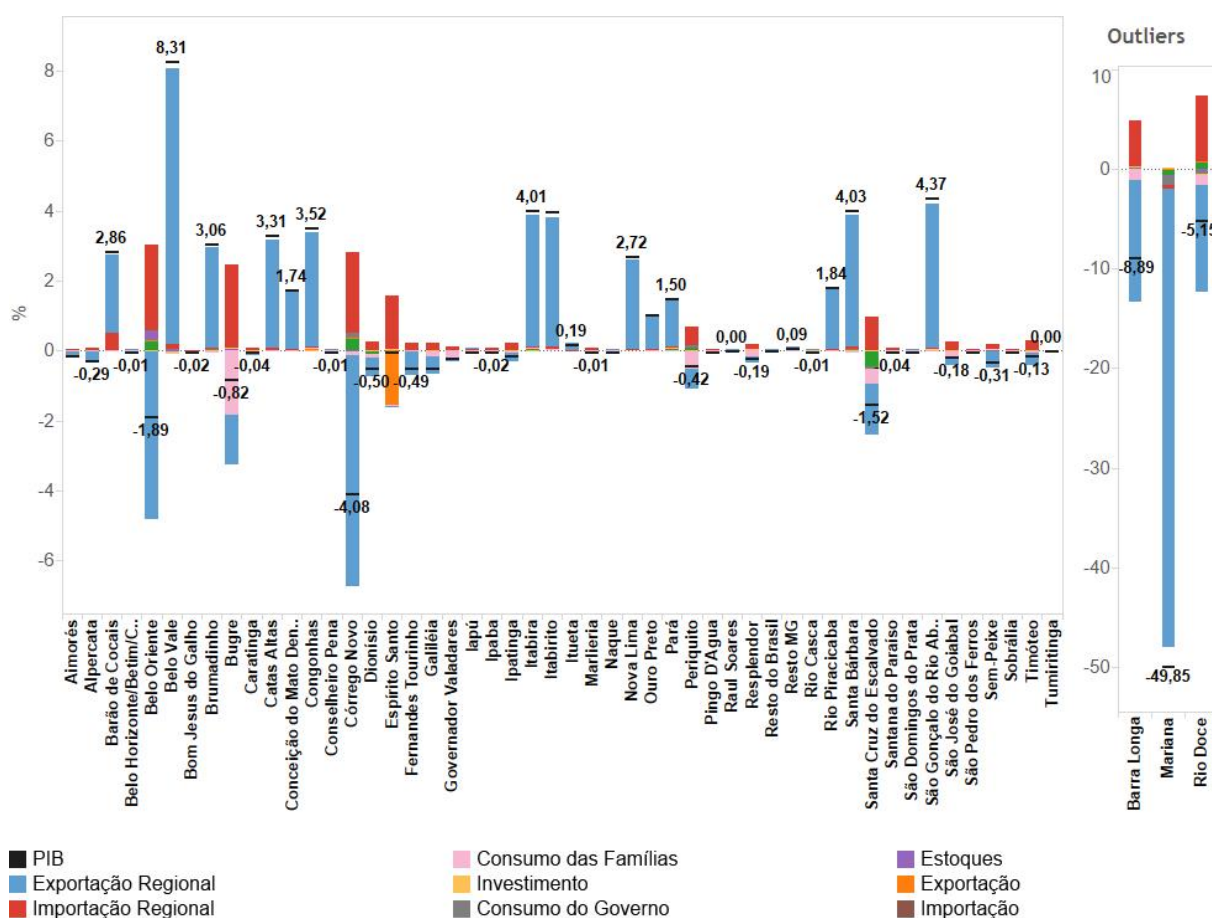
Observa-se que os municípios que apresentaram crescimento no PIB são aqueles que compõem o grupo de municípios mineradores que se beneficiaram do choque da realocação da produção de minério e, em termos relativos, sofreram marginalmente com impactos econômicos negativos indiretos.

Por outro lado, a incidência de perdas em setores de alguns municípios ao longo do rio Doce, implementados por meio de choques sobre o estoque de capital, como a pecuária em Barra Longa e Córrego Novo, comércio em Santa Cruz do Escalvado e indústria em Rio Doce, provocou queda no PIB em relação ao cenário base não só para esses municípios, como também

para os municípios próximos via comércio, contribuindo para que toda a faixa de regiões ao longo do trecho atingido do rio doce apresente desvio negativo no PIB.

Com o intuito de compreensão da origem dos impactos sobre o PIB, a Figura 27 ilustra a contribuição dos principais indicadores econômicos à variação acumulada do PIB decorrente do desastre de Mariana-MG em relação ao cenário base, no período de 2016 a 2020.

Figura 27 – Impacto do desastre de Mariana sobre os componentes do PIB das regiões consideradas pelo Modelo DamAge, em termos de sua contribuição na var. % acumulada, 2016-2020.



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

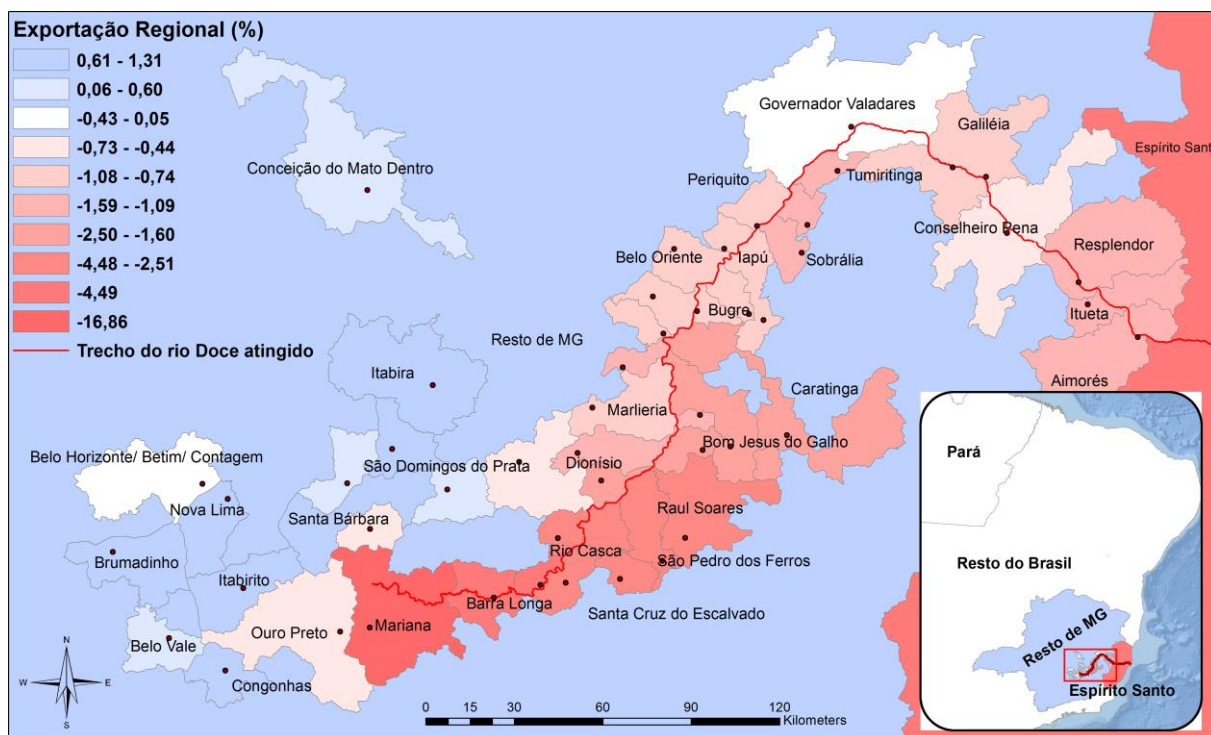
Predominantemente, a maior parcela da diminuição/crescimento do PIB das regiões se deve a redução/aumento das exportações regionais. Isso ocorre mesmo onde a atividade minerária não exerce grande papel na economia, como é o caso de Córrego Novo e Belo Oriente, municípios que sofreram os impactos diretos do desastre através da perda de capital em setores importantes de sua economia (pecuária e indústria, respectivamente), e que ainda assim apresentam as exportações regionais como principal responsável pela queda do PIB em relação ao cenário sem desastre.

Destaca-se por meio dos impactos sobre o PIB nas regiões, portanto, a relevância das atividades que sofreram impacto direto ou indireto em decorrência do desastre de Mariana. Os resultados positivos podem ser atribuídos aos ganhos relacionados ao redirecionamento da produção de minério suspensa em Mariana, enquanto que os resultados negativos podem ser explicados tanto pela queda da produção de minério em Mariana, como também pelas perdas e danos em setores relevantes para determinados municípios que foram implementados via choques no estoque de capital, bem como os impactos negativos indiretos gerados pelos dois últimos por meio principalmente do comércio.

Observa-se na distribuição espacial dos efeitos sobre as exportações a forte conexão comercial entre os municípios ao longo do trecho atingido do rio Doce. Essa intensa interdependência, presente na base de dados do modelo, foi apresentada na Figura 23, que ilustra espacialmente a direção e magnitude dos fluxos de comércio.

Visto que, como discutido na seção 4.2.1, o modelo DamAge foi calibrado com participações de exportação e importação internacional com detalhamento por porto de saída/entrada, os indicadores regionais de comércio também consideram os fluxos de comércio internacional em seu cálculo, retratando portanto as vendas totais das regiões. A Figura 28 apresenta o desvio acumulado no período de 2016 a 2020 das vendas totais em relação ao cenário base.

Figura 28 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre as vendas totais das regiões consideradas no Modelo DamAge (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Segundo Cochrane (2004b), o nível e natureza da centralidade exercida pela região inicialmente atingida pelos impactos diretos de desastres tem grande papel na disseminação das perdas além de suas fronteiras, e a transmissão desses impactos indiretos tendem a se manifestar principalmente por meio da mudança nos padrões de comércio entre as regiões. Os resultados obtidos nas simulações apontam esse tipo de efeito.

Isso dito, trazendo para o caso do presente trabalho, o principal choque em variável fluxo adotada foi a queda na produção da atividade dominante de Mariana (minério de ferro), município que, como dito, apresenta intenso fluxo comercial (estimado) para com os municípios a jusante do rio Doce, capturados pela matriz TRADE da base de dados do modelo. Desse modo, o que os resultados das simulações indicam é a interdependência regional em forma de reprodução de impactos indiretos sobre esses municípios.

A análise do consumo das famílias indica que a variação é negativa para todas as regiões, com queda média de -0,5%, o destaque é o município de Barra Longa que apresentou queda de -4,09%. Embora os impactos indiretos oriundos de outras regiões contribuam, a queda destacada em Barra Longa se justifica em boa parte pela perda de -54,69% do estoque de capital da

pecuária, setor que representa cerca de 30% do PIB do município, de modo que, devido ao importante papel do setor no PIB pelo lado da oferta, através da produção e geração de renda do trabalho, repercute sobre o PIB pelo lado do dispêndio, através do consumo das famílias.

Apesar do município de Mariana ser o principal alvo dos choques implementados, o município apresentou menor desvio negativo sobre o consumo das famílias quando comparado a Barra Longa, isso se explica principalmente pelo caráter capital intensivo dos setores mais atingidos nesses municípios. Choques sobre setores capital intensivo como é o caso do choque sobre a mineração em Mariana, tendem a ter efeitos menores em componentes do PIB pelo lado da renda, como o emprego e consumo das famílias, quando comparado a choques sobre setores trabalho intensivo, como é o caso do choque sobre a pecuária em Barra Longa.

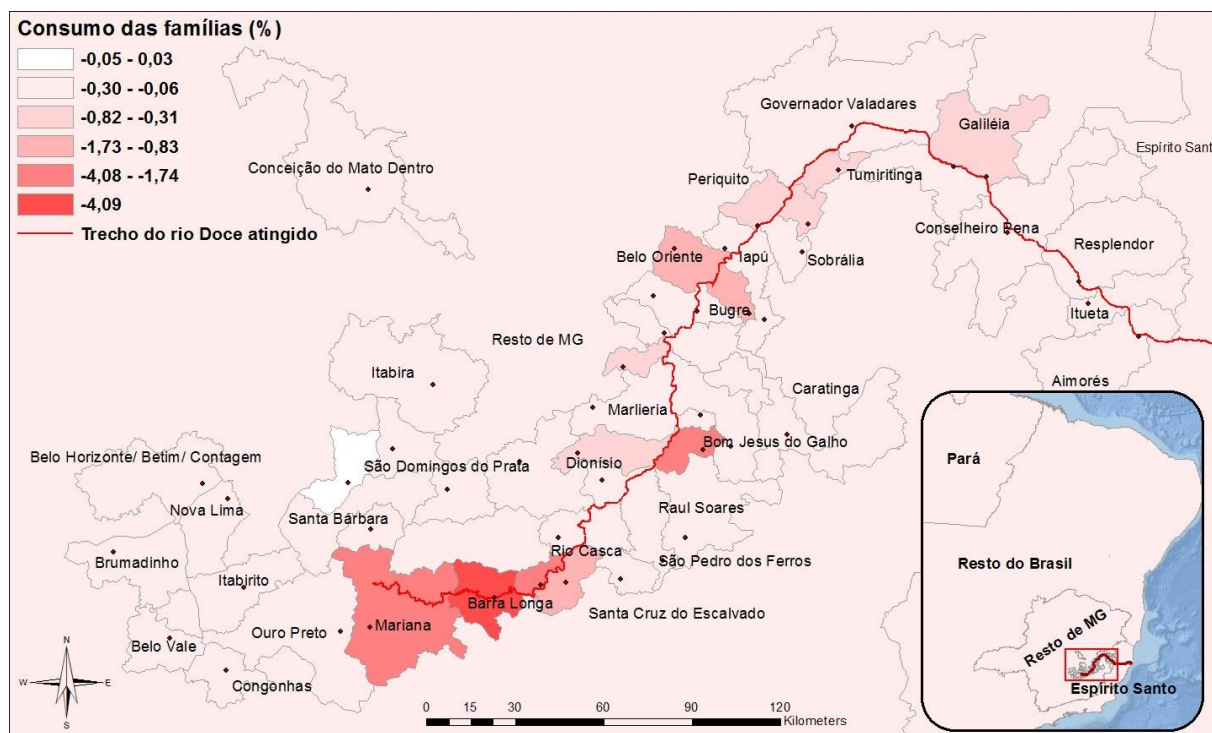
Nos municípios como de Córrego Novo e Rio Doce também apresentariam queda acima da média no consumo, -2,25% e -1,86%, respectivamente. Ambos tiveram como impacto direto do desastre queda na produtividade de capital em setores trabalho intensivos. No caso do município de Córrego Novo a perda foi de -11,35% do estoque de capital da pecuária, atividade responsável por cerca de 36% do PIB do município, enquanto Rio Doce sofreu uma queda sobre o estoque de capital de -16,65% na agricultura e -4,87% na pecuária.

A Figura 29 mostra o impacto sobre o consumo das famílias, novamente como desvios em relação ao cenário base.

Nota-se, portanto, que os impactos sobre o consumo das famílias apresentam fraca correspondência com os desvios sobre o PIB. No geral, regiões que apresentaram ganhos no PIB não apresentaram ganhos no consumo, enquanto que regiões ao longo do trecho atingido do rio Doce que apresentaram quedas relevantes do PIB não necessariamente sofreram as maiores perdas no consumo.

Nesse sentido, os impactos sobre o consumo indicam maior relação com o perfil trabalho intensivo dos setores que sofreram as maiores perdas diretas decorrentes do desastre, bem como da parcela que esses setores representam na economia da região. Ou seja, as regiões que apresentaram os desvios negativos mais relevantes no consumo são as regiões que sofreram perdas significativas em setores trabalho intensivo de importante papel na economia regional.

Figura 29 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o Consumo das famílias nas regiões consideradas no Modelo DamAge (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Além do consumo das famílias, pelo lado dos efeitos do desastre sobre a ocupação dos agentes, o emprego também se constitui num importante indicador para compreensão dos impactos indiretos sobre a vida das pessoas. Como discutido na seção 4.1.4, deve-se levar em conta que o Modelo DamAge considera em seu fechamento o emprego regional endógeno, respondendo a variações no salário real regional, e emprego nacional fixo. Ou seja, as regiões que ampliam a participação no emprego total o fazem em razão, necessariamente, da redução de emprego de outras regiões, no Brasil como um todo.

A Figura 30 apresenta a variação acumulada no período de 2016 a 2020 do emprego real gerada pelos choques de perdas e danos em relação ao cenário base.

