

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONTROLADORIA E CONTABILIDADE**

MARCUS VINÍCIUS PRATES

**EFICIÊNCIA DAS ALOCAÇÕES NAS FUNÇÕES ORÇAMENTÁRIAS DE GESTÃO
AMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS MAIS ATINGIDOS PELA BARRAGEM DE
BRUMADINHO-MG**

Belo Horizonte

2022

MARCUS VINÍCIUS PRATES

**EFICIÊNCIA DAS ALOCAÇÕES NAS FUNÇÕES ORÇAMENTÁRIAS DE GESTÃO
AMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS MAIS ATINGIDOS PELA BARRAGEM DE
BRUMADINHO-MG**

Dissertação apresentada ao Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Contabilidade e Controladoria da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Contabilidade e Controladoria.

Linha: Contabilidade Financeira

Orientador: Prof. Dr. João Estêvão Barbosa
Neto

Belo Horizonte

2022

Ficha catalográfica

P912e
2022 Prates, Marcus Vinícius.
Eficiência das alocações nas funções orçamentárias de gestão ambiental dos municípios mais atingidos pela barragem de Brumadinho-MG [manuscrito] / Marcus Vinícius Prates. – 2022. 109 f.: il.

Orientador: João Estevão Barbosa Neto.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Controladoria e Contabilidade.
Inclui bibliografia (f. 103-109).

1. – Gestão ambiental – Teses. 2. Política orçamentaria – Teses. 3. Crime contra o meio ambiente – Teses. I. Barbosa Neto, João Estevão. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Controladoria e Contabilidade. III. Título.

CDD: 363.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONTROLADORIA E CONTABILIDADE

FOLHA DE APROVAÇÃO

**EFICIÊNCIA DAS ALOCAÇÕES NAS FUNÇÕES ORÇAMENTÁRIAS DE GESTÃO
AMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS MAIS ATINGIDOS PELA BARRAGEM DE
BRUMADINHO-MG**

MARCUS VINÍCIUS PRATES

Dissertação de mestrado defendida e aprovada, no dia quinze de dezembro do ano de dois mil e vinte e dois, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Controladoria e Contabilidade da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

MARCELO ANGOTTI

UFSJ

FABRÍCIO JOSÉ MISSIO

UFMG

JOÃO ESTEVÃO BARBOSA NETO- ORIENTADOR

UFMG

Belo Horizonte, 15 de dezembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **João Estevão Barbosa Neto, Professor do Magistério Superior**, em 14/03/2023, às 11:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCELLO ANGOTTI, Usuário Externo**, em 24/03/2023, às 14:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabricio Jose Missio, Professor do Magistério Superior**, em 30/03/2023, às 13:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2011129** e o código CRC **8B396378**.

Referência: Processo nº 23072.201466/2023-8 SEI nº 2011129

RESUMO

Os custos absorvidos, pelos entes públicos, em decorrência de desastres ambientais têm aumentado, bem como as responsabilidades da gestão dos recursos aplicados para a reparação desses eventos. O rompimento de barragem de rejeitos em Brumadinho/MG no ano de 2019 ensejou aos municípios do Estado de Minas Gerais a gestão de valores a serem aplicados para o programa de fortalecimento do serviço público. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo geral analisar o grau de eficiência dos investimentos nas funções orçamentárias de gestão ambiental. Com isso, buscou-se verificar aqueles municípios que investiram de forma eficiente, bem como identificar os ineficientes e apurar se ocorreu deslocamento desse indicador no tempo dos municípios afetados pelo desastre de Brumadinho-MG. Foram selecionados 26 municípios localizados na bacia do rio Paraopeba, quais sejam, àqueles mais afetados pelo rompimento da barragem. Delimitou-se o período temporal entre os exercícios de 2017 a 2021. A eficiência dos investimentos foi valorada tendo como *inputs* e *outputs* os índices de gestão ambiental e de planejamento e o montante investido nas funções orçamentárias de urbanismo, saneamento e gestão ambiental, das quais são alocados os créditos concernentes aos objetivos desse estudo, todas as informações extraídas do SICOM – TCE\MG, relativos aos municípios em questão. Foi utilizada a ferramenta da Análise Envoltória de Dados (DEA), associada com o Índice de *Malmquist*. Justifica a pesquisa pela importância de se valorar a eficiência dos recursos investidos para recuperação econômico e estrutural dos municípios e verificar aspectos relacionais e relevantes das variáveis. Ademais, trata-se de recurso vinculado a determinadas ações que remetem ao fortalecimento do serviço público. Foi verificado que os municípios já apresentavam, antes do evento do desastre, conceito de baixo nível de adequação IEGM-TCE\MG. O cálculo do desvio padrão evidenciou que existiu distorções de cumprimento dos quesitos de preenchimento do relatório entre as unidades. Todavia, ocorreu decréscimo no montante de recursos aplicados nas funções orçamentárias associado a redução da classe de municípios que se encontravam com baixo nível de adequação denotando que esses municípios aplicaram melhor o recurso público. Além disso, para os exercícios de 2017 e 2018, conferiu incremento de eficiência dos investimentos nas funções de gestão ambiental e em 2021 incremento dos municípios que apresentaram indicador de mudança de tecnologia.