O município de Belo Vale, por exemplo, apresentou desvio sobre o emprego real praticamente nulo, apesar dos ganhos na ordem de 8,31% no PIB decorrentes basicamente do aumento da produção no setor de mineração, que representa 61% do PIB do município, segundo a base de dados do modelo.

Por outro lado, regiões com menor proximidade geográfica, menor participação de Mariana no seu comércio total e que possuem a produção de minério de ferro como importante parcela de seu PIB, apresentaram variações no emprego real positivas apesar dos impactos negativos indiretos do desastre.

Embora em termos absolutos, a primeira vista, o aumento de 0,03% no emprego real no estado do Pará ou -0,13% no Espírito Santo aparente ser um resultado de pouco impacto, deve-se ter em mente o tamanho relativo das regiões. No Pará, por exemplo, esse ganho representa a criação de cerca de 310 empregos formais, enquanto que no Espírito Santo a perda chega a aproximadamente 1.241, considerando os dados da RAIS (Relação Anual de Informações Sociais) para o ano de 2013. E associando a variável de emprego do modelo ao número de pessoas ocupadas, o que não é rigorosamente correto (no modelo é horas de fator trabalho)²⁵.

5.2.2.2 Cenário com retomada da produção minerária em Mariana

A inclusão da hipótese de retomada da produção de minério, implementada por meio do choque positivo no setor para o município de Mariana em 2018, teria impacto bastante localizado, de acordo com o modelo. Como esperado, as regiões apresentaram resultados positivos para o PIB na comparação com os resultados obtidos para o cenário sem retomada, entretanto, no geral, são diferenças pequenas, com média de 0,02% para os cinco anos simulados, com valores mais robustos apenas para Mariana.

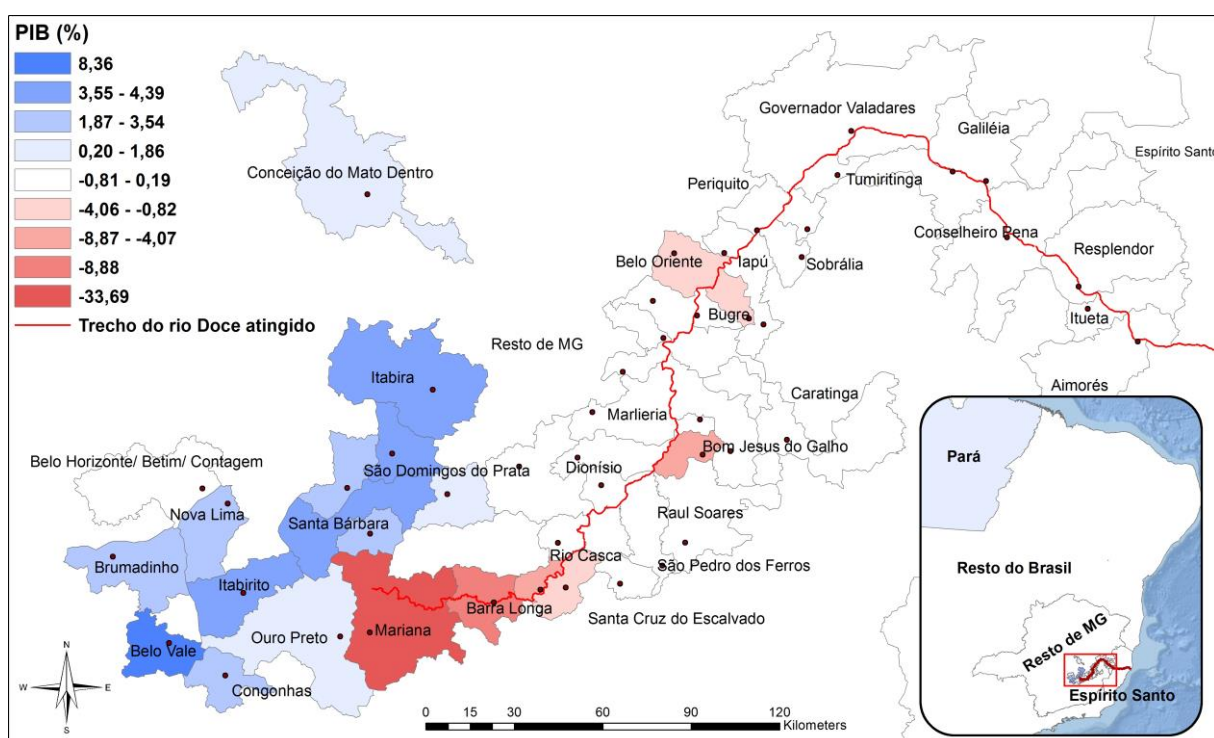
Embora tenha sido adotado um choque de 100% de retomada da produção de minério em Mariana aos níveis pré-desastre, não espera-se que os desvios negativos gerados em decorrência dos choques adotados para 2016 sejam totalmente compensados. Primeiro, em razão dos choques sobre a perda de capital em outros setores e regiões, que não foram revertidos. Segundo, porque os efeitos econômicos negativos totais gerados, isto é, a soma dos impactos

²⁵ O modelo DamAge considera em sua base de dados a variável emprego como horas de trabalho, de modo que, embora seja possível a conversão de horas reduzidas para número de postos de trabalho perdidos, não se trata de uma relação direta.

diretos e indiretos, se desdobraram não só em perdas acumuladas que não são recuperadas imediatamente, como também levaram a economia a uma nova trajetória. Diante disso, visto que não foi adotado choques de impactos diretos positivos, como de reconstrução, esse equilíbrio tende a ser inferior àquele estabelecido nas condições pré-desastre, demandando tempo para que os desvios negativos sejam compensados e a economia volte a um equilíbrio similar ao verificado previamente.

A Figura 31 apresenta o desvio acumulado no período de 2016 a 2020 do PIB regional gerado pelos choques de perdas e danos em relação ao cenário base.

Figura 31 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o PIB nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).

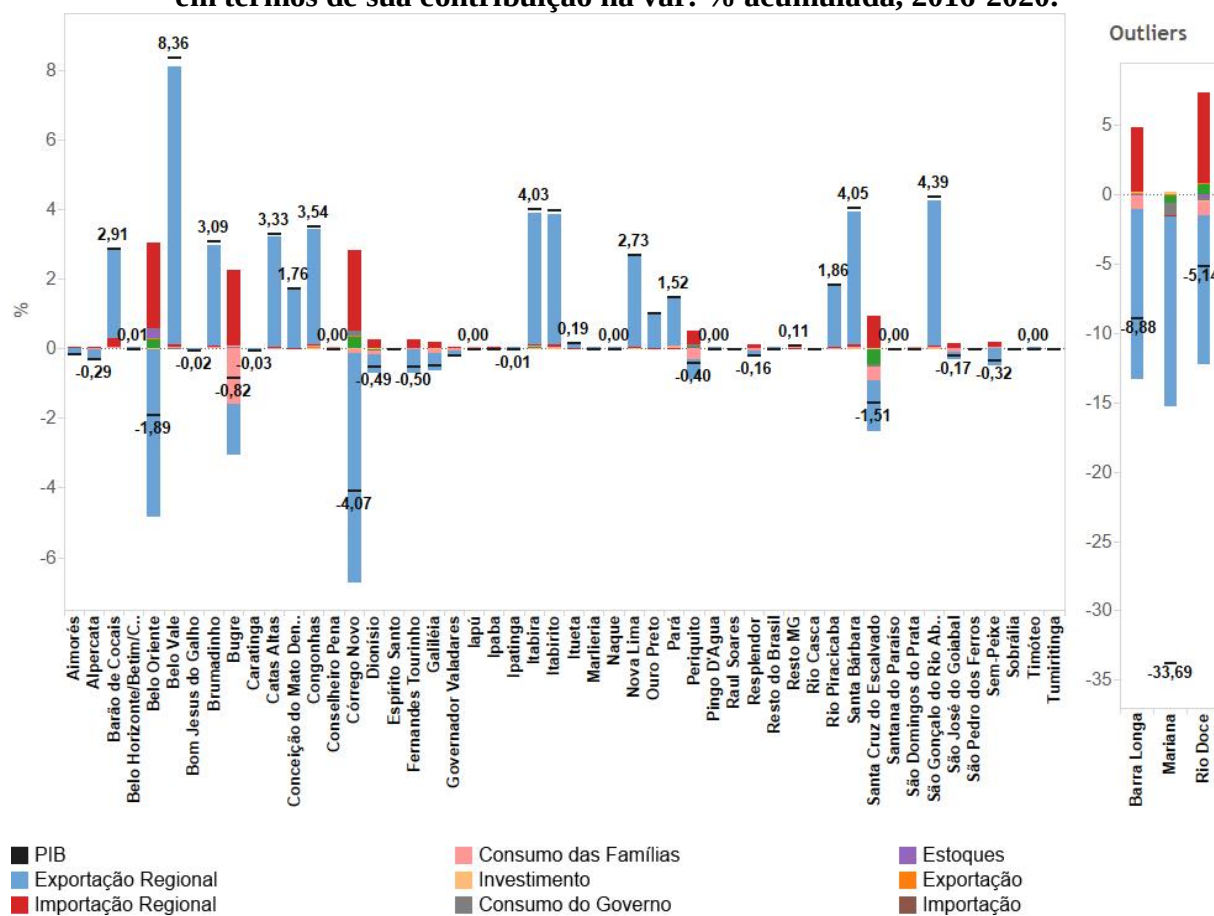


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

A região que obteve resultados mais significantes foi o município de Mariana, que apresentaria desvio acumulado decorrente do acidente de -33,69% com a retomada em 2018, um resultado menor que a queda de -49,85% no cenário sem retomada.

A Figura 32 ilustra a contribuição dos principais indicadores econômicos à variação acumulada do PIB decorrente do desastre de Mariana-MG em relação ao cenário base, no período de 2016 a 2020.

Figura 32 – Impacto do desastre de Mariana sobre os componentes do PIB das regiões consideradas pelo Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana, em termos de sua contribuição na var. % acumulada, 2016-2020.

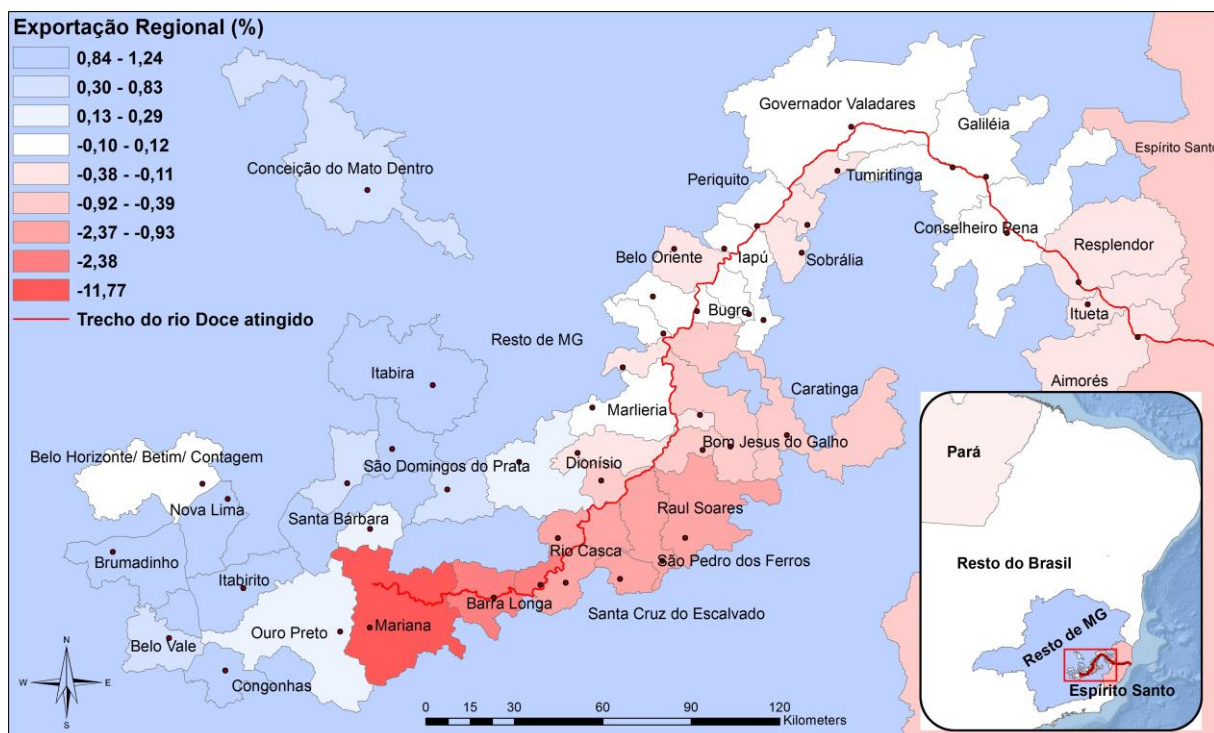


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Embora o PIB do estado do Espírito Santo não apresente desvios negativos relevantes nos dois cenários adotados, foi o que apresentou maior diminuição de perdas nas exportações quando comparado ao cenário anterior (de -5,74% para -0,39%), resultado justificado em boa parte por abrigar o principal porto exportador do minério de ferro produzido no município de Mariana, tornando-se uma região extremamente sensível as variações na produção de minério.

A Figura 33 apresenta o desvio acumulado no período de 2016 a 2020 da exportação gerada pelos choques de perdas e danos em relação ao cenário base.

Figura 33 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre as vendas totais das regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).

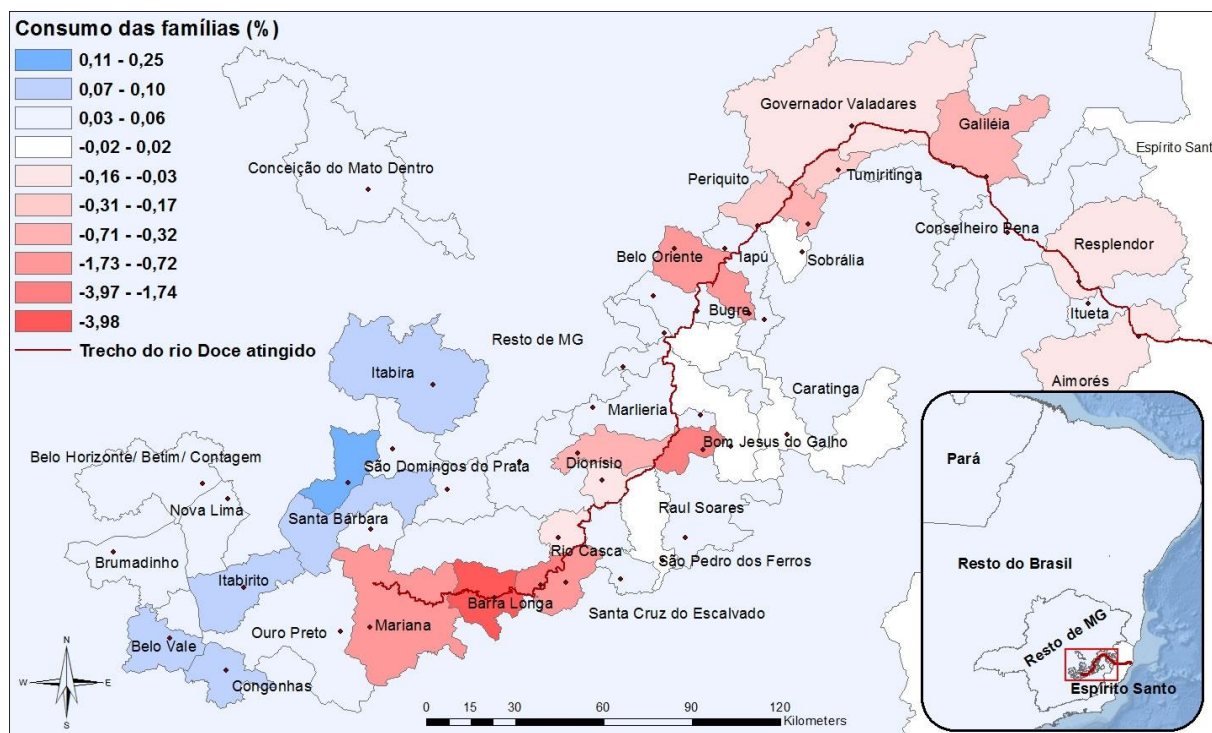


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Na comparação entre os dois cenários do desastre (com e sem retomada) para o indicador do consumo das famílias, algumas regiões conseguiram passar do resultado negativo acumulado do cenário anterior para um resultado positivo. Isso se deu principalmente pelo fato dos números do cenário sem retomada apresentarem predominantemente quedas acumuladas pequenas (-0,37% na média), de modo que a volta plena da produção em Mariana a partir de 2018 foi suficiente para compensar as quedas acumuladas exibidas no primeiro cenário e até mesmo promover resultados de crescimento para algumas regiões.

A perda de consumo familiar em Mariana é ligeiramente menor com a retomada, passando de -1,74% para -1,22% no acumulado para o período de 2016 a 2020. A Figura 34 apresenta o desvio acumulado no cenário com retomada, em relação ao cenário base no período de 2016 a 2020 do consumo das famílias.

Figura 34 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o Consumo das famílias nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).



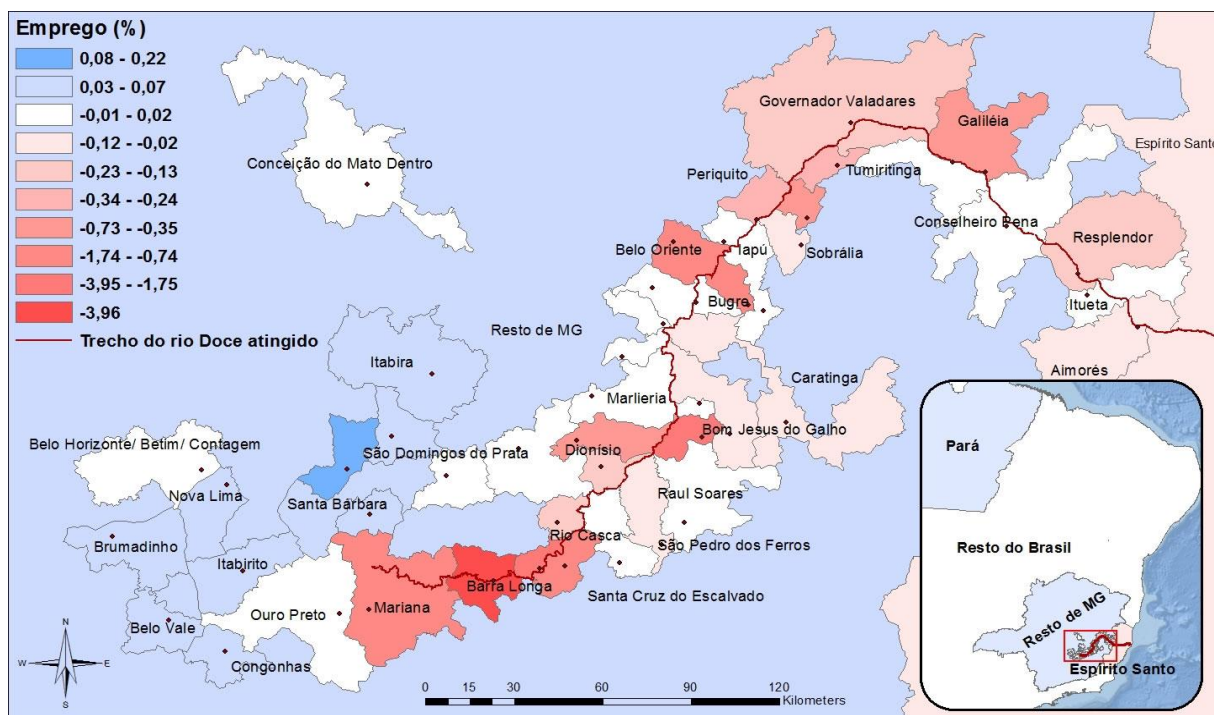
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

O emprego foi o indicador que apresentou menor diferencial entre as situações com e sem retomada (fruto do fechamento de total nacional fixo). Mariana apresentaria uma menor perda com a retomada, de -1,65% para -1,22%. A Figura 35 apresenta a variação acumulada no período de 2016 a 2020 do emprego real gerada pelos choques de perdas e danos em relação ao cenário base.

Nota-se que embora Barra Longa, Itabira e Itabirito permaneçam como as regiões que apresentaram os maiores progressos no indicador emprego em relação ao cenário sem retomada, a hipótese de volta da produção de minério no município de Mariana contribuiu para que municípios com proximidade geográfica com Mariana e municípios ao longo do Rio Doce apresentassem resultados positivos em detrimento dos resultados negativos apresentados no cenário anterior.

Os municípios mais impactados continuam os mesmos, até porque os demais choques negativos são os mesmos da primeira simulação: Barra Longa, Rio Doce, Belo Oriente, com quedas de -3,96%, -2,12%, -1,75% e -1,22%, respectivamente.

Figura 35 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre o Emprego real nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada da produção em Mariana (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2016-2020).



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Como o emprego no Modelo DamAge trata-se de um indicador com variação de soma zero, esses resultados indicam que a volta da produção de minério em Mariana a partir de 2018 não é suficiente para recuperar de maneira plena os resultados negativos sobre o emprego nesses municípios em relação as outras regiões.

5.3 Resultados Agregados

Agregações regionais dos resultados são úteis para um comparativo entre a região afetada pelo desastre e as demais regiões do estado. Vale lembrar as preocupações suscitadas à época do evento sobre o impacto do desastre no estado de MG, especialmente pelo seu efeito sobre a atividade mineradora (ESTADÃO, 2015; EXAME, 2015; VALOR, 2015).

Segundo Hewings, Shangnon e Dridi (2000), a característica predominantemente localizada de eventos isolados como desastres demanda maior cuidado na escolha da escala de regionalização a ser adotada na avaliação dos resultados, com risco de induzir a interpretação de impactos minorados em análises com escala espacial exageradamente amplas.

Assim como na seção anterior, os números apresentados nesta seção refletem o desvio em relação ao cenário base (sem o desastre), representando apenas o efeito incremental dos choques das simulações. Novamente, exploraremos também a situação de retomada da produção minerária em Mariana em 2018.

5.3.1 Cenário sem retomada da produção minerária em Mariana

A análise dos resultados do estado de Minas Gerais em comparação com o resto do Brasil contribui na exposição do grau de localização dos efeitos gerados pelo desastre.

Observa-se que, proporcionalmente, o estado de Minas Gerais absorve basicamente todo o impacto negativo na atividade econômica, quando comparado ao resto do país que, por sua vez, manteve o PIB praticamente constante, com exceção do Pará. Isso se dá devido principalmente a realocação produtiva do minério, implementada por meio de choques positivos sobre a produção das outras regiões fora de Mariana, fazendo com que, no geral, os desvios negativos gerados pelos impactos indiretos do desastre sejam compensados pelos ganhos decorrentes do aumento da produção de minério para essas regiões.

O PIB do Pará foi o que apresentou maior desvio positivo em relação ao cenário base entre todas as macro regiões analisadas, esse resultado se justifica devido ao choque de realocação minerária adotado e à importante parcela da economia do estado vinculada a atividade mineradora, fazendo com que a realocação de sua produção seja capaz não só de compensar os impactos negativos indiretos do desastre (que são pequenos dada a distância e pouca relação econômica entre as regiões afetadas e o estado), como também de proporcionar destacado ganho no PIB quando comparado ao cenário sem desastre.

A Tabela 18 apresenta as estimativas de impactos macroeconômicos acumulados para o período de 2016 a 2020.

**Tabela 18 – Impactos agregados do desastre minerário de Mariana-MG
(desvio % acumulado em relação ao cenário base 2016-2020).**

	Minas Gerais	Espírito Santo	Pará	Resto do Brasil	Brasil
PIB	-1,03	-0,15	1,5	0,05	-0,07
Consumo das Famílias	-0,07	-0,15	-0,07	-0,07	-0,07
Emprego	-0,05	-0,07	0,01	0	-0,01
Consumo do Governo	-0,16	0	0	0	-0,01
Exportação	0,08	-5,74	0,02	-0,47	-0,47
Importação	-0,27	0,13	-0,3	-0,24	-0,24

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

O oposto pode ser notado com relação ao PIB e principalmente exportações no Espírito Santo. O minério de ferro tem um peso relevante na balança comercial nacional e, dado que o modelo incorpora a captura de margens de transporte para os estados que possuem portos de importação e exportação²⁶, os efeitos da queda brusca da produção localizada de minério são refletidas na balança comercial dos estados exportadores.

No caso da produção de minério em Minas Gerais, o principal porto de saída está situado no Espírito Santo, estado que apresenta 5,74% de queda nas suas exportações no período de 2016 a 2020, além de outras perdas ligadas a queda na geração de margens de transporte.

A análise setorial dos resultados apontam os setores responsáveis pelo padrão de concentração dos efeitos negativos mais significativos no estado de Minas Gerais e, em menor escala, no Espírito Santo e positivos no Pará, apresentados na Tabela 19.

²⁶ Como discutido na seção 4.1.2, o Modelo DamAge considera a captura de margens de transporte por parte de regiões portuárias. Para o seu cálculo o modelo conta com uma base de dados de participações de exportação e importação especificadas por porto de saída/entrada.

Tabela 19 – Impacto sobre o nível de atividade setorial decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG, 2016-2020 (desvio % acumulado).

Setores	Minas Gerais	Espírito Santo	Pará	Resto do Brasil	Brasil
Agricultura	0	0	-0,01	0,01	0
Pecuária	-0,06	0	-0,01	0,01	0
Indústria	-0,05	-0,04	-0,01	0,02	0,01
Minério de ferro	9,20	9,20	9,20	9,20	0
Eleticidade, gás e outras utilidades	-0,01	-0,01	-0,01	0	-0,01
Água, esgoto e reciclagem	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01
Construção	0	-0,01	-0,01	0	0
Comércio	-0,04	-0,14	0,18	-0,01	-0,01
Transporte	-0,01	-0,02	0,05	0	0
Serviços privados	-0,01	-0,02	-0,02	0	0
Aluguel efetivo	0	0	0	0	0
Aluguel imputado	0	0	0	0	0
Serviços públicos	-0,08	-0,03	-0,04	0	-0,01
Educação pública	-0,1	-0,03	-0,02	0	-0,01
Saúde pública	-0,08	-0,03	-0,04	0	-0,01

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Observa-se que Minas Gerais apresenta os desvios negativos mais relevantes em setores que sofreram os impactos diretos de perda de capital em decorrência do desastre, como Pecuária e Indústria, e setores que sofreram impactos indiretos da redução de -40% no consumo do governo em Mariana, como Serviços públicos e Saúde pública.

Com relação aos desvios positivos apresentados pelo Pará e negativos pelo Espírito Santo, nota-se que têm origem concentrada no setor de Comércio e em menor medida no setor de Transportes.

Na escala macroeconômica, novamente verifica-se que, como sugerido por Cochrane (2004b), importante via de disseminação dos efeitos negativos de desastres se verificam através dos componentes comerciais, seja por meio da alteração do padrão de comércio, seja por meio da redução de seu fluxo.

Seja na escala nacional ou estadual, o comércio foi o principal meio de transbordamento dos efeitos negativos para regiões mais afastadas do desastre, quadro que pode ter sido intensificado por tratar-se do comprometimento da produção de uma atividade diretamente voltada para exportação, como é o caso da produção de minério.

5.3.2 Cenário com retomada da produção minerária em Mariana

Na hipótese de retomada da produção de minério de ferro no município de Mariana, o que se observa é uma redução considerável da magnitude dos impactos negativos que permanecem depois dos cinco anos simulados. A Tabela 20 apresenta as estimativas de impacto econômico em escala nacional para o período de 2016 a 2020.

Tabela 20 – Impactos agregados decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG com retomada da produção (desvio % acumulado. 2016-2020).

	Minas Gerais	Espírito Santo	Pará	Resto do Brasil	Brasil
PIB	-0,16	-0,01	1,45	0,01	0,03
Consumo das Famílias	0,05	0	0,06	0,03	0,03
Emprego	-0,01	-0,03	0,03	0	0
Consumo do Governo	-0,16	0	0	0	-0,01
Exportação	0,07	-0,39	-0,06	0,29	0,23
Importação	0,02	0,35	0,06	0,08	0,08

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Nota-se que a volta da produção de minério em 2018 adotada nesse cenário proporcionou capacidade superior de recuperação para o estado de Minas Gerais, contribuindo, inclusive, para o resultado positivo verificado em todas as variáveis no resto do Brasil, com destaque para as exportações que apresentaram desvio positivo de 0,23%.

Com relação ao PIB, consumo das famílias, emprego e consumo do governo, a volta da produção de minério em Mariana no ano de 2018, considerando assim um período de três anos de produção plena até 2020, mostra-se suficiente para a retomada da trajetória de crescimento econômico no caso do resto do Brasil e proximidade no caso do estado de Minas Gerais.

Percebe-se por meio dos resultados setoriais, indicados na Tabela 21, que os efeitos negativos que permanecem no estado de Minas Gerais são apenas aqueles gerados pelos choques de produtividade de capital e redução no consumo do governo, que não tem conexão direta com o retorno da produção de minério em Mariana. No estado do Pará e Espírito Santo, observa-se que os desvios que permanecem têm origem no setor de comércio, assim como no cenário anterior, enquanto que os desvios sobre o Resto do Brasil são praticamente nulos.

Tabela 21 – Impacto sobre o nível de atividade setorial decorrentes do desastre minerário em Mariana-MG no cenário com retomada da produção em Mariana, 2016-2020 (desvio % acumulado).

Setores	Minas Gerais	Espírito Santo	Pará	Resto do Brasil	Brasil
Agricultura	-0,01	0	-0,01	0	0
Pecuária	-0,06	0	-0,01	0	-0,01
Indústria	-0,03	-0,01	-0,03	0	-0,01
Minério de ferro	0,05	9,25	9,27	9,28	0
Eleticidade, gás e outras utilidades	0	0	0	0	0
Água, esgoto e reciclagem	0	0	-0,01	0	0
Construção	0	-0,01	-0,01	0	0
Comércio	-0,02	-0,09	0,21	0,01	0,01
Transporte	0	0,01	0,07	0,01	0,01
Serviços privados	0	-0,01	-0,01	0	0
Aluguel efetivo	0	0	0	0	0
Aluguel imputado	0	0	0	0	0
Serviços públicos	-0,06	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01
Educação pública	-0,08	-0,01	-0,01	0	-0,01
Saúde pública	-0,06	-0,01	-0,03	0	-0,01

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Logo, a retomada da produção minerária em Mariana a partir de 2018 não foi capaz de compensar, isoladamente, todos os efeitos econômicos negativos gerados pelo desastre, entretanto, boa parte dos impactos indiretos transmitidos para outras regiões são revertidos. Diante disso, fica clara a contribuição, embora limitada, da retomada da produção minerária em Mariana para a recuperação dos desvios macroeconômicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procurou contribuir ao estudo dos efeitos econômicos de desastres de grande escala, acrescentando à literatura do tema projeções de efeitos setoriais e regionais de desastres envolvendo barragens de rejeitos de minério. Apesar de ser um estudo específico para o desastre de Mariana em 2015, procurou-se documentar as principais referências desse tipo de trabalho, assim como desenvolver uma análise específica para o evento em tela.

Assim, foi desenvolvido e aplicado um modelo inter-regional dinâmico de Equilíbrio Geral Computável, regionalizado especialmente para a captura dos efeitos do desastre de Mariana. O trabalho descreveu todo o procedimento de construção da base de dados do modelo EGC, nomeado DamAge, numa alusão a barragem (Dam, em inglês) e a análise aplicada de equilíbrio geral (AGE), os dados para simulação se basearam em relatórios elaborados pelo governo do estado de Minas Gerais e em informações disponíveis até meados de 2016. Estudou-se também o efeito da retomada da atividade mineradora em 2018, uma demanda recorrente das autoridades do município de Mariana.

A primeira simulação projetou os efeitos do desastre sem a retomada da atividade mineradora, para todo o horizonte de tempo adotado nas simulações (2016-2020). Nesse cenário, apesar da predominância de perdas nos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio Doce, os resultados indicaram espreadimento relevante dos impactos negativos nos municípios ao longo do rio Doce, transmitidos principalmente pelas compras e vendas regionais.

No geral, para as regiões a jusante do trecho atingido do rio Doce o período de cinco anos adotado nesse cenário não foi suficiente para as regiões apresentarem recuperação completa dos principais indicadores econômicos em relação a um cenário base sem a ocorrência do desastre. Isso se explica, em boa parte, pela permanência das perdas e danos sofridos por essas regiões, implementadas no modelo por meio de choques negativos sobre a produtividade do capital.

Por outro lado, regiões com menor proximidade geográfica com o município de Mariana, menor participação de Mariana no seu fluxo de comércio total e que possuem a produção de minério de ferro como importante parcela de sua produção, apresentaram variações positivas no PIB e exportações regionais apesar dos impactos negativos indiretos do desastre. Isso se deveu à hipótese utilizada na simulação, de realocação produtiva para essas regiões da produção de

minério de ferro de Mariana. Esta hipótese de simulação se baseou nos dados observados de produção mineral entre 2015 e 2016.