Palavras-chaves: Mina do Córrego de Feijão; desastre ambiental; Brumadinho/MG; finanças públicas municipais; Eficiência.

ABSTRACT

The costs absorbed by public entities as a result of environmental disasters have increased, as well as the responsibilities for managing the resources applied to repair these events. The rupture of a tailings dam in Brumadinho/MG in 2019 gave the municipalities of the State of Minas Gerais the opportunity to manage values to be applied to the public service strengthening program. Given this context, the present study aimed to analyze the degree of efficiency of investments in budgetary functions of environmental management. With this, we sought to verify those municipalities that invested efficiently, as well as identify the inefficient ones and determine whether there was a displacement of this indicator over time in the municipalities affected by the Brumadinho-MG disaster. 26 municipalities located in the Paraopeba river basin were selected, namely those most affected by the dam failure. The time period between the years 2017 to 2021 was delimited. The efficiency of investments was valued having as inputs and outputs the environmental management and planning indices and the amount invested in the budgetary functions of urbanism, sanitation and environmental management, of which credits concerning the objectives of this study are allocated, all information extracted from SICOM – TCE\MG, relative to the municipalities in question. The Data Envelopment Analysis (DEA) tool was used, associated with the Malmquist Index. It justifies the research by the importance of valuing the efficiency of the resources invested for the economic and structural recovery of the municipalities and verifying relational and relevant aspects of the variables. Moreover, it is a resource linked to certain actions that refer to the strengthening of the public service. It was verified that the municipalities already presented, before the disaster event, a concept of low level of adequacy IEGM-TCE\MG. The calculation of the standard deviation showed that there were distortions in compliance with the requirements for completing the report between the units. However, there was a decrease in the amount of resources applied in budgetary functions associated with a reduction in the class of municipalities that had a low level of adequacy, denoting that these municipalities better applied public resources. In addition, for the years 2017 and 2018, it provided an increase in the efficiency of investments in environmental management functions and, in 2021, an increase in the number of municipalities that presented an indicator of technology change.

Keywords: Córrego de Feijão mine; environmental disaster; Brumadinho/MG; county public finances; Efficiency.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AE - Eficiência Produtiva.
- AT - Alteração da Tecnologia.
- BBC - Retornos Variáveis de Escala.
- CCR – Retorno de Escala Constante.
- DEA - *Data Envelopment Analysis*.
- DEAP - *Data Envelopment Analysis Program*.
- DMU - *Decision Making Unit*.
- DPMG - Defensoria Pública de Minas Gerais.
- GMM - Método dos Momentos Generalizados.
- i-AMB/TCEMG - Índice sob o aspecto da gestão ambiental.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IDEB – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica.
- IEGM - Índice de Efetividade da Gestão Municipal.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas.
- IFirjan - Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal.
- INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais.
- IRB - Instituto Rui Barbosa.
- Mo - índice de *Malmquist*.
- MPF - Ministério Público Federal.
- MPMG - Ministério Público de Minas Gerais.
- PIB - Produto Interno Bruto.
- PTF - Produtividade Total dos Fatores.
- SICOM - Sistema Informatizado de Contas dos Municípios.
- TCE/MG - Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais.
- TJMG - Tribunal de Justiça de Minas Gerais.
- UE - União Europeia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Posicionamento geográfico bacia do Paraopeba	28
Figura 2 - Escores Índice de Eficiência 2017	52
Figura 3 - Escores Índice de Eficiência 2018	62
Figura 4 - Escores Índice de Eficiência 2019	72
Figura 5 - Escores Índice de Eficiência 2020	82
Figura 6 - Escores Índice de Eficiência 2021	91
Figura 7 - Evolução grau de eficiência	98
Figura 8 - Evolução Índice de <i>Malmquist</i>	102

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização	11
1.2. Problema de Pesquisa	14
1.3. Objetivo Geral e Específico.....	15
1.4. Justificativa e Contribuição	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Desastre ambiental de Brumadinho-MG.	17
2.2 O efeito dos desastres nas finanças governamentais.	19
2.3 Eficiência na alocação das funções orçamentárias de gestão ambiental	23
3. METODOLOGIA	27
3.1 Classificação da Pesquisa	27
3.2 Amostra	27
3.3 Procedimento de coleta de dados.....	29
3.4 Índice de eficiência da gestão municipal – IEGM-TCE/MG.	31
3.5 Análise Envoltória de dados e Índice de <i>Malmquist</i>	36
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	43
4.1 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2017.....	43
4.2 – Resultados modelagem DEA 2017.....	49
4.3 – Análise eficiência dos municípios atingidos em 2018.....	53
4.4 – Resultados modelagem DEA 2018.....	59
4.5 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2019.....	63
4.6 – Resultados modelagem DEA 2019.....	69
4.7 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2020.....	73
4.8 – Resultados modelagem DEA 2020.....	79
4.9 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2021.....	83
4.10 – Resultados modelagem DEA 2021.....	88
4.11 – Resultados Índice <i>Malmquist</i> 2017-2018	92
4.12 – Resultados Índice <i>Malmquist</i> 2018-2019	94
4.13 – Resultados Índice <i>Malmquist</i> 2019-2020	96
4.14 – Resultados da eficiência após o desastre de Brumadinho-MG.....	98
4.15 – Resultados Índice <i>Malmquist</i> 2020-2021	100
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
REFERÊNCIAS	106

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Devido a constante expansão da ocupação humana sobre as diversas áreas do planeta a cada dia são criadas áreas suscetíveis à ocorrência de desastres ambientais, ou seja, áreas de risco com população vulnerável. Valérie November (November, 2002, p. 19) conceituou em seu trabalho que este risco pode ser compreendido como “qualquer contingência potencial, que ainda não aconteceu, mas que é pressentida como algo que se transformará num evento prejudicial para os indivíduos ou coletividade de um dado espaço”

Esse evento prejudicial coletivo pode financeiramente ser mensurado. Uma das maiores seguradoras da Alemanha a Munich Reinsurance Company, apontou em um estudo de sua autoria que os desastres ambientais ocorridos no ano de 2021 provocaram prejuízos de US\$ 280 bilhões (R\$ 1,58 trilhão) em todo o mundo (Munich Re Group, 2021). Destarte o ônus financeiro acarretado pelo revés de ordem ambiental tem guarda na situação posicional da população frente a uma área de risco.

Com efeito, Noy e Vu (2010) inferem que a sociedade organizada é quem absorve os prejuízos decorrentes desses eventos, seja de forma direta ou por meio da gestão pública representativa. Para Unterberger (2018), eventos climáticos extremos (desastres ambientais) aumentam os déficits orçamentários frente ao Produto Interno Bruto (PIB) dos países, sujeito ao nível de desenvolvimento do país. De acordo com sua pesquisa, esses resultados indicam que há considerável variação específica do país no que diz respeito à elasticidade de desastres dos gastos públicos, que é principalmente atribuível à gravidade dos eventos desastrosos, bem como ao tamanho da economia. Ademais, sugere que os efeitos sobre o PIB e o bem-estar dos países surgem à medida que as perdas causadas pelos eventos extremos impactam tanto a oferta quanto a demanda das economias afetadas.

Unterberger (2018) constatou ainda que os desastres de pequena escala potencialmente desencadeavam crescimento econômico, os eventos de grande escala tendem a ter impactos negativos. Esta afirmação é ainda confirmada por Noy e Vu (2010), que analisaram os impactos dos desastres em nível de província no Vietnã. Os autores concluíram que desastres mais letais resultaram em menor crescimento da produção, enquanto desastres que destroem principalmente capital e propriedade levam a um aumento de curto prazo na atividade econômica.

Nessa esteira de desastres mais letais combinados com prejuízos orçamentários, financeiros e, principalmente, de ordem ambiental aos entes públicos municipais, toma-se o

rompimento de barragem I de rejeitos de minérios da Mina do Córrego do Feijão da empresa Vale S.A., desastre de Brumadinho/-MG no ano de 2019. Tal acontecimento pode ser considerado, conforme estudos de Enes e Santos (2021), foi um dos maiores desastres ambientais do setor de mineração do país, depois do rompimento de barragem em Mariana/MG.