A segunda simulação diferencia-se da primeira por acrescentar a projeção dos efeitos de uma possível retomada da produção de minério de Mariana a partir de 2018, com o intuito de identificar sua contribuição para a recuperação dos principais indicadores econômicos regionais. Nesse cenário, a retomada em Mariana da produção de minério de ferro ao nível pré-desastre no período de 2018 até 2020, no geral, não foi suficiente para apresentar plena recomposição econômica, apesar de contribuir na aceleração do processo de recuperação.

As variações obtidas nesse cenário sobre o emprego real, indicador que apresenta variações de soma zero para as regiões e bastante sensível a choques na produção, expõe bem o fato da retomada da produção de minério em Mariana a partir de 2018 não ser o suficiente para reverter a parcela de empregos perdida pela maior parte dos municípios a jusante do rio doce, principalmente Mariana, Barra Longa e Rio Doce.

A inclusão da hipótese de redirecionamento da produção de minério suspensa em Mariana para outras regiões expôs o grau de sensibilidade dos principais indicadores econômicos de municípios com forte vocação para essa atividade com relação a alocação produtiva regional do setor. Embora o destacado impacto sobre o PIB desses municípios, o aumento da produção de minério de ferro decorrente da realocação produtiva mostrou-se pouco capaz de gerar efeitos positivos relevantes sobre indicadores do PIB pelo lado da renda, como emprego e consumo, resultado diretamente relacionado ao carácter capital intensivo do setor.

Seja no cenário com retomada da produção de minério no município de Mariana em 2018, seja no cenário sem retomada, os impactos negativos reduzidos obtidos sobre o emprego do município revelam a situação complicada que Mariana se depara na manutenção dos bens e serviços públicos para uma população que tende a permanecer constante diante dos impactos significativos sobre o PIB e arrecadação de tributos.

A análise macroeconômica dos resultados aponta que numa avaliação estadual ou nacional os impactos diretos e indiretos do desastre têm efeitos bastante reduzidos no cenário sem retomada e praticamente imperceptíveis no cenário com retomada. Esse resultado vai de encontro com a literatura, deixando claro o grau de localização dos efeitos do desastre que, embora tenham sua relevância e propagação na escala municipal bastante evidenciada, em escalas demasiadamente amplas apresentam resultados minorados.

Nesse sentido, esse trabalho contribui na literatura não só por meio das projeções regionais e setoriais de impactos econômicos diretos e indiretos, como também através da difusão dos meios e vantagens na construção de modelos especialmente desenvolvidos para tratar da análise dos efeitos regionais de desastres.

Vale lembrar ainda que o presente trabalho trata-se de uma aplicação de um modelo dinâmico de EGC e, como discutido na seção 3.2, a característica flexível desses modelos aliada aos mecanismos de ajuste via mercado ou preços oferecem projeções de impactos indiretos que tendem a ser subestimadas quando comparado a modelos rígidos de insumo-produto tradicionais que, por sua vez, tendem a apresentar resultados superestimados. Sendo assim, a leitura ideal das projeções aqui apresentadas é feita tomando-as como piso para os impactos totais gerados pelos choques adotados.

A descrição realizada sobre o cenário pré-desastre deixa claro que, através de uma breve análise das condições internacionais do mercado de minério e das características regionais e setoriais do macrossetor no período do desastre, é possível adotar uma visão circunstancialista do evento, pelo menos do ponto de vista econômico. O evento ocorreu durante um período de variações em preço e quantidade produzida do produto apontada pela literatura como fase crítica para ocorrência de desastres envolvendo barragens de rejeitos.

A divergência entre as condições de segurança e magnitude dos danos verificados pós-desastre daqueles apontadas por avaliações pré-desastre, realizadas pelos órgãos competentes, indicam falhas no processo de licenciamento ambiental e provisão da magnitude dos impactos negativos em caso de acidentes.

O histórico de ocorrência de desastres envolvendo o rompimento de barragens de rejeitos de minério considerados graves e muito graves apresentado na literatura revela a tendência de aumento da ocorrência desses eventos. Visto que se tratam de eventos que tendem a provocar profundo comprometimento econômico regional, justifica-se a discussão a respeito da criação de fundos de emergência destinados exclusivamente a reestruturação regional em caso de desastres, possivelmente com fonte de financiamento decorrente das compensações financeiras já existentes.

Sendo assim, é necessário encontrar o denominador comum entre o ônus inerente à atividade minerária, do qual desastres ambientais e seus impactos é apenas uma parte, e o proveito das regiões com relação à capacidade da atividade na geração de divisas, emprego, e outros

benefícios, especialmente em economias fortemente atreladas a exploração mineral, como é o caso de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

- ALBALA-BERTRAND, J. M. Political economy of large natural disasters: with special reference to developing countries. OUP Catalogue, 1993.
- ALVES, R. B. “Lar Doce Lar”: Apego ao lugar em área de risco diante de Desastres Naturais. *Psico*, Porto Alegre, v. 46, n. 2, p. 155–164, 2014.
- ANA. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce: Rompimento da Barragem em Mariana/MG. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>.
- ARMINGTON, P. S. A theory of demand for products distinguished by place of production. *Staff Papers*, v. 16, n. 1, p. 159–178, 1969.
- BÁRCENA, A. et al. The Chilean earthquake of 27 February 2010: an overview. United Nations publication, n. February, p. 1–32, 2010.
- BARRETO, M. L. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. 2001.
- BCB, Banco Central do Brasil. Focus - Relatório de mercado. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/readout.asp>>. Acesso em: 5 maio. 2016.
- BEBBINGTON, A. et al. Contention and ambiguity: Mining and the possibilities of development. *Development and Change*, v. 39, n. 6, p. 887–914, 2008.
- BLOOMBERG. Samarco deve voltar a operar em 2 meses, diz ministro de Minas. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com.br/blog/samarco-deve-voltar-operar-em-2-meses-diz-ministro-de-minas/>>. Acesso em: 19 jan. 2017.
- BOSTEDT, G. Reindeer husbandry, the Swedish market for reindeer meat, and the Chernobyl effects. *Agricultural Economics*, v. 26, n. 3, p. 217–226, 2001.
- BOWKER, L. N.; CHAMBERS, D. M. The risk, public liability & economics of tailings storage facility failures. p. 1–56, 2015.
- BRADLEY, I. E.; GANDER, J. P. Input-Output multipliers: Some theoretical comments. *Journal of regional science*, v. 9, n. 2, p. 309–317, 1969.

BRADSHAW, S. Handbook for Estimating the Socio - economic and Environmental Effects of Disasters. .

BRANDT, M. A. Barragem de Rejeitos do Fundão da Samarco Mineração S.A. Estudo de Impacto Ambiental – EIA, v. 1 e 2, 2005.

BURFISHER, M. E. Introduction to Computable General Equilibrium Models. Cambridge University Press, 2011.

BURNS, W. J.; SLOVIC, P. The diffusion of fear: Modeling community response to a terrorist strike. The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology, v. 4, n. 4, p. 298–317, 2007.

CARVALHO, T. S. Uso do Solo e Desmatamento nas Regiões da Amazônia Legal Brasileira: condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas. Tese de Doutorado). Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

CARVALHO, L. R. DE et al. Matrizes de distâncias entre os distritos municipais no Brasil: um procedimento metodológico. Textos para Discussão Cedeplar-UFMG, n. 532, 2016.

CAVALLI, L. Para Minas Gerais: mineração e desenvolvimento econômico. Apresentação do projeto S11D da Vale. Belo Horizonte Palestra conduzida para o Fórum: Desenvolvimentos e tecnologias para sustentabilidade econômica e ambiental, , 2016.

CAVALLO, E.; NOY, I. The Economics of Natural Disasters A Survey. Development, v. 3, n. May, p. 395–424, 2010.

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

CHANG, S. E. et al. Urban disaster recovery in Christchurch: The central business district cordon and other critical decisions. Earthquake Spectra, v. 30, n. 1, p. 513–532, 2014.

CHANG, S. E.; MILES, S. B. The Dynamics of Recovery: A Framework. In: OKUYAMA, Y.; CHANG, S. E. (Eds.). Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 181–204.

COCHRANE, H. Economic loss: myth and measurement. *Disaster Prevention and Management*, v. 13, n. 4, p. 290–296, 2004a.

COCHRANE, H. C. Indirect Losses from Natural Disasters: Measurement and Myth. *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*. Springer Berlin Heidelberg, p. 37–52, 2004b.

COCHRANE, H.; CHANG, S. E.; ROSE, A. Indirect economic losses. *Development of Standardized Earthquake Loss Estimation Methodology Vol. II*, 1997.

COELHO, T. P. Mineração e dependência no quadrilátero ferrífero. *Intratextos, Especial*, v. 3, p. 128–146, 2012.

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

COLLIER, P. et al. Managing Resource Revenues in Developing Economies. *IMF Staff Papers*, v. 57, p. 84–118, 2010.

COSTA, A. V. DA; VIANA, C. K. R.; MARTINS, L. U. S. De sertão inóspito às Minas do Ouro. *Memória do Judiciário Mineiro*, v. 63, n. 201, p. 17–19, 2012.

CYMBALISTA, R.; CARDOSO, P. DE M. O Plano Diretor de Mariana-MG: a difícil articulação entre planejamento urbano, patrimônio histórico e atores políticos. Disponível em: <http://polis.org.br/wp-content/uploads/o_plano_Diretor_mariana.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2016.

DAVIES, M.; MARTIN, T. Mining market cycles and tailings dam incidents. *Proceedings of the 13th International Conference on Tailings and Mine Waste. Anais...*2009

DAVIS, G. A. The minerals sector, sectoral analysis, and economic development. *Resources Policy*, v. 24, n. 4, p. 217–228, 1998.

DAVIS, G. A.; TILTON, J. E. The resource curse. *Natural resources forum. Anais...*2005

DAVIS, L. W. The effect of health risk on housing values: Evidence from a cancer cluster. *American Economic Review*, v. 94, n. 5, p. 1693–1704, 2004.

DE CASTRO, A. L. C. Manual de planejamento em defesa civil. Ministério da Integração

Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, 1999.

DERVIS, K.; MELO, J. DE; ROBINSON, S. General Equilibrium Models for Development Policy. .

DINIZ, T. B.; FILHO, J. B. DE S. F. Impactos econômicos do Código Florestal no nordeste brasileiro - Uma discussão à luz de um Modelo Computável de Equilíbrio Geral. Forum Bnb, 2013.

DIXON, P. B. Orani, a multisectoral model of the Australian economy. North Holland, 1982. v. 142

DIXON, P. B. Distinguished Fellow of the Economic Society of Australia 2003. Conference Proceedings. 2003

DIXON, P. B.; PARMENTER, B. R. Handbook of Computational Economics. v. 1, p. 83, 1996a.

DIXON, P. B.; PARMENTER, B. R. Computable general equilibrium modelling for policy analysis and forecasting. Handbook of computational economics, v. 1, p. 3–85, 1996b.

DIXON, P.; RIMMER, M. Johansen's contribution to CGE modelling: originator and guiding light for 50 years. Monash University Centre of Policy Studies and the Impact Project, n. May, 2010.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. O que é CFEM? Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assuntos/arrecadacao>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

DOMINGUES, E. P.; HADDAD, E. A. Impactos setoriais e regionais da alca: Projeções para a economia brasileira. Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 6, n. 2, p. 255–288, 2006.

DOMINGUES, E. P.; HADDAD, E. A.; HEWINGS, G. Sensitivity analysis in applied general equilibrium models: An empirical assessment for MERCOSUR free trade areas agreements. The Quarterly Review of Economics and Finance, v. 48, n. 2, p. 287–306, 2008.

DONAGHY, K. P.; BALTA-OZKAN, N.; HEWINGS, G. J. D. Modeling unexpected events in temporally disaggregated econometric input--output models of regional economies. Economic Systems Research, v. 19, n. 2, p. 125–145, 2007.

DW. Sem a Samarco, Mariana vai parar. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt/sem-a-samarco-mariana-vai-parar-diz-prefeito/a-18865871>>. Acesso em: 21 ago. 2016.

ENRÍQUEZ, M. A. R. S. Maldição ou Dádiva? Os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

ESTADÃO. MG pode perder R\$ 9,7 bi com quebra da mineradora Samarco. Disponível em: <<http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,mg-pode-perder-ate-r-9-7-bi-com-quebra-da-samarco,10000003801>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

EXAME. MG pode perder R\$ 9,7 bi com quebra da mineradora Samarco. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/mg-pode-perder-r-9-7-bi-com-quebra-da-mineradora-samarco/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

EXAME. MP pede à Justiça a readmissão de funcionários da Samarco. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/mp-pede-justica-readmissao-de-funcionarios-da-samarco/>>. Acesso em: 25 nov. 2016a.

EXAME. Retomada da Samarco em meados de 2017 é possível, diz regulador. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/retomada-da-samarco-em-meados-de-2017-e-possivel-diz-regulador/>>. Acesso em: 12 dez. 2016b.

FARIA, W. R. Efeitos regionais de investimentos em infra-estrutura de transporte rodoviário. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

FARIA, W. R.; HADDAD, E. A. Estimação das elasticidades de substituição do comércio regional do Brasil. Nova Economia, v. 24, n. 1, p. 141–168, 2014.

FARIAS, C. E. G.; COELHO, J. M. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Relatório Preparado para o CGEE/PNUD, 2002.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. Inventário de Barragem do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2015/DECLARACOES_AMBIENTAIS/GESTAO_DE_BARRAGENS/correo_inventrio_de_barragens_2014_final.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

FEMA, Federal Emergency Management Agency - US Department of Homeland Security. Multi-hazard loss estimation methodology, earthquake model, HAZUS-MH MR4 technical

manual.Department of Homeland Security, Emergency Preparedness and Response Directorate, FEMA, Mitigation Division. Washington, D.C.: . Disponível em: <http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1716-25045-6422/hazus_mr4_earthquake_tech_manual.pdf>.

FEMA, Federal Emergency Management Agency - US Department of Homeland Security. Multi-hazard loss estimation methodology, flood model, HAZUS, technical manual.Department of Homeland Security, Emergency Preparedness and Response Directorate, FEMA, Mitigation Division. Washington, D.C.: . Disponível em: <http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-8292/hzmmh2_1_fl_tm.pdf>.

FLORESTAS, I. E. DE. Portaria IEF N° 78. 31 de outubro 2016, 2016.

FOCHEZATTO, A. Modelos de equilíbrio geral aplicados na análise de políticas fiscais: uma revisão da literatura. *Análise--Revista de Administração da PUCRS*, v. 16, n. 1, 2006.

FONSECA, C. D. O espaço urbano de Mariana: sua formação e suas representações. UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Termo de Mariana: história e documentação. Ouro Preto: Ed. da Ufop, p. 27–66, 1998.

FREEMAN, P. K.; KEEN, M.; MANI, M. Dealing with Increased Risk of Natural Disasters: Challenges and OptionsIMF Working Papers, 2003. Disponível em: <<http://elibrary.imf.org/view/IMF001/01561-9781451860030/01561-9781451860030/01561-9781451860030.xml>>

FURTADO, J.; URIAS, E. Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira. IBRAM-Instituto Brasileiro de Mineração, 2013.

G1. Acordo entre Samarco e empregados evita demissão coletiva. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/11/acordo-entre-samarco-e-empregados-evita-demissao-coletiva-ate-marco17.html>>. Acesso em: 3 dez. 2016.

GIESECKE, J. A. et al. Assessment of the Regional Economic Impacts of Catastrophic Events: CGE Analysis of Resource Loss and Behavioral Effects of an RDD Attack Scenario. *Risk Analysis*, v. 32, n. 4, p. 583–600, 2012.

GOMES, M. A. DA S.; REIS, H. C. DOS; CAVALCANTI, C. L. Planejamento de lavra na S. A. Mineração da Trindade - Samitri. Belo Horizonte: .

GORDON, P. et al. The economic impacts of a terrorist attack on the US commercial aviation system. *Risk Analysis*, v. 27, n. 3, p. 505–512, 2007.

GREENSTONE, M. et al. Does hazardous waste matter? Evidence from the housing market and the superfund program. *Quarterly Journal of Economics*, 2005.

GUILHOTO, J. Um Modelo Computavel De Equilibrio Geral Para Planejamento E Analise De Politicas Agrícolas (PAPA) na Economia Brasileira. 1995.

GUILHOTO, J. J. M.; HASEGAWA, M. M.; LOPES, R. L. A estrutura teórica do Modelo Inter-regional para a Economia Brasileira - MIBRA. *Anais do II Encontro de Estudos Regionais e Urbanos*, 2002.

GUJ, P. Mineral royalties and other mining-specific taxes. International Mining for Development Centre, Australia, 2012.

HADDAD, E. A. Retornos crescentes, custo de transporte e crescimento regional. Universidade de São Paulo, 2004.

HADDAD, E. A.; TEIXEIRA, E. Economic impacts of natural disasters in megacities: the case of floods in Sao Paulo, Brazil. *Nereus*, v. 45, n. 4, p. 106–113, 2013.

HALLEGATTE, S.; DUMAS, P. Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change. *Ecological Economics*, v. 68, n. 3, p. 777–786, 2009.

HARRISON, J. et al. GEMPACK manual. GEMPACK Software, ISBN, p. 971–978, 2014.

HAYES, D. J. et al. Valuing Food Safety in Experimental Auction Markets. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 77, n. 1, p. 40–53, 1995.

HEWINGS, G. J. D.; CHANGNON, S.; DRIDI, C. Testing for the significance of extreme weather and climate events on state economies. Regional Economics Applications Laboratory, University of Illinois Urbana, Urbana, Illinois, 2000.

HEWINGS, G. J. D.; MAHIDHARA, R. Economic impacts: lost income, ripple effects, and

recovery. The great flood of, p. 205–217, 1993.

HOFFMANN, R. Estimativas das elasticidades-renda de várias categorias de despesa e de consumo, especialmente alimentos, no Brasil, com base na POF de 2008-2009. *Revista de Economia Agrícola*, v. 57, n. 2, p. 49–62, 2010.

HORRIDGE, M. ORANI-G: A generic single-country computable general equilibrium model. Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University, Australia, p. 78, 2006.

HORRIDGE, M. The TERM model and its database. In: *Economic Modeling of Water*. Springer, 2012. p. 13–35.

HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTEWER, G. The impact of the 2002-2003 drought on Australia. *Journal of Policy Modeling*, v. 27, n. 3, p. 285–308, 2005.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de Contas Nacionais. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 5 maio. 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Nacionais Trimestrais. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>>. Acesso em: 5 maio. 2016.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. Informações sobre a economia brasileira 2015. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 2015.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. Manual de procedimentos de arrecadação e cobrança da compensação financeira pela exploração de recursos naturais - CFEM. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00000804.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

ICOLD, U. Tailings Dams--Risk of Dangerous Occurrences, Lessons Learnt From Practical Experiences (Bulletin 121). Commission Internationale des Grands Barrages, Paris, 2001.

IHLANFELDT, K. R.; TAYLOR, L. O. Externality effects of small-scale hazardous waste sites: Evidence from urban commercial property markets. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 47, n. 1, p. 117–139, 2004.

JACOBS, J. *The economy of cities*. New York: .

JARAMILLO, C. Do Natural Disasters Have Long-term Effects on Growth? *Conflict*, p. 44, 2009.

JENKINS, H.; YAKOVLEVA, N. Corporate social responsibility in the mining industry: Exploring trends in social and environmental disclosure. *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 3–4, p. 271–284, 2006.

KARL, T. L. *The paradox of plenty: Oil booms and petro-states*. Univ of California Press, 1997. v. 26

KOKS, E. E. et al. Regional disaster impact analysis: comparing Input-Output and Computable General Equilibrium models. Disponível em: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/16/1911/2016/nhess-16-1911-2016.pdf>>.

KRUGMAN, P. Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade. *The American Economic Review*, v. 70, n. 5, p. 950–959, 1980.

KUME, H.; PIANI, G. Elasticidade de substituição das importações no Brasil. 2011.

KUNREUTHER, H.; PAULY, M. Insuring Against Catastrophes. *The Known, the Unknown and the Unknowable in Financial Risk Management*, n. April, 2009.

LEETH, J. D.; RUSER, J. Compensating Wage Differentials for Fatal and Nonfatal Injury Risk by Gender and Race. *Journal of Risk and Uncertainty*, v. 27, n. 3, p. 257–277, 2003.

LEITE, E. T. *Compensação financeira pela exploração de recursos minerais-CFEM: uma análise de sua contribuição para o desenvolvimento dos principais municípios mineradores de Minas Gerais*. 2009.

LEWIS, S. R. Development problems of the mineral-rich countries. n. 74, p. 157–177, 1984.

MAGALHÃES, A. S. *O comércio por vias internas e seu papel sobre o crescimento e desigualdade regional no Brasil*. Banco do Nordeste de Brasil, 2011.

- MAGALHÃES, A. S. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas, custos de redução de emissões de gases de efeito estufa e impactos sobre as famílias. 2013.
- MANSORI, K. S. The geographic effects of trade liberalization with increasing returns in transportation. *Journal of Regional Science*, v. 43, n. 2, p. 249–268, 2003.
- MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. Input-output analysis: foundations and extensions. Cambridge University Press, 2009.
- MISHRA, S.; MAZUMDAR, S.; SUAR, D. Place attachment and flood preparedness. *Journal of Environmental Psychology*, v. 30, n. 2, p. 187–197, 2010.
- MONTE-MÓR, R. A fisionomia das cidades mineradoras. Texto para discussão, n. 163, p. 1–13, 2001a.
- MONTE-MÓR, R. DE M. Gênese e Estrutura da Cidade Mineradora. Texto para discussão, n. 164, p. 1–14, 2001b.
- MURADIAN, R.; MARTINEZ-ALIER, J. Globalization and poverty: an ecological perspective. 2001.
- NAHAS, M. Mineração e dinâmica produtiva: Efeitos da indústria extrativa mineral sobre a estrutura produtiva dos municípios mineradores de Minas Gerais. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.); COMMITTEE ON ASSESSING THE COSTS OF NATURAL DISASTERS. The impacts of natural disasters a framework for loss estimation. .
- NATIONS, U. Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention. The World Bank, 2010.
- NEUMAYER, E.; PLUMPER, T. The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life Expectancy, 1981-2002. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 97, n. 3, p. 551–566, 2007.
- NOY, I.; NUALSRI, A. Fiscal storms: public spending and revenues in the aftermath of natural disasters. *Environment and Development Economics*, v. 16, n. 1, p. 113–128, 2011.

OKUYAMA, Y. Critical review of methodologies on disaster impact estimation. UN Assessment on the Economics of Disaster Risk Reduction, p. 1–27, 2011.

OKUYAMA, Y. The State-of-the-art in the Assessment of Economic Impacts of Extreme Events : Challenges and Prospects. São Paulo: 2012Disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/wp-content/uploads/Okuyama.pdf>>

OKUYAMA, Y.; CHANG, S. E. Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters. New York: Springer, 2004.

OKUYAMA, Y.; HEWINGS, G. J. D.; SONIS, M. Measuring Economic Impacts of Natural Disasters: Interregional Input-Output Analysis Using Sequential Interindustry Model. Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters, p. 77–101, 2004.

OKUYAMA, Y.; SONIS, M.; HEWINGS, G. J. D. Economic impacts of an unscheduled, disruptive event: a Miyazawa multiplier analysis. In: Understanding and interpreting economic structure. Springer, 1999. p. 113–143.

ONU. Brazilian mine disaster – UN experts call for a timely resolution after the settlement suspension. Disponível em: <<http://www.ohchr.org/en/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=20242&LangID=E>>. Acesso em: 2 jul. 2016.

OTTO, J. Mining royalties: A global study of their impact on investors, government, and civil society. World Bank Publications, 2006.

PDDI. Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. v. 1, 2011.

PEREIRA, G. A natureza (dos) nos fatos urbanos: produção do espaço e degradação ambiental. Desenvolvimento e meio ambiente, v. 3, 2001.

PETER, M. W. et al. The theoretical structure of Monash-MRF. .

PETTERSEN, I.; SKJELVILJ, J. M.; KROKEIDE, N. A. Exploiting International Financial Markets to Manage Natural Hazard Risks in Latin America. Sustainable Development Department Technical Papers Series, IADB, 2005.

PINHEIRO, J. C. DE F. A mineração brasileira de ferro e a reestruturação do setor siderúrgico. Campinas, Instituto de Geociências/Unicamp (Tese de Doutorado), 2000.

POEMAS. Antes fosse mais leve a carga : avaliação dos aspectos econômicos , políticos e sociais do desastre da Samarco / Vale / BHP em Mariana (MG) Relatório Final. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/poemas/files/2014/07/PoEMAS-2015-Antes-fosse-mais-leve-a-carga-versão-final.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

QUARESMA, L. F. Perfil da mineração de ferro. Relatório Técnico, v. 18, 2009.

RAUSCHER, M. Global trade analysis: Modeling and applications. Blackwell PUBL LTD 108 Cowley RD, Oxford OX4 1JF, Oxon, England, 1999.

REUTERS. Retorno da Samarco até meados de 2017 é viável, diz diretor da Vale. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/retorno-da-samarco-ate-meados-de-2017-viavel-diz-diretor-da-vale-20308837>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

ROMEIRO, A.; BOTELHO, A. V. Dicionário histórico das Minas Gerais: período colonial. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2003.

ROSE, A. et al. The Regional Economic Impact of an Earthquake: Direct and Indirect Effects of Electricity Lifeline Disruptions. *Journal of Regional Science*, v. 37, n. 3, p. 437–458, 1997.

ROSE, A. Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In: *Modeling spatial and economic impacts of disasters*. Springer, 2004. p. 13–36.

ROSE, A.; GUHA, G.-S. Computable general equilibrium modeling of electric utility lifeline losses from earthquakes. In: *Modeling spatial and economic impacts of disasters*. Springer, 2004. p. 119–141.

ROSE, A.; LIAO, S.-Y. Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions. *Journal of Regional Science*, v. 45, n. 1, p. 75–112, 2005.

ROSE, A. Z. et al. The economic impacts of the September 11 terrorist attacks: a computable general equilibrium analysis. *Peace Economics, Peace Science and Public Policy*, v. 15, n. 2, 2009.

SEDRO/MG. Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana - MG. Disponível em: <http://www.urbano.mg.gov.br/images/NOTICIAS/2016/relatorio_final.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2016.

SESSA, C. B.; SIMONATO, T. C.; DOMINGUES, E. P. O Ciclo das Commodities e Crescimento Regional Desigual no Brasil: uma aplicação de Equilíbrio Geral Computável (EGC). Anais do 44º Encontro Nacional de Economia - ANPEC, 2016.

SHAFER, D. M. Winners and losers: How sectors shape the developmental prospects of states. Cornell University Press, 1994.

SILVA, A. Impacto do turismo sobre o patrimônio histórico-cultural de Ouro Preto e Mariana.

SKOUFIAS, E. Economic crises and natural disasters: Coping strategies and policy implications. World Development, v. 31, n. 7, p. 1087–1102, 2003.

SOBREIRA, F. G. Susceptibilidade a processos geológicos e suas consequências na área urbana de Mariana, MG. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, v. 1, p. 43–60, 2001.

SOUZA, C. Políticas Públicas: uma revisão da literatura. Political Science, v. 8, n. 2003, p. 20–45, 2006.

SOUZA, L. A. DE; SOBREIRA, F. G.; PRADO FILHO, J. F. DO. Cartografia e diagnóstico geoambiental aplicados ao ordenamento territorial do município de Mariana, MG. 2005.

TATANO, H.; YAMAGUCHI, K.; OKADA, N. Risk Perception, Location Choice and Land-use Patterns under Disaster Risk: Long-term Consequences of Information Provision in a Spatial Economy. In: OKUYAMA, Y.; CHANG, S. E. (Eds.). . Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 163–177.

TILTON, J. E. Determining the optimal tax on mining. Natural Resources Forum. Anais...2004

VALE. Minério de ferro e pelotas. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/iron-ore-pellets/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

VALOR. PIB de MG cairia de 1% a 2% com fechamento da Samarco, avalia Pimentel. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/4341698/pib-de-mg-cairia-de-1-2-com-fechamento-da-samarco-avalia-pimentel>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

VASCONCELLOS, S. DE. Arquitetura no Brasil: pintura mineira e outros temas. . v. 9

VIGDOR, J. The Economic Aftermath of Hurricane Katrina. *Journal of Economic Perspectives*, v. 22, n. 4, p. 135–154, 2008.

WEST, C. T.; LENZE, D. G. Modeling the Regional Impact of Natural Disaster and Recovery: A General Framework and an Application to Hurricane Andrew. *International Regional Science Review*, v. 17, n. 2, p. 121–150, 1994.

WHITMORE, A. The emperors new clothes: Sustainable mining? *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 3, p. 309–314, 2006.

WING, I. S. Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technic Technical Note No. 6, 2004.

APÊNDICE A – FERRAMENTA E MÉTODO DE SOLUÇÃO

O Modelo DamAge pode ser simplificado como um modelo EGC em que um vetor de equilíbrio V , de dimensão n , satisfaz um sistema de equações como:

$$F(V) = 0 \quad (1)$$

onde F é um vetor funcional de dimensão n . Assumindo F como diferenciável e o número de variáveis n maior que o número de equações m , a demanda do consumidor origina-se diretamente do problema de maximização de utilidade da família representativa sujeita à restrição orçamentária, gerando as equações de demanda, enquanto as preferências e as tecnologias originam-se de funções de produção e funções de utilidade diferenciáveis²⁷ (HARRISON *et al.*, 2014).

Trata-se de um modelo multisetorial do tipo Johansen, composto por grandes sistemas com diversas formas funcionais não-lineares. O método de Johansen propõe para a solução de sistemas desse porte a derivação, a partir de (1), de um sistema de equações lineares no qual as variáveis são tomadas como variações percentuais ou logarítmicas dos componentes de V , e seus resultados apresentados em forma de taxas de crescimento positivas ou negativas.

Uma vez que a solução dessas equações linearizadas oferecem apenas resultados aproximados, é conveniente o uso de métodos para aproximações lineares no intuito de reduzir o esforço computacional e minimizar os erros da solução. Esses métodos para aumento de precisão são conhecidos como *multistep* ou métodos de correção de erros e geralmente consistem no particionamento dos choques e aproximações lineares para gerar respostas nas variáveis endógenas.

A principal ferramenta no acompanhamento de todas as fases de desenvolvimento do modelo e sua efetiva realização de simulações é o *software* GEMPACK. Trata-se de uma ferramenta para auxílio não só na manipulação de dados em grande escala, como também no processo de solução através dos diversos métodos de linearização disponíveis no *software*. Nesse sentido, o GEMPACK oferece além do difundido método Euler, aproximações sucessivas pelo método

²⁷ Mais detalhes sobre a álgebra operacional utilizada no *software* GEMPACK pode ser encontrada em Harrison *et al.* (2014).

Midpoint e *Gragg* de até 2, 4 e 6 passos, possibilitando resultados equivalentes a outros métodos de solução não-lineares de maior complexidade computacional.

APÊNDICE B – TABELAS DE PARTICIPAÇÕES E RESULTADOS

Tabela 22 – Participação regional no PIB total por setor (%; região\setor).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,1	8,4	0,0	0,4	0,8	0,3	1,0	0,2	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,9	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,4	0,5	0,4
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	4,2	3,0	3,4	1,8	2,1	2,5	2,3	2,8	2,4	2,3	2,6	2,5
37	0,0	0,1	0,0	0,1	10,2	0,0	1,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,1	0,3	0,3	0,3
38	0,0	0,0	0,0	0,2	11,6	0,0	0,1	1,2	0,3	0,3	0,7	0,9	0,5	0,3	0,6	1,3	0,5
39	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,9	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
40	0,0	0,0	0,0	0,1	5,7	0,0	0,2	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
41	0,0	0,0	0,0	0,1	7,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,6	0,1	0,5	0,2
42	0,0	0,0	0,0	0,2	2,3	0,0	0,0	1,1	0,3	0,2	0,3	0,0	0,2	0,5	0,2	0,3	0,3
43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	2,5	0,2
45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
46	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
47	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	10,7	14,0	2,9	4,6	3,9	1,8	4,4	5,4	7,6	6,8	5,0	4,6	4,4	5,8	6,9	6,3	5,5
51	2,5	4,2	1,2	2,7	35,1	3,2	2,0	5,2	2,9	3,5	1,9	3,2	1,2	5,2	2,5	2,1	3,1
52	1,7	1,7	1,2	3,4	0,0	2,3	4,7	3,7	3,7	4,6	3,2	3,7	2,8	3,3	2,9	2,6	3,3
53	85,0	79,4	94,7	84,6	2,2	88,4	82,8	76,3	81,3	78,8	85,0	84,1	86,6	80,0	82,8	80,0	82,6
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do modelo DamAge.