Na ocasião do evento do desastre ambiental, ocorrido em 25 de janeiro de 2019, com a ruptura da barragem B1 de rejeitos de minério, houve a liberação de cerca de 12 milhões de m³ de rejeitos (Azevedo et al., 2020). Os autores da pesquisa descreveram que houve a formação de ondas gigantes de lama, que caminharam a uma velocidade aproximada de 80 km/hora, avançando sobre o refeitório e a área administrativa da Empresa Vale S.A., seguindo em direção aos carros, casas, árvores, animais e pessoas que permaneciam no curso dessa onda.

Ainda nos estudos de Azevedo et. al. (2020) estes pesquisadores levantaram que a lama contaminou o rio Paraopeba, deixando a água imprópria para o consumo em ao menos 20 municípios e foram encontrados mais de 267 mortos, e cerca de 3 pessoas ainda se encontram desaparecidas, gerando uma situação de calamidade pública.

De acordo com Freitas et al. (2019), com base nos dados do Censo Demográfico de 2010, a lama de rejeitos atingiu 9 setores censitários com população estimada em 3.485 pessoas e 1.090 domicílios, o que representou mais de 10% da população atingida de forma direta e imediata. Estes pesquisadores estimaram, tendo como referência os dados do Censo Agropecuário de 2017 e considerando a dimensão de um raio de 500 e 1.000 metros ao longo dos 18 municípios em que a lama atingiu o Rio Paraopeba, numa extensão aproximada de 250km, que houve, respectivamente, 147 e 424 comunidades (indígenas, quilombolas, silvicultores e pescadores artesanais) atingidas.

Para além das 138 pessoas definidas oficialmente como desabrigadas, em concordância a pesquisa de Freitas et al. (2019), houve diversas populações que em seus territórios de vida e trabalho tiveram múltiplas rupturas e perdas, simbólicas, culturais, econômicas, infraestrutura, familiares (como as centenas de crianças que ficaram órfãs de uma hora para outra), amigos, vizinhanças e lugares de referência. E o número de expostos pode ser ainda maior se considerar populações que se beneficiam dos serviços ecossistêmicos (rios, solos e matas) para os diversos modos de vida, uso e ocupação do solo, como, por exemplo, o consumo de águas e produção agrícola com risco de contaminação ao longo do Rio Paraopeba.

Derivado desse evento, que teve consequências importantes na gestão orçamentária da municipalidade do Estado de Minas Gerais, mais ainda àqueles entes nomeados mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG, os agentes fiadores de ações públicas tiveram que agir para

mitigar os danos reais e permanente causados, assumindo em seus planejamentos os investimentos necessários para amparo de programas urbanísticos, de saneamento e de gestão ambiental.

Outrossim, esses administradores governamentais encarregaram-se de gerir os recursos emergenciais, de origem estadual e federal, dentro de cada realidade dos municípios bem como as prioridades enfrentadas por cada um deles. E como forma de reparação aos danos causados coube à empresa Vale S.A., junto ao Governo do Estado de Minas Gerais e órgãos do judiciário, a firmação de um acordo de natureza civil para garantia de segurança jurídica e celeridade na reparação socioambiental e socioeconômica dos danos difusos e coletivos. O montante despendido para o programa de fortalecimento do serviço público aproxima-se de R\$ 3,6 bilhões, distribuídos a todos os municípios de Minas Gerais (Vale, 2019). Tais recursos servirão para melhorias de infraestrutura e de mobilidade nos municípios. As quantias são determinadas, proporcionalmente à população total, conforme dados de 2019 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Como trata-se de créditos extraordinários, cuja ocorrência eventual ocasionará efeitos relevantes nos orçamentos dos municípios, é salutar o acompanhamento sobre como esses recursos afetam a gestão do ente governamental e quais são os reflexos econômicos conferidos. Nesse contexto de repasses e alocações de recursos públicos, torna-se essencial o acompanhamento da aplicação desses recursos destinados a ações de gestão ambiental, o que é importante para que se possa avaliar a eficiência e a eficácia das políticas públicas.

Com relação a essa aplicação eficiente dos recursos públicos, tem-se que, com o avanço da sociedade brasileira, no tocante a acesso aos meios de informação, comunicação e educação, passou-se a existir a necessidade de acompanhar o que ocorre efetivamente com as receitas e despesas públicas quanto ao seu desempenho. Por conseguinte, tem surgido a necessidade da transparência e da prestação de contas quanto à aplicação eficiente dos recursos públicos. Matias-Pereira (2018) infere que no esforço de implementar o processo de modernização da administração pública que permita a construção de um modelo de gestão orientado para a eficiência, a eficácia e a efetividade em termos de resultados, exige-se que o sistema de atuação do controle de contas também evolua para apoiar essas transformações da administração. Dessa forma, estabelecer uma conexão permanente entre gestor público e sociedade no que se refere a *accountability*.

Santos e Rover (2019), explicam que eficiência é a combinação ótima dos insumos e métodos necessários (inputs) no processo produtivo, de modo que resulte no máximo de

produtos possíveis (outputs). Inferem, portanto, que eficiência é a capacidade de fazer corretamente as ações, de minimizar a relação entre insumo e produto e, desse modo, otimizar a utilização de recursos. Santos e Rover (2019) afirmam que eficiência consiste em comparar o que foi produzido, dados os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

O princípio da eficiência visa a relação entre os meios e os fins resultante da relação custo-benefício, dos meios empregados de forma ética e dos resultados satisfatórios à sociedade, conforme entendimento de Matias-Pereira (2018). Ou seja, orienta a atividade administrativa a elevar o seu nível de desempenho, buscando atingir melhores resultados com o menor custo possível. É possível perceber que este conceito de eficiência na administração pública pode ser relacionado ao conceito de eficiência técnica definido na metodologia *Data Envelopment Analysis* (DEA), pois esse tipo de eficiência reflete a habilidade de uma firma obter a máxima produção a partir de um conjunto dado de insumos. Este último é o conceito de eficiência que servirá de base para a análise dos resultados desta pesquisa.

Considerando, portanto, os impactos na gestão de recursos públicos vinculados ao espectro urbanísticos, de saneamento e ambiental, mais especificamente, em relação aos prejuízos socioeconômicos e socioambientais causados pelo desastre de Brumadinho-MG, essa pesquisa buscou utilizar da metodologia estatística da análise envoltória de dados para verificar aqueles municípios que investiram de forma eficiente, bem como identificar os ineficientes e apurar se ocorreu deslocamento desse indicador no tempo e, principalmente, analisar o grau de eficiência dos investimentos nas funções orçamentárias de gestão ambiental nos municípios afetados pelo desastre de Brumadinho-MG.

1.2. Problema de Pesquisa

Com base nos conceitos apresentados acerca dos desastres ambientais e seus reflexos econômicos aos entes governamentais, bem como a eficiência dos investimentos públicos em função dos danos causados por esses eventos, mais especificamente, em relação aos efeitos desses eventos nas contas e indicadores públicos, a presente pesquisa procura responder ao seguinte problema: Qual o grau de eficiência dos investimentos nas funções orçamentárias de gestão ambiental nos municípios afetados pelo desastre de Brumadinho-MG?

1.3. Objetivo Geral e Específico

O presente estudo teve como objetivo geral analisar o grau de eficiência dos investimentos nas funções orçamentárias de gestão ambiental nos municípios afetados pelo desastre de Brumadinho-MG.

Como objetivos específicos tem-se:

- a) calcular o grau de eficiência;
- b) verificar os municípios que atingiram a fronteira da eficiência “*benchmark*”;
- c) identificar as metas para àqueles municípios considerados ineficientes;
- d) apurar o índice *Malmquist* para perceber o deslocamento do grau de eficiência no tempo.

1.4. Justificativa e Contribuição

A justificativa para a pesquisa da eficiência das alocações em gestão ambiental daqueles municípios mais afetados (constituíntes da bacia do rio Paraopeba) pelo desastre ambiental do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho-MG está associada:

- Ao cálculo de um indicador que possa refletir a eficiência dos recursos que são dispendidos como investimento em programas de governo relacionados a urbanismo, saneamento e gestão ambiental;
- Bem como apurar o deslocamento desse grau de eficiência, em cenários temporais antes, durante e após o rompimento da barragem de rejeitos.

Consequente, a justificativa está também associada a importância de se verificar aspectos relacionais e relevantes das variáveis em questão tendo em vista que os recursos recebidos do acordo de reparação podem representar grande parte do ingresso orçamentário de caráter eventual do período. Ademais, trata-se de recurso vinculado a determinadas ações que remetem ao fortalecimento do serviço público, e, por conseguinte, exigem alto grau de transparência e prestação de contas.

Embora seja sabido da ocorrência dos reflexos sociais diante do acidente, bem como, ao recurso financeiro direcionado a título reparatório, não foi amparado no escopo dessa pesquisa a importância dessa análise ao passo que as informações quantitativas de cunho social àqueles mais afetados pelo desastre de Brumadinho-MG não foram estabelecidas.