**Tabela 23 – Participação setorial no PIB das regiões consideradas no modelo DamAge
(%, região\setor).**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
1	9,0	30,6	0,0	21,2	0,0	0,0	0,0	7,3	9,3	0,0	4,7	0,0	0,0	17,5	0,0	0,4	100
2	0,0	0,1	0,0	5,8	23,2	0,0	0,9	16,0	10,6	11,5	15,5	0,2	3,1	8,3	3,1	1,7	100
3	1,8	13,3	0,0	23,0	0,0	0,0	1,5	18,6	2,8	0,3	10,5	0,0	0,0	26,0	0,0	2,1	100
4	24,8	40,5	0,0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	4,4	0,0	0,0	10,7	0,0	2,0	100
5	4,3	5,1	0,2	22,2	0,0	6,1	0,0	1,3	12,0	1,5	20,1	0,7	2,9	11,8	3,8	7,9	100
6	1,3	33,7	0,0	17,1	0,0	0,0	0,0	0,5	12,2	3,9	8,7	0,0	0,0	22,6	0,0	0,0	100
7	0,0	0,2	0,0	49,5	0,0	0,0	0,0	5,9	6,2	21,5	8,0	0,0	0,0	7,3	0,5	0,7	100
8	20,8	23,9	0,0	18,2	0,0	0,0	0,0	1,1	10,4	0,4	8,5	0,0	0,0	13,0	0,7	3,0	100
9	7,3	26,2	0,0	43,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	100
10	4,8	2,1	0,0	22,4	0,0	0,1	0,0	9,3	18,6	2,3	23,1	1,8	3,3	5,1	5,5	1,4	100
11	20,5	17,1	0,2	21,1	0,0	1,9	2,3	0,3	10,5	1,5	15,2	0,0	0,0	6,9	0,8	1,8	100
12	9,5	36,2	0,0	37,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	100
13	3,2	48,4	0,0	14,2	0,0	0,0	0,0	2,3	7,2	0,8	13,9	0,0	0,0	9,5	0,6	0,0	100
14	5,1	15,5	0,0	61,9	0,0	0,0	0,0	2,4	4,0	0,0	1,7	0,0	0,0	9,3	0,0	0,0	100
15	2,4	29,0	0,0	15,3	0,0	0,0	2,4	8,2	11,0	5,1	14,2	0,0	0,0	11,4	1,0	0,0	100
16	0,1	2,4	0,1	26,2	0,1	0,1	1,4	5,7	15,2	3,3	26,1	2,6	6,9	4,9	3,1	1,8	100
17	5,6	14,3	0,0	22,2	0,0	0,0	0,0	1,2	17,1	0,0	20,9	10,0	0,0	7,4	1,3	0,0	100
18	4,4	19,0	0,0	21,6	0,0	0,0	0,0	2,4	16,1	3,4	17,4	0,0	0,0	11,7	2,2	1,8	100
19	0,0	0,0	0,0	37,3	0,0	0,2	0,2	16,6	11,6	2,6	18,7	1,6	3,2	2,6	3,3	2,2	100
20	33,4	19,8	1,5	14,5	1,4	0,0	0,0	0,3	3,9	0,0	5,3	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	100
21	11,6	29,1	0,0	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	3,0	8,8	0,0	0,0	27,3	0,0	0,0	100
22	5,3	42,6	0,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0	10,8	0,0	0,0	16,8	0,0	0,7	100
23	5,9	33,1	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	2,8	3,6	0,0	0,0	17,7	0,5	0,0	100
24	3,4	6,2	0,0	22,6	0,0	0,0	0,0	3,9	13,6	1,7	4,3	0,0	0,0	43,0	0,0	1,3	100
25	21,5	20,7	0,6	15,0	0,0	0,0	0,7	0,3	10,8	2,2	14,1	5,0	0,0	6,6	1,3	1,0	100
26	2,4	11,0	0,1	34,5	0,0	0,0	0,0	2,1	14,2	0,7	18,0	0,5	0,0	12,6	3,3	0,6	100
27	11,0	25,2	0,0	18,0	0,0	1,9	0,0	1,7	11,9	1,9	18,1	0,0	0,0	7,7	1,6	0,9	100
28	0,3	1,0	0,0	32,9	0,0	0,0	14,7	7,5	11,0	6,9	9,3	1,7	2,8	10,8	1,0	0,0	100
29	3,5	8,0	0,0	42,9	0,0	0,0	0,0	1,7	12,3	7,2	11,6	0,0	0,0	11,8	0,2	0,7	100
30	3,5	54,1	0,0	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	4,9	9,2	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	100
31	15,0	11,8	0,2	33,8	0,0	0,0	0,0	0,7	13,4	3,7	6,4	0,0	0,0	12,0	0,8	2,4	100
32	19,6	45,4	0,0	9,4	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	100
33	3,4	25,5	0,0	18,3	0,0	0,0	0,0	7,2	8,9	0,0	7,3	0,0	0,0	29,4	0,0	0,0	100
34	0,0	0,0	0,0	39,5	0,0	0,0	1,6	13,7	10,3	2,2	16,9	1,1	3,0	6,1	2,2	3,3	100
35	4,5	56,8	0,0	9,3	0,0	0,0	0,0	2,2	7,0	0,6	3,1	0,0	0,0	16,5	0,0	0,0	100
36	0,0	0,0	0,0	36,8	0,0	3,2	0,8	8,6	7,2	3,0	23,8	1,7	4,3	6,4	2,4	1,7	100
37	0,0	0,2	0,0	5,7	28,0	0,0	3,2	12,8	11,1	3,4	20,6	1,0	6,8	3,0	2,7	1,4	100
38	0,0	0,0	0,0	11,1	18,8	0,0	0,1	14,5	5,7	1,9	30,7	3,0	3,6	3,5	3,0	4,0	100
39	0,0	0,0	0,0	7,3	24,5	0,0	0,0	3,9	9,4	21,5	17,2	0,1	2,4	9,6	2,2	1,9	100
40	0,1	0,0	0,0	13,1	25,5	0,0	0,8	22,8	10,3	2,8	11,7	1,1	1,6	6,8	1,7	1,7	100
41	0,0	0,1	0,0	18,6	31,8	0,0	0,0	2,6	2,9	0,4	15,8	2,0	0,0	20,1	1,6	3,9	100
42	0,0	0,0	0,0	15,5	6,3	0,1	0,1	23,1	9,3	2,8	25,6	0,2	2,3	11,1	2,1	1,5	100
43	0,4	4,3	0,0	5,9	11,2	0,0	0,0	33,9	5,4	1,9	20,6	0,0	6,6	6,7	1,0	2,4	100
44	0,1	0,1	0,0	3,8	22,3	0,0	0,0	7,3	5,7	8,9	14,3	1,7	1,3	9,7	1,7	23,0	100
45	6,8	1,4	0,0	7,9	61,3	0,0	0,0	0,6	4,9	1,7	7,4	0,0	0,0	5,5	0,4	2,2	100
46	0,0	0,1	0,0	40,5	16,5	0,0	0,0	1,1	11,4	1,6	15,6	1,1	0,8	7,3	2,5	1,4	100
47	0,1	0,8	0,0	20,2	23,6	0,0	0,0	9,8	6,3	1,4	7,4	0,0	0,0	26,6	0,6	3,3	100
48	0,1	0,3	0,0	25,9	11,9	0,0	0,0	4,0	11,7	4,4	20,0	0,9	0,0	18,7	1,2	0,9	100
49	0,1	1,0	0,0	20,7	25,2	0,0	0,0	10,4	9,1	6,7	13,9	3,7	1,4	7,1	0,5	0,3	100
50	5,4	3,5	0,1	26,0	0,6	0,6	0,5	6,3	13,9	4,6	21,7	1,5	3,1	7,1	3,4	1,9	100
51	2,2	1,8	0,0	27,1	9,5	2,0	0,4	10,8	9,4	4,2	14,5	1,9	1,5	11,3	2,1	1,1	100
52	1,5	0,7	0,0	31,9	0,0	1,4	0,9	7,3	11,6	5,3	23,4	2,1	3,4	6,8	2,4	1,3	100
53	2,9	1,3	0,1	31,8	0,0	2,1	0,7	6,0	9,9	3,5	24,8	1,9	4,1	6,6	2,7	1,6	100
Total	2,8	1,4	0,1	31,0	0,8	2,0	0,6	6,5	10,1	3,7	24,1	1,8	3,9	6,8	2,7	1,6	100

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do modelo DamAge.

Tabela 24 – Resultados do Cenário Base sobre indicadores econômicos nas regiões consideradas pelo modelo DamAge (var. % acumulada, 2014-2020).

Nº	Região	Consumo das famílias	Exportações	Investimento	Consumo do governo
1	Barra Longa	1,46	2,32	-1,02	2,43
2	Mariana	1,98	2,3	2,45	2,43
3	Rio Doce	2,15	2,35	17,56	2,43
4	Santa C. do Escalvado	1,47	2,28	-9,93	2,43
5	Aimorés	1,79	2,36	-6,18	2,43
6	Alpercata	1,43	2,36	-5,07	2,43
7	Belo Oriente	1,89	2,36	11,53	2,43
8	Bom Jesus do Galho	1,83	2,28	-7,18	2,43
9	Bugre	0,7	2,46	-10,53	2,43
10	Caratinga	2,86	2,28	8,79	2,43
11	Conselheiro Pena	1,82	2,41	-8,94	2,43
12	Córrego Novo	2,41	2,39	-9,38	2,43
13	Dionísio	2,23	2,33	-2,28	2,43
14	Fernandes Tourinho	1,62	2,35	-5,23	2,43
15	Galiléia	1,68	2,3	4,68	2,43
16	Governador Valadares	2,16	2,46	-0,83	2,43
17	Iapú	3,64	2,26	-2,88	2,43
18	Ipaba	1,72	2,19	-2,24	2,43
19	Ipatinga	2,7	2,28	24,19	2,43
20	Itueta	1,25	2,33	-14,63	2,43
21	Marlândia	1,06	2,2	-10,65	2,43
22	Naque	0,95	2,27	-7,86	2,43
23	Periquito	1,15	2,24	-8,7	2,43
24	Pingo D'Água	1,63	2,23	-9,18	2,43
25	Raul Soares	2,11	2,31	-7,95	2,43
26	Resplendor	1,61	2,39	-4,4	2,43
27	Rio Casca	1,63	2,32	-4,32	2,43
28	Santana do Paraíso	1,69	2,22	-1,67	2,43
29	São Domingos do Prata	1,44	2,37	-4,33	2,43
30	São José do Goiabal	1,86	2,29	-5,26	2,43
31	São Pedro dos Ferros	1,8	2,56	-5,65	2,43
32	Sem-Peixe	0,74	2,32	-10,05	2,43
33	Sobralia	1,31	2,28	-2,06	2,43
34	Timóteo	2,61	2,34	17,81	2,43
35	Tumiritinga	0,84	2,3	-5,77	2,43
36	Belo Horizonte/ Betim/ Contagem	1,94	2,39	2,89	2,43
37	Itabira	2,09	2,32	-3,37	2,43
38	Nova Lima	2,1	2,32	1,3	2,43
39	Congonhas	1,42	2,38	-8,55	2,43
40	Itabirito	2,47	2,24	9,93	2,43
41	São G. do Rio Abaixo	1,11	2,42	-14,39	2,43
42	Ouro Preto	1,77	2,16	23,15	2,43
43	C. do Mato Dentro	4,12	2,22	27,79	2,43
44	Brumadinho	1,52	2,4	-7,55	2,43
45	Belo Vale	0,83	2,43	-17,62	2,43
46	Barão de Cocais	2,01	2,48	-6,4	2,43
47	Catas Altas	1,37	2,43	-5,33	2,43
48	Rio Piracicaba	1,41	2,42	-5,84	2,43
49	Santa Bárbara	2,38	2,38	-1,56	2,43
50	Resto de Minas Gerais	2,15	2,31	1,85	2,43
51	Pará	1,87	1,92	2,04	2,43
52	Espírito Santo	2,16	1,22	2,64	2,43
53	Resto do Brasil	2,49	2,55	2,46	2,43

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Tabela 25 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos nas regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário sem retomada (var. % acumulada, 2016-2020).

Nº	Região	PIB	Exportações	Consumo das famílias	Emprego
1	Barra Longa	-8,89	-5,5	-4,09	-3,96
2	Mariana	-49,85	-16,86	-1,74	-1,65
3	Rio Doce	-5,15	-4,49	-1,86	-1,76
4	Santa C. do Escalvado	-1,52	-3,63	-1,14	-1,06
5	Aimorés	-0,15	-1,34	-0,15	-0,08
6	Alpercata	-0,29	-1,14	-0,33	-0,25
7	Belo Oriente	-1,89	-0,99	-0,83	-0,75
8	Bom Jesus do Galho	-0,02	-2,21	-0,11	-0,04
9	Bugre	-0,82	-0,93	-0,92	-0,84
10	Caratinga	-0,04	-1,89	-0,11	-0,04
11	Conselheiro Pena	-0,01	-0,71	-0,08	-0,01
12	Córrego Novo	-4,08	-1,6	-2,25	-2,15
13	Dionísio	-0,5	-1,28	-0,58	-0,5
14	Fernandes Tourinho	-0,49	-1,11	-0,42	-0,34
15	Galiléia	-0,48	-0,79	-0,49	-0,41
16	Governador Valadares	-0,19	0,02	-0,22	-0,14
17	Iapú	-0,01	-0,93	-0,09	-0,02
18	Ipaba	-0,02	-0,8	-0,11	-0,03
19	Ipatinga	-0,12	-0,74	-0,25	-0,17
20	Itueta	0,19	-1,14	-0,09	-0,01
21	Marliéria	-0,01	-0,82	-0,09	-0,01
22	Naque	-0,01	-0,76	-0,08	0
23	Periquito	-0,42	-0,84	-0,34	-0,26
24	Pingo D'Agua	-0,03	-1,29	-0,11	-0,04
25	Raul Soares	0	-2,51	-0,07	0
26	Resplendor	-0,19	-1,1	-0,22	-0,15
27	Rio Casca	-0,01	-2,91	-0,08	-0,01
28	Santana do Paraíso	-0,04	-0,79	-0,14	-0,06
29	São Domingos do Prata	-0,01	-0,65	-0,08	-0,01
30	São José do Goiabal	-0,18	-2	-0,24	-0,16
31	São Pedro dos Ferros	-0,03	-2,7	-0,12	-0,05
32	Sem-Peixe	-0,31	-2,89	-0,21	-0,14
33	Sobralia	-0,02	-1,09	-0,11	-0,03
34	Timóteo	-0,13	-1,15	-0,31	-0,23
35	Tumiritinga	0	-0,97	-0,07	0,01
36	Belo Horizonte/ Betim/ Contagem	-0,01	0,05	-0,08	0
37	Itabira	4,01	1,25	-0,07	0,01
38	Nova Lima	2,72	1,22	-0,08	-0,01
39	Congonhas	3,52	0,92	-0,08	0
40	Itabirito	3,99	1,03	-0,07	0,01
41	São G. do Rio Abaixo	4,37	1,22	-0,1	-0,02
42	Ouro Preto	1,03	-0,58	-0,11	-0,03
43	C. do Mato Dentro	1,74	0,46	-0,09	-0,02
44	Brumadinho	3,06	1,2	-0,09	-0,02
45	Belo Vale	8,31	0,57	-0,15	-0,08
46	Barão de Cocais	2,86	0,47	0,03	0,1
47	Catas Altas	3,31	-0,44	-0,1	-0,02
48	Rio Piracicaba	1,84	0,6	-0,1	-0,02
49	Santa Bárbara	4,03	1,03	-0,09	-0,01
50	Resto de Minas Gerais	0,09	1,31	-0,06	0,01
51	Pará	1,5	0,02	-0,07	0,01
52	Espírito Santo	-0,04	-5,74	-0,15	-0,07
53	Resto do Brasil	0	-0,02	-0,07	0

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

Tabela 26 – Impacto do desastre minerário de Mariana sobre indicadores econômicos das regiões consideradas no Modelo DamAge no cenário com retomada (var. % acumulada, 2016-2020).