Em relação a aspectos acadêmicos, esse estudo busca contribuir para a contabilidade aplicada ao setor público desenvolvendo questões relacionadas ao recebimento dos recursos vinculados ao acordo de reparação e sua influência nos indicadores de eficiência de gestão do município no setor público em área diversa já explorada, no caso, a área de gestão ambiental.

Essa aplicação em área diversa permite avançar e aplicar conhecimentos anteriores em órgãos públicos que gerem o recurso público, sendo nesse caso, os municípios, fornecendo insights a agentes públicos em função de ingressos extra orçamentários. Além disso, estudos reforçam a importância das informações referente aos ingressos não previstos no planejamento orçamentário no que se refere à responsabilidade pública e financeira, sendo esses considerados fatores relevantes para decisões políticas e para a medição de desempenho. Destarte os fatores elencados, a receita pública é utilizada para fornecer benefícios sociais para cidadãos e propiciam melhor eficiência e prestação dos serviços. Com isso, elenca-se a responsabilidade social de gestores, em relação a correta aplicação de recursos, *accountability* e transparência das informações.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Desastre ambiental de Brumadinho-MG.

De acordo com os estudos levantados por pesquisadores da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP) da Fundação Oswaldo Cruz, o rompimento da barragem de contenção de rejeitos de minério de ferro BI da mina de Córrego do Feijão, em janeiro do ano de 2019, em Brumadinho-MG, é considerado um dos mais graves entre vários ocorridos no Brasil entre 2001 e 2019. Freitas et. al. (2019) apontam que esse ocorrido transformou o cenário de eventos de desastres ambientais no Brasil

Numa análise multicritério para a determinação das possíveis causas do rompimento da barragem de Brumadinho-MG o pesquisador Bevilaqua (2019) situa que essa fora construída em 1976 pela empresa Ferteco Mineração e adquirida em 2001 pela Vale S.A. O autor levanta ainda que a estrutura possuía, entre barramento e rejeitos armazenados, aproximadamente 11.600.000 m³. Grande parte desse material foi lixiviado para o ribeirão Ferro-Carvão, formando ondas de rejeitos que avançaram sobre trabalhadores, equipamentos, locais de trabalho e um refeitório (Bevilaqua, 2019). Em seu caminho, encontrou as barragens de contenção de sedimentos B IV e B IV-A, que também se romperam.

Consequente, com o objetivo de descrever sobre acidentes de trabalho que se tornaram desastres, Freitas e Silva (2019) discorreram que a lama percorreu o leito do ribeirão Ferro-Carvão, atingindo as instalações da companhia Vale S.A., proprietária e responsável pela barragem, e prosseguira promovendo impacto e destruição ao longo da micro bacia. Os autores afirmaram ainda que a onda de rejeitos alcançou as localidades de Córrego do Feijão e Parque Cachoeira, pequenos vilarejos próximos à mina e, posteriormente, o rio Paraopeba, já na zona urbana da cidade de Brumadinho. Estimaram que ao menos 18 municípios haviam sido afetados ao longo da bacia do rio Paraopeba.

Uma vez que, embora originário do interior da referida empresa, atingiu os trabalhadores, além de invadir os limites geográficos da planta produtiva e afetar populações, mesmo as mais distantes do empreendimento. De acordo com Freitas et. al. (2019) transcorridos 12 meses da ocorrência totalizam-se 267 óbitos - desses, 127 (47%) eram trabalhadores diretos da Vale e os outros 118 terceirizados da empresa (44%).

Os levantamentos preliminares realizados pelos órgãos fiscalizadores e técnicos do Ministério Público (Minas Gerais, 2022) apontaram que o desastre causou severos danos ao longo de toda a bacia do rio Paraopeba. Houve impactos nos recursos hídricos, flora, fauna, ar, solo e patrimônio cultural (material e imaterial) da região, com prejuízos incalculáveis e de

difícil reversão. Entre as alterações ambientais estão aquelas associadas à supressão de ambientes naturais florestais e à sobreposição das faixas marginais dos mananciais atingidos, fragmentando unidades de preservações e degradando a qualidade atmosférica. Dados da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) (Minas Gerais, 2022) estimam que a passagem da lama causou a destruição de 269,8 ha e que foram subtraídos 133,27 ha de vegetação nativa de Mata Atlântica e 70,65 hectares de áreas de preservação permanente (APP).

Dos 269,8 ha de área atingida diretamente pelos rejeitos, aproximadamente 218,1 ha estão situados dentro da zona de amortecimento (ZA) do Parque Estadual Serra do Rola Moça, conforme Silva et. al. (2020). O rio Paraopeba também foi intensamente atingido. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2022), agência estadual ambiental, destacou as concentrações de ferro total (3095,5 mg/L) que superaram em até 2.200 vezes o valor máximo permitido para mananciais classe II. De acordo ainda com o referido instituto, o manganês total (736,500 mg/L) foi encontrado em valores de 7.365 vezes maiores que o máximo permitido. Dentre os metais pesados, os parâmetros chumbo total e mercúrio total apresentaram valores de até 21 vezes acima do limite preconizado.

O rompimento da barragem I ocasionou, portanto, de acordo com Milanes et. al. (2019), inúmeros impactos negativos para a economia local: na arrecadação, geração de renda e aos postos de trabalho - no campo e na cidade de Brumadinho. Também foi esperado a redução da arrecadação das receitas correntes municipais, havendo, no período, acréscimo dos dispêndios do município devido aos dos problemas decorrentes do rompimento, não apenas no atendimento pelo sistema público de saúde, mas também pela destruição da infraestrutura municipal.

Destarte, o Governo do Estado de Minas Gerais, o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) o Ministério Público Federal (MPF) e a Defensoria Pública de Minas Gerais (DPMG) assinaram com a Vale S.A., em 2021, o Acordo Judicial de Reparação, sob mediação do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG). O documento estabeleceu diretrizes para que a empresa fosse responsabilizada pelos danos causados às regiões atingidas e à sociedade mineira pelo rompimento das barragens de rejeitos na Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, de janeiro de 2019. O Acordo Judicial visa reparar os danos decorrentes do rompimento das barragens da Vale S.A. em Brumadinho, que tirou a vida de 267 pessoas e gerou uma série de impactos sociais, ambientais e econômicos na bacia do Rio Paraopeba e em todo o Estado de Minas Gerais (Minas Gerais, 2022).

Com o foco principal na região atingida, o acordo também garante medidas reparatórias ao Estado. Conta com um valor inicial total de R\$ 37,7 bilhões. Os recursos financeiros previstos para reparação que serão repassados ao Estado pela Vale, cerca de R\$ 11,06 bilhões dos R\$ 37,7 bilhões, possuem fonte específica no orçamento e os valores são vinculados aos projetos previstos. Ou seja, estes valores não podem ser usados para fluxo de caixa ou pagamento de salários (Acordo Judicial de Reparação, 2020).

O Acordo Judicial de Reparação (2020) foi construído basicamente em quatro partes, chamadas de Anexos. Em cada Anexo existe um grupo de medidas de reparação. São eles: Anexo I - Programa de Reparação Socioeconômica; Anexo II - Programa de Reparação Socioambiental; Anexo III - Programa de Mobilidade; e Anexo IV - Programa de Fortalecimento do Serviço Público.

Conforme a Lei Estadual nº 23.830 (2021), que autoriza abertura de crédito suplementar ao orçamento do Estado em função dos recursos previstos no Acordo Judicial, parte do valor de gestão do Poder Executivo estadual será destinada aos 853 municípios do Estado: R\$ 1,5 bilhões. Tais recursos são destinados ao fortalecimento dos serviços públicos e as melhorias de infraestrutura e de mobilidade nos municípios. As quantias são determinadas, proporcionalmente à população total, conforme dados de 2019 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

A Lei Estadual 23.830, de 28 de julho de 2021, define as regras para transferência e fiscalização do uso do dinheiro pelas respectivas prefeituras e delimita o que pode e o que não pode ser feito. Os valores foram depositados em três parcelas e geridos em conta bancária específica aberta pelo Poder Executivo Estadual em nome do município cujas parcelas foram pagas da seguinte forma: a) 40% (quarenta por cento) pagamento efetuado em 30 de agosto de 2021; b) 30% (trinta por cento) pagamento efetuado conforme previsão legal, até 31 de janeiro de 2022; c) 30% (trinta por cento) até 1º de julho de 2022.

Após a transferência, caberá ao gestor municipal assegurar a destinação dos recursos disponíveis na conta bancária, incluídos os rendimentos de aplicações financeiras, aos objetos. A destinação para fim diverso ensejará a responsabilização do gestor.

2.2 O efeito dos desastres nas finanças governamentais.

Desastres ambientais trazem problemas associados a economia e finanças públicas, além do viés social e, obviamente, ambiental. Nesse sentido, os custos absorvidos pelos entes públicos em decorrência de desastres ambientais têm aumentado gradualmente e há expectativas de que aumente ainda mais com o passar do tempo (Alfieri et al., 2016; Barthel e

Neumayer, 2012; Unterberger, 2018). Com efeito, as responsabilidades das gestões públicas, por perdas decorrentes de desastres, se acumularão (Kousky e Kunreuther, 2017).

Os efeitos financeiros/orçamentários conferidos nos reportes de entidades públicas em decorrência de desastres ambientais refletem na política pública adotada para minimizar e restaurar os prejuízos desses eventos. De acordo com a pesquisa de Unterberger (2018), para as entidades públicas, a provisão projetada para danos causados por desastres ambientais traz o risco de sobrecarregar significativamente os orçamentos públicos. Os efeitos sobre o PIB e o bem-estar dos países surgem à medida que as perdas causadas pelos eventos extremos impactam tanto a oferta quanto a demanda das economias afetadas.

A literatura sobre o tema encontra, de maneira reiterada, uma reação positiva dos gastos governamentais e uma piora dos orçamentos nacionais em resposta a desastres naturais (Leppänen et al. 2015). Cevik e Huang (2018) afirmaram em seu estudo que os governos deveriam considerar a implementação de mecanismos que protegessem seus orçamentos dos impactos com desastre, incluindo estratégias que garantam a provisão adequada de fundos para ajuda e reconstrução pós-catástrofe e incentivos que limitem os danos.

No Brasil, como mecanismo de proteção pública, tem-se a Lei 9.605, de 12 fevereiro de 1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais. De acordo com essa norma, quando acontecem acidentes ambientais causados por organizações, elas precisam arcar com os prejuízos causados a terceiros e ao meio ambiente (Brasil, 1998). A lei dispõe de variadas formas de sanções, além da obrigatoriedade de as instituições responsabilizadas ressarcirem os prejuízos causados, sejam financeiros, sociais ou ambientais, por meio de penalidades cabíveis. Esse marco legal proporcionou a conscientização e a fiscalização da população sobre o meio ambiente, e com isso as organizações brasileiras ressaltaram a importância da prevenção a danos ambientais, os quais são inerentes a sua atividade, sejam eles diretos, como a retirada de recursos da natureza; ou indiretos, como a liberação de gases poluentes no meio ambiente (Brasil, 1998; Bertoli e Ribeiro, 2006).

Raschky (2008) encontrou uma relação entre o desenvolvimento econômico e as perdas por desastres econômicos entre o período de 1984 e 2004, sugerindo que o desenvolvimento econômico é uma boa proteção contra desastres naturais. Afirmou que os riscos naturais poderiam ser vistos como uma função de um processo natural específico e atividade humana (econômica). A literatura do estudo identificou certos fatores socioeconômicos que determinam o impacto dos desastres naturais na sociedade. O objetivo do trabalho foi destacar os efeitos da estrutura institucional que influenciaram o comportamento humano ao estabelecer incentivos e

apontar a importância da vulnerabilidade institucional. Os resultados mostraram que países com melhores instituições sofrem menos vítimas e menores perdas econômicas por desastres naturais. Além disso, os resultados sugeriram uma relação não linear entre desenvolvimento econômico e perdas econômicas por desastres.

Miao, Hou e Abrigo (2018) investigaram resposta fiscal a desastres naturais no nível de governo provincial da China. Utilizaram de dados em painel de 50 estados, sobre finanças do governo provinciais e danos causados por desastres, estimaram os impactos dos desastres na receita, despesas, emissão de dívidas e transferências federais-estaduais. Inferiram que, após um desastre, os estados aumentam as despesas do programa e recebem mais transferências federais. Concluíram que os desastres têm impacto limitado nas receitas fiscais totais, mas amplificam as flutuações nas receitas de vendas, renda e impostos sobre a propriedade. Sugeriram então que os gastos adicionais induzidos por desastres são amplamente financiados por transferências federais, que incluem não apenas fundos de socorro a desastres, mas também assistência social não relacionada a desastres.

A pesquisa de Unterberger (2018) buscou analisar como os danos causados pelas enchentes à infraestrutura pública afetaram quatro segmentos orçamentários (saldo de renda corrente, saldo de gestão de ativos, saldo de transações financeiras e resultado anual). Com base em um modelo dinâmico e em uma amostra de 442 municípios da Áustria no período compreendido de 2009 a 2014 constatou que os danos à infraestrutura pública impactam negativamente no saldo de renda atual dos municípios e no seu resultado anual. Isso indica um enfraquecimento da situação financeira dos municípios. Para aumentar a resiliência orçamentária dos entes em relação aos danos públicos das inundações, os municípios poderiam reverter para uma regulamentação mais rígida do uso da terra e medidas de precaução, como a proteção contra inundações úmidas ou secas, ou