Nº	Região	PIB	Exportações	Consumo das famílias	Emprego
1	Barra Longa	-8,88	-2,94	-3,98	-3,96
2	Mariana	-33,69	-11,77	-1,22	-1,22
3	Rio Doce	-5,14	-2,38	-1,74	-1,75
4	Santa C. do Escalvado	-1,51	-1,65	-1,03	-1,05
5	Aimorés	-0,14	-0,27	-0,04	-0,07
6	Alpercata	-0,29	-0,18	-0,23	-0,25
7	Belo Oriente	-1,89	-0,16	-0,72	-0,74
8	Bom Jesus do Galho	-0,02	-0,75	-0,01	-0,04
9	Bugre	-0,82	-0,05	-0,82	-0,84
10	Caratinga	-0,03	-0,57	0,01	-0,02
11	Conselheiro Pena	0	0,1	0,03	0
12	Córrego Novo	-4,07	-0,41	-2,12	-2,12
13	Dionísio	-0,49	-0,23	-0,46	-0,49
14	Fernandes Tourinho	-0,5	-0,14	-0,32	-0,35
15	Galiléia	-0,46	0,03	-0,37	-0,39
16	Governador Valadares	-0,17	-0,03	-0,1	-0,13
17	Iapú	0	-0,02	0,02	-0,01
18	Ipaba	0	0,05	0,02	-0,01
19	Ipatinga	-0,01	0,12	0,05	0,02
20	Itueta	0,19	-0,14	0,03	-0,01
21	Marliéria	0	0,04	0,04	0
22	Naque	0	0,07	0,03	0
23	Periquito	-0,4	-0,01	-0,22	-0,24
24	Pingo D'Agua	0	-0,22	0,03	0
25	Raul Soares	0	-0,93	0,03	0
26	Resplendor	-0,16	-0,15	-0,1	-0,13
27	Rio Casca	0	-1,17	0,03	0
28	Santana do Paraíso	0	0,07	0,03	0
29	São Domingos do Prata	0,01	0,14	0,04	0,01
30	São José do Goiabal	-0,17	-0,63	-0,12	-0,15
31	São Pedro dos Ferros	-0,01	-1,05	0,01	-0,02
32	Sem-Peixe	-0,32	-1,18	-0,11	-0,14
33	Sobralia	-0,01	-0,11	0,01	-0,02
34	Timóteo	0	-0,11	0,03	0
35	Tumiritinga	0,01	-0,04	0,04	0,01
36	Belo Horizonte/ Betim/ Contagem	0,01	0,01	0,05	0,02
37	Itabira	4,03	1,17	0,1	0,07
38	Nova Lima	2,73	1,17	0,06	0,03
39	Congonhas	3,54	0,99	0,08	0,05
40	Itabirito	4,01	1,06	0,1	0,07
41	São G. do Rio Abaixo	4,39	1,16	0,06	0,03
42	Ouro Preto	1,05	0,19	0,03	0
43	C. do Mato Dentro	1,76	0,75	0,05	0,01
44	Brumadinho	3,09	1,14	0,06	0,03
45	Belo Vale	8,36	0,81	0,1	0,07
46	Barão de Cocais	2,91	0,83	0,25	0,22
47	Catas Altas	3,33	0,27	0,06	0,03
48	Rio Piracicaba	1,86	0,83	0,05	0,01
49	Santa Bárbara	4,05	1,05	0,09	0,05
50	Resto de Minas Gerais	0,11	1,24	0,06	0,03
51	Pará	1,52	-0,06	0,06	0,03
52	Espírito Santo	-0,01	-0,39	0	-0,03
53	Resto do Brasil	0,01	0,29	0,03	0

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo DamAge.

ANEXO A – EQUAÇÕES COMPORTAMENTAIS DO MODELO DAMAGE

As equações comportamentais descritas nesta seção foram apresentadas no trabalho de Faria (2009) e Magalhães (2011), tais equações são relativamente padronizadas, aplicadas a qualquer número de modelos na tradição ORANI (DIXON, 1982), como é o caso do Modelo DamAge construído para o presente trabalho.

A seguir, apresenta-se novamente os dados da Tabela 2 acrescidos de índices dos principais conjuntos do modelo, com intuito de facilitar a compreensão do desenvolvimento das equações adiante.

Tabela 27 – Índices e headers do Modelo DamAge.

Índice	Header	Descrição	Elementos	Tamanho
r	ORG	Regiões de origem	(*)	53
d	DST	Regiões de destino	(*)	53
p	PRD	Regiões de margem produção	(*)	53
i	IND	Indústrias	(**)	16
c	COM	Commodities	(**)	16
m	MAR	Margens	Comércio	
			Transporte	2
s	SRC	Origem	Importado	
			Doméstico	2
	CFAC	Conjunto de variáveis operacionais necessárias para extensão dinâmica		14
u	USR	Usuários demandantes	(**)	
			Famílias	
			Investimento	
			Governo	
			Exportações	20

* 53 regiões descritas na [Figura 21](#).

** 16 setores descritos na [Tabela 4](#).

Fonte: Elaboração Própria. Baseado em Horridge (2012).

1.1 Escolha dos usuários entre produtos nacionais e importados

Inicia-se detalhando o comportamento teórico do modelo com as equações determinando a demanda composta de produtos nacionais e importados utilizados pelos produtores, famílias e investidores na região d. Cada usuário minimiza custo utilizando uma CES (elasticidade de

substituição constante) hierarquizada²⁸. Várias hierarquias seguem este padrão, sendo que cada uma abrange uma equação de quantidade e uma de preço.

A demanda intermediária dos produtores do setor i , de origem s com destino a região d , $XINT(c,s,i,d)$, é proporcional ao total de bens compostos c demandados pela setor i com destino a d , $XINT_S(c,i,d)$, e por um termo de preço elevado às elasticidades de substituição entre produtos nacionais e bens importados do bem c , $SIGMADOMIMP(c)$. O termo de preço é relativo aos preços de compra do bem c com destino a d , $PPUR(c,s,i,d)$ e aos preços médios de compra na origem, $PPUR_S(c,i,d)$. Mudanças nos preços relativos dos produtos nacionais e importados induzem substituição em favor de bens relativamente mais baratos.

$$XINT(c,s,i,d)/XINT_S(c,i,d) = [PPUR(c,s,i,d)/PPUR_S(c,i,d)]^{-[SIGMADOMIMP(c)]} \quad (1.1.1)$$

Os preços médios de compra ao longo de todas as fontes $PPUR_S(c,i,d)$, multiplicado pela quantidade composta do bem c pelo setor i em d $XINT_S(c,i,d)$ iguala o valor da soma ao longo das fontes de $PPUR(c,s,i,d)$ multiplicada por $XINT(c,s,i,d)$.

$$PPUR_S(c,i,d)*XINT_S(c,i,d) = \sum \{s, SRC, PPUR(c,s,i,d)*XINT(c,s,i,d)\} \quad (1.1.2)$$

Da mesma forma, a demanda por produtos domésticos e importados das famílias na região d , $XHOU(c,s,d)$, é proporcional ao total de bens compostos c demandados pelas famílias na região d , $XHOU_S(c,d)$ e ao termo de preço elevado às elasticidades de substituição entre bens domésticos e importados, $SIGMADOMIMP(c)$. O termo de preço é o preço relativo de compra do bem c demandados pelas famílias com origem s na região de destino d , $PPUR(c,s,"Hou",d)$, e os preços do bem c ao consumidor em d é $PHOU(c,d)$.

$$XHOU(c,s,d)/XHOU_S(c,d) = [PPUR(c,s,"HOU",d)/PHOU(c,d)]^{-[SIGMADOMIMP(c)]} \quad (1.1.3)$$

Do mesmo modo, o termo de preço $PPUR_S(c,"Hou",d)$ multiplicado pela quantidade composta do bem c das famílias em d , $XHOU_S(c,d)$, é igual a soma ao longo das fontes de $PPUR(c,s,"Hou",d)$, multiplicado por $XINT(c,s,"Hou",d)$.

$$PPUR_S(c,"hou",d)*XHOU_S(c,d) = \sum \{s, SRC, PPUR(c,s,"hou",d)*XHOU(c,s,d)\} \quad (1.1.4)$$

²⁸ Se $CES = 1$, a demanda é simplificada a uma Cobb-Douglas hierarquizada (i.e., participações no gasto permanecem constantes como mudança nos preços relativos). Se $CES = 0$, a demanda segue a forma Leontief (i.e., proporções físicas constantes independentes de preço).

A demanda por produtos domésticos e importados dos investidores na região d , $XINV(c,s,d)$ é proporcional à demanda composta de bens dos investidores totais, $XINV_S(c,d)$ e ao preço elevado às elasticidades de substituição entre produtos domésticos e importados do bem c , $SIGMADOMIMP(c)$. O termo de preço é o preço de compra por origem dos bens de investimento.

$$XINV(c,s,d)/XINV_S(c,d)=[PPUR(c,s,"INV",d)/PINVEST(c,d)]^{\wedge-SIGMADOMIMP(c)} \quad (1.1.5)$$

O preço agregado do bem c no setor de $PPUR_S(c,"inv",d)$, multiplicado pela quantidade de investimento composto, $XINV_S(c,d)$ é igual à soma das origens de $PPUR(c,s,"inv",d)$, multiplicado por $XINV(c,s,"inv",d)$.

$$PPUR_S(c,"inv",d)*XINV_S(c,d) = \sum \{s, SRC, PPUR(c,s,"inv",d)*XINV(c,s,d)\} \quad (1.1.6)$$

1.2 Composição do trabalho por tipo

Em seguida, consideramos os tipos de trabalho para minimizar os custos do fator trabalho. Este aninhamento é expresso pelas equações que determinam a demanda por trabalho da indústria i empregando diferentes ocupações, $XLAB(i,o,d)$, e os salários por indústria, ocupação e região, $PLAB(i,o,d)$.

$XLAB(i,o,d)$ é proporcional ao insumo trabalho efetivo, $XLAB_O(c,i,d)$ e um termo de salário elevado às elasticidades de substituição entre o trabalho em cada indústria i , $SIGMALAB(i)$. O termo salário é composto de taxas de salário, $PLAB(i,o,d)$, em relação ao preço composto do trabalho, $PLAB_O(i,d)$. Mudanças nos preços relativos dos diferentes tipos de trabalho induzem substituição em favor de ocupações relativamente mais baratas.

$$XLAB(i,o,d)/XLAB_O(i,d) = [PLAB(i,o,d)/PLAB_O(i,d)]^{\wedge-SIGMALAB(i)} \quad (1.2.1)$$

Obtém-se a solução dos salários a partir da equação salarial, que representa o rendimento composto do trabalho, $PLAB_O(i,d)$.

$$PLAB_O(i,d)*XLAB_O(i,d) = \sum \{o, OCC, PLAB(i,o,d)* XLAB(i,o,d)\} \quad (1.2.2)$$

1.3 Demanda por fatores primários

Tendo calculado as demandas por trabalho aninhadas, necessita-se agora explicar as demandas por fatores primários baseadas na minimização de custo. Trabalho efetivo, capital, custo e terra são combinados usando uma função CES. $XLAB_O$ é proporcional à demanda global por

fatores primários, $XPRIM(i, d)$, e ao termo de preço elevado à elasticidade de substituição dos fatores primários, $SIGMAPRIM(i)$. Dividiu-se também a quantidade e multiplicou-se o preço pelo termo de mudança tecnológica no trabalho, $ALAB_O(i, d)$, para obter a demanda por trabalho efetivo. O termo de preço é composto do preço relativo do trabalho, $PLAB_O(i, d)$, e pelo preço dos fatores compostos, $PPRIM(i, d)$. Mudanças nos termos de preços induzem substituição em favor dos fatores relativamente mais baratos.

$$XLAB_O(i, d) / [XPRIM(i, d) * ALAB_O(i, d)] = [PLAB_O(i, d) * ALAB_O(i, d) / PPRIM(i, d)]^{-SIGMAPRIM(i)} \quad (1.3.1)$$

As mesmas equações de otimização se aplicam a demanda por capital $XCAP(i, d)$ (2.3.2) e a demanda por terra $XLND(i, d)$.

$$XCAP(i, d) / [XPRIM(i, d) * ACAP(i, d)] = [PCAP(i, d) * ACAP(i, d) / PPRIM(i, d)]^{-SIGMAPRIM(i)} \quad (1.3.2)$$

$$XLND(i, d) / [XPRIM(i, d) * ALND(i, d)] = [PLND(i, d) * ALND(i, d) / PPRIM(i, d)]^{-SIGMAPRIM(i)} \quad (1.3.3)$$

Os preços dos fatores primários são determinados pela soma do valor dos componentes. Isso resolve para o preço dos fatores compostos, $PPRIM(i, d)$.

$$PPRIM(i, d) * XPRIM(i, d) = PLAB_O(i, d) * XLAB_O(i, d) + PCAP(i, d) * XCAP(i, d) + PLND(i, d) * XLND(i, d) \quad (1.3.4)$$

1.4 Demanda por fatores primários agregados e insumos intermediários

O produto é produzido usando uma combinação de insumos primários $XPRIM(i, d)$ e de bens intermédios $XINT_S(c, i, d)$ com uma tecnologia Leontief (tecnologia de proporções constantes). A demanda da indústria pelos fatores primários agregados é proporcional à produção total e aos termos de mudança tecnológica [$ATOT(i, d)$ e $APRIM(i, d)$].

$$XPRIM(i, d) = XTOT(i, d) * ATOT(i, d) * APRIM(i, d) \quad (1.4.1)$$

A demanda por bens compostos, $XINT_S(c, i, d)$ também é proporcional à produção total e aos termos tecnológicos, multiplicada pelos preços relativos [$PPUR_S(c, i, d) / PINT(i, d)$] elevado a um parâmetro CES. Reconhecemos três diferentes termos tecnológicos: $ATOT(i, d)$, $APRIM(i, d)$, e $AINT_S(c, i, d)$. A mudança tecnológica implica mudança no insumo requerido por unidade de produto. Quando estes termos tecnológicos mudam (i.e., queda de magnitude), o mesmo nível de produção é produzido utilizando menos fatores primários $XPRIM(i, d)$ ou intermediários $XINT_S(c, i, d)$.

$$XINT_S(c,i,d) = ATOT(i,d)*AINT_S(c,i,d)* XTOT(i,d) * [PPUR_S(C,I,D)*AINT_S(C,I,D)/PINT(i,d)]^{\wedge} \text{SIGINT}(i,d) \quad (1.4.2)$$

A condição de equilíbrio de mercado é tal que as receitas totais (valorado ao preço de produção), PCST(i,d), multiplicado pela quantidade XTOT(i,d), é igual ao total do custo de produção.

$$PCST(i,d)*XTOT(i,d) = \sum \{c, COM, PPUR_S(c,i,d)*XINT_S(c,i,d)\} + \sum \{o, OCC, PLAB(i,o,d) * XLAB(i,o,d)\} + PCAP(i,d)*XCAP(i,d) + PLND(i,d)*XLND(i,d) \quad (1.4.3)$$

1.5 Impostos de produção

O modelo possui impostos de produção para os custos setoriais. Em (1.5.1), impostos diretos da produção, PTX(i,d) é calculada com a alíquota PTXRATE(i,d) multiplicada pelo valor da produção (PCST (i,d)*XTOT(i,d)).

$$PTX(i,d) = PTXRATE(i,d)*PCST(i,d)*XTOT(i,d) \quad (1.5.1)$$

A equação (3.5.2) determina os preços do produto da indústria, PTOT(i,d) pela combinação de (3.4.3) e (3.5.1).

$$PTOT(i,d)* XTOT(i,d) = PCST(i,d)[1 + PTXRATE(i,d)]*XTOT(i,d) \quad (1.5.2)$$

1.6 A matriz multi-produtos

O modelo considera a possibilidade de que cada setor tenha capacidade multi-produto. A oferta de bens pelos setores, XMAKE(c,i,d), são explicadas usando uma função de elasticidade de transformação constante (CET). Os bens ofertados c do setor i na região d, XMAKE(c,i,d), são proporcionais a XTOT(i,d) e ao termo de preço elevado a SIGMAOUT(i), multiplicado pelo termo tecnológico, AMAKE(c,i,d) (2.6.1). Um termo de preço é composto pelo preço base dos bens domésticos em relação ao preço do produto da indústria. Como SIGMAOUT(i) tem um sinal positivo, este induz indústrias a produzirem mais de um bem quando seu preço aumenta em relação ao preço composto do setor. Esta equação não é efetivamente atuante no IMAGEM-B, uma vez que cada indústria produz uma única mercadoria, resultando em uma matriz MAKE em que todos os elementos fora de diagonal principal são iguais a zero.

$$XMAKE(c,i,d) = AMAKE(c,i,d)*XTOT(i,d)*\{[PDOM(c,d)/PTOT(i,d)]^{\wedge} SIGMAOUT(i)\} \quad (1.6.1)$$

Na segunda equação, o valor do produto de um setor em d ($PTOT(i,d)*XTO(i,d)$) é igual à soma do valor dos bens ofertados pelo setor, calculado utilizando os preços domésticos do bem c em d, $PDOM(c,d)$.

$$PTOT(i,d)*XTO(i,d) = \sum \{c, COM, PDOM(c,d)* XMAKE(c,i,d)\} \quad (1.6.2)$$

1.7 Preços de importação

Assumiu-se que a oferta de importações é infinitamente elástica. Assim, o preço das importações do bem c da região de origem r, $PIMP(c,r)$, é simplesmente determinado pelos preços estrangeiros de importação, $PFIMP(c,r)$ multiplicado pela taxa de câmbio nominal PHI.

$$PIMP(c,r) = PFIMP(c,r)*PHI \quad (1.7.1)$$

1.8 Demanda das famílias

Este tópico retoma as demandas das famílias. Elas seguem um sistema linear de gastos (LES) (também chamado de Stone-Geary ou Klein-Rubin). Este sistema de demanda requer apenas um vetor de elasticidades de gasto (ou participações no orçamento marginal) e um parâmetro Frisch para cada região (FRISCH, 1959). O parâmetro Frisch é a razão negativa entre gastos de subsistência e de gastos de não-subsistência: espera-se que tal razão seja maior para famílias pobres do que para famílias ricas. O LES é adequado para amplos agregados de bens onde substituições específicas não são consideradas. Isto é, elasticidades de preços-cruzados são iguais ao efeito renda dado na equação de Slutsky sem qualquer contribuição dos efeitos de preço-cruzado [ver Chiang (1974), p. 400)]. Isso implica que todos os bens são complementares fracos. O sistema de gastos não permite a inclusão de bens inferiores (i.e., elasticidades renda negativas). O sistema linear de gastos é formalizado nas equações do IMAGEM-B de demanda das famílias, enquanto no modelo original ORANI ou o modelo que sucedeu o MONASH, os parâmetros de restrições do LES foram impostos em uma equação adicional de demanda geral das famílias.

Define-se os preços dos bens para famílias em d, $PHOU(c,d)$, como a composição por origem dos preços de compra das famílias, $PPURS_s(c,"hou",d)$.

$$PHOU(c,d) = PPUR_S(c,"hou",d) \quad (1.8.1)$$

O nível agregado de gastos de subsistência das famílias $WSUBSIST(d)$ é o produto do número de famílias $NHOU(d)$ e a soma dos preços dos bens $PHOU(c,d)$, multiplicado pela quantidade de famílias que gastam apenas com bens de subsistência $XSUBSIST(c,d)$.

$$WSUBSIST(d) = \sum \{c, COM, PHOU(c,d) * NHOU(d) * XSUBSIST(c,d)\} \quad (1.8.2)$$

A demanda total das famílias por bens compostos, $XHOU_S(c,d)$ é proporcional à participação marginal no orçamento, $BEM(c,d)$, multiplicada pelo gasto de não- subsistência ou de luxo (i.e., total menos gasto de subsistência das famílias), dada por $[WHOUTOT(d) - WSUBSIST(d)]$.

$$XHOU_S(c,d) * PHOU(c,d) = MBS(c,d) * [WHOUTOT(d) - WSUBSIST(d)] \quad (1.8.3)$$

A despesa nominal das famílias $WHOUTOT(d)$ é o preço correspondente multiplicado pelos termos de gasto real das famílias.

$$WHOUTOT(d) = PHOUTOT(d) * XHOUTOT(d) \quad (1.8.4)$$

O índice de preços ao consumidor, $PHOUTOT(d)$, é a soma do produto dos preços ao consumidor $PHOU(c,d)$ e participações no orçamento, $BUDGSHR(c,d)$.

$$PHOUTOT(d) = \sum \{c, COM, BUDGSHR(c,d) * PHOU(c,d)\} \quad (1.8.5)$$

1.9 Demanda por investimento e índices

A seguir, examinam-se as equações referentes à demanda por investimento e índices de preços - condicionados ao investimento por setor. A equação de criação de novo capital no setor i é obtida através da tecnologia de Leontief (combinação dos insumos intermediários em proporções fixas). A quantidade do bem c demandado pelo setor i na região d , $XINVI(c,i,d)$, é proporcional ao nível de investimento pelo setor i , $XINVITOT(i,d)$ multiplicado pelo termo tecnológico $AINVI(c,i,d)$.

$$XINVI(c,i,d) = AINVI(c,i,d) * XINVITOT(i,d) \quad (1.9.1)$$

Definiu-se, também, o preço de compra do bem c para o investimento em d , $PINVEST(c,d)$ como o preço de compra do investidor, $PPUR_S(c, "INV", d)$.

$$PINVEST(c,d) = PPUR_S(c, "INV", d) \quad (1.9.2)$$

Em seguida, pode ser calculado o índice de preço do investimento do setor i , $PINVITOT(i,d)$, multiplicado pelo investimento do setor, como a soma dos investimentos para todos os produtos.

$$PINVITOT(i,d) \cdot XINVITOT(i,d) = \sum \{c, COM, PINVEST(c,d) \cdot XINVI(c,i,d)\} \quad (1.9.3)$$

A última equação, por sua vez, mostra a demanda de investimento por compostos domésticos e importados, $XINV_S(c,d)$ como a soma das demandas de todos os setores por bens do investimento, $XINVI(c,i,d)$.

$$XINV_S(c,d) = \sum \{i, IND, XINVI(c,i,d)\} \quad (1.9.4)$$

2 Demandas por investimento de setores específicos

Nesta seção, consideram-se as demandas por investimento de setores específicos. A taxa de retorno bruta, $GRET(i,d)$, é determinada como a razão entre a rentabilidade do capital (aluguel) e o índice de preço do investimento no setor (preço de novas unidades de capital na abordagem de estática comparativa determinada pelo modelo).

$$GRET(i,d) = PCAP(i,d) / PINVITOT(i,d) \quad (1.10.1)$$

A taxa de crescimento bruto de capital, $GGRO(i,d)$, por sua vez, é uma razão entre o investimento pelo setor, $XINVITOT(i,d)$ e o uso ou estoque de capital, $XCAP(i,d)$.

$$GGRO(i,d) = XINVITOT(i,d) / XCAP(i,d) \quad (1.10.2)$$

$GGRO(i,d)$ é determinado pela regra de investimento proposta em Dixon *et al.* (1982).

$$GGRO(i,d) = FINV1(i,d) \cdot [\{GRET(i,d)^2\} / INVSLACK]^{0.33} \quad (1.10.3)$$

2.1 Demanda por exportações, do governo e estoques

Nesta seção, examinaram-se as demandas do governo, exportações e estoques. A demanda do governo é independente de preços e proporcional a termos de deslocamento, que consiste no deslocamento da função de demanda em diferentes dimensões: por d , termo de deslocamento da demanda total do governo, $FGOVTOT(d)$, por c e d , termo de deslocamento da demanda agregada do governo, $FGOV_S(c,d)$; e por c , d e s , termo de deslocamento da demanda do governo, $FGOV(c,s,d)$.

$$XGOV(c,s,d) = FGOVTOT(d) \cdot FGOV(c,s,d) \cdot FGOV_S(c,d) \quad (1.11.1)$$

A demanda por bens de exportação, $XEXP(c,s,d)$ é proporcional a uma variável de deslocamento de quantidade exportada, $FQEXP(c,s)$ multiplicada pelo termo de preço elevado a elasticidade de demanda por exportação $EXP_ELAST(c)$. O termo de preço é composto pelos preços de exportação, $PPUR(c,s,"EXP",d)$, pela variável de deslocamento do preço de exportação $FPEXP(c,s)$ e pela taxa de câmbio, PHI .

$$XEXP(c,s,d)/FQEXP(c,s) = [PPUR(c,s,"EXP",d)/[FPEXP(c,s)/PHI]]^{EXP_ELAST(c)} \quad (1.11.2)$$

E por fim, definamos a demanda por estoques, $XSTOCKS(i,d)$ como proporcional à produção do setor i , $XTOT(i,d)$ multiplicado pelo termo de deslocamento $FSTOCKS(i,d)$.

$$XSTOCKS(i,d) = FSTOCKS(i,d)*XTOT(i,d) \quad (1.11.3)$$

2.2 Demanda por margens

Até aqui, as equações comportamentais do modelo IMAGEM-B seguiram as especificações de modelos de Equilíbrio Geral Computável já existentes, tais como o ORANIG (HORRIDGE, 2001). Agora, examinam-se algumas equações específicas do IMAGEM-B. Esta subseção também é imprescindível pois está diretamente relacionado aos choques sobre as margens de transporte (ATRADMAR), que serão efetuados nas simulações desta dissertação.

Primeiramente, somam-se as demandas por região. Pela notação, $XTRAD_R(c,s,d)$, demanda total pelo bem (c,s) em d , é a soma através das origens r de $XTRAD(c,s,r,d)$, variável que fornece o detalhamento da especificação da origem de cada um dos usos: intermediário, $XINT(c,s,i,d)$; investimento, $XINV(c,s,d)$; governo, $XGOV(c,s,d)$; e exportação $XEXP(c,s,d)$. O pressuposto de origem comum, independente do uso, permite que se omita a dimensão do usuário de $XTRAD(c,s,r,d)$. Assim, a demanda total pelo composto regional (c,s) em d , $XTRAD_R(c,s,d)$, é uma soma da demanda de todos os usos.

$$XTRAD_R(c,s,d) = \sum \{i, IND, XINT(c,s,i,d)\} + XHOU(c,s,d) + XINV(c,s,d) + XGOV(c,s,d) + XEXP(c,s,d) \quad (1.12.1)$$

Em segundo lugar, tem-se a utilização de demandas por margens que facilitam o fluxo de mercadorias provenientes da região de origem r com destino a d . Utilizando uma função de Leontief, a demanda por margens $XTRADMAR(c,s,m,r,d)$ é uma proporção de

XTRAD(c,s,r,d) multiplicado por um termo de mudança tecnológica no uso da margem, ATRADMAR(c,s,m,r,d).

$$XTRADMAR(c,s,m,r,d) = ATRADMAR(c,s,m,r,d) * XTRAD(c,s,r,d) \quad (1.12.2)$$

O preço de entrega a todos os usuários do bem c, s de r para d, PDELIVRD(c,s,r,d) é determinado usando a equação (3.12.3). O lado direito da equação é composto dos preços básicos acrescidos das margens utilizadas.

$$PDELIVRD(c,s,r,d) * XTRAD(c,s,r,d) = PBASIC(c,s,r) * XTRAD(c,s,r,d) + \sum \{m, MAR, PSUPPMAR_P(m,r,d) * XTRADMAR(c,s,m,r,d)\} \quad (1.12.3)$$

O próximo passo, baseia-se em detalhar o preço de entrega do bem regional composto c, de origem s, com destino d, PUSE(c,s,d). Para cada bem e região de destino, o usuário escolhe um recurso regional baseado nos preços de entrega, PDELIVRD(c,s,r,d) e no valor [PDELIVRD(c,s,r,d)*XTRAD(c,s,r,d)]. O valor de entrega [PUSE(c,s,d)*XTRAD_R(c,s,d)] é igual a soma através das origens do valor dos bens entregues.

$$PUSE(c,s,d) * XTRAD_R(c,s,d) = \sum \{r, ORG, PDELIVRD(c,s,r,d) * XTRAD(c,s,r,d)\} \quad (1.12.4)$$

Determinou-se, também, a demanda do bem c, doméstico e importado, da região de origem r para a de destino d, XTRAD(c,s,r,d) através da multiplicação de XTRAD_R(c,s,d) pela participação no comércio, STRAD(c,s,r,d), e pelo termo de preço relativo [PDELIVRD(c,s,r,d)/PUSE(c,s,d)] elevado ao parâmetro CES, SIGMADOMDOM(c), elasticidade de substituição entre origens.

$$XTRAD(c,s,r,d) = STRAD(c,s,r,d) * XTRAD_R(c,s,d) * [PDELIVRD(c,s,r,d)/PUSE(c,s,d)]^{\frac{1}{1 - SIGMADOMDOM(c)}} \quad (1.12.5)$$

2.3 Fontes regionais das margens

Aqui, analisaram-se as equações que determinam onde as margens são produzidas, A demanda pela margem m, produzida em p nos bens de r para d, XSUPPMAR_P(m,r,d), é a soma para todos os produtos e fontes de margens m do bem c, fonte s da região r para d, XTRADMAR(c,s,m,r,d).

$$XSUPPMAR_P(m,r,d) = \sum \{c, COM, \sum \{s, SRC, XTRADMAR(c,s,m,r,d)\}\} \quad (1.13.1)$$

Similarmente, o preço da margem composta m dos bens r para d , $PSUPPMAR_P(m,r,d)$ multiplicado por $XSUPPMAR_P(m,r,d)$ é calculado com a soma de todos os fornecedores p das margens $XSUPPMAR(m,r,d,p)$ multiplicado pelo seu preço, $PDOM(m,p)$.

$$XSUPPMAR_P(m,r,d)*PSUPPMAR_P(m,r,d) = \sum \{p, PRD, XSUPPMAR(m,r,d,p)*PDOM(m,p)\} \quad (1.13.2)$$

Além disso, a demanda pela margem m (produzida em p) nos bens de r para d , $XSUPPMAR(m,r,d,p)$ é proporcional a $XSUPPMAR_P(m,r,d)$ multiplicado pelo termo correspondente ao preço. O termo de preço é a razão entre $PDOM(m,p)$ e $PSUPPMAR_P(m,r,d)$ elevado a elasticidade de substituição entre as origens da margem m , $SIGMAMAR(m)$.

$$XSUPPMAR(m,r,d,p) = XSUPPMAR_P(m,r,d)* [PDOM(m,p)/PSUPPMAR_P(m,r,d)]^{-SIGMAMAR(m)} \quad (1.13.3)$$

Feito isto, pode-se determinar $XSUPPMAR_D(m,r,p)$ e $XSUPPMAR_RD(m,p)$ por meio de $XSUPPMAR(m,r,d,p)$ somada sobre o destino e a origem, respectivamente.

$$XSUPPMAR_D(m,r,p) = \sum \{d, DST, XSUPPMAR(m,r,d,p)\} \quad (1.13.4)$$

$$XSUPPMAR_RD(m,p) = \sum \{r, ORG, XSUPPMAR_D(m,r,p)\} \quad (1.13.5)$$

2.4 Equações de demanda e oferta

A demanda total pelo bem (c,s) consumido em r é igual à demanda total de (c,s) em r de todas as origens, d .

$$TOTDEM(c,s,r) = \sum \{d, DST, XTRAD(c,s,r,d)\} \quad (1.14.1)$$

Especificamente para fontes domésticas, esta demanda, $TOTDEM(c,"dom",r)$, é igual à oferta de bens não-margens, $XCOM(c,r)$.

$$XCOM(c,r) = TOTDEM(c,"dom",r) \quad (1.14.2)$$

Para se definir as margens de serviços, $XCOM(m,p)$ é composto de demandas diretas por bens produzidos domesticamente em p , $TOTDEM(m,"dom",p)$, acrescido da demanda por margens produzido em p , $XSUPPMAR_RD(m,p)$.

$$XCOM(m,p) = TOTDEM(m,"dom",p) + XSUPPMAR_RD(m,p) \quad (1.14.3)$$

A equação de preços mostra que $PBASIC(c, "dom", r)$ e $PDOM(c, r)$ são idênticos:

$$PBASIC(c, "dom", r) = PDOM(c, r) \quad (1.14.4)$$

Para importações, $PBASIC(c, "imp", r)$ é igual a $PIMP(c, r)$.

$$PBASIC(c, "imp", r) = PIMP(c, r) \quad (1.14.5)$$

Então, $PPUR(c, s, u, d)$ é calculado através do produto de $PUSE(c, s, d)$ pelo “poder” dos impostos sobre produtos, $TUSER(c, s, u, d)$.

$$PPUR(c, s, u, d) = PUSE(c, s, d) * TUSER(c, s, u, d) \quad (1.14.6)$$

A receita com imposto sobre produtos em d , $COMTAXREV(d)$, é obtido a partir do valor total dos bens utilizados multiplicado pela taxa de imposto do produto, sendo que esta taxa é definida como $TAX(c, s, u, d)/USE(c, s, u, d)$ ou $[TUSER(c, s, i, d)-1]$.

$$\begin{aligned} COMTAXREV(d) = & \text{sum}\{c, COM, \text{sum}\{s, SRC, \text{sum}\{i, IND, [TUSER(c, s, i, d)-1]*PUSE(c, s, d)*XINT(c, s, i, d)\} + \\ & [TUSER(c, s, "hou", d)-1]*PUSE(c, s, d)*XHOU(c, s, d) + [TUSER(c, s, "gov", d)-1]*PUSE(c, s, d) \\ & *XGOV(c, s, d) + [TUSER(c, s, "inv", d)-1]*PUSE(c, s, d)*XINV(c, s, d) + [TUSER(c, s, "exp", d)-1]*PUSE(c, s, d) \\ & *XEXP(c, s, d)\}\} \end{aligned} \quad (1.14.7)$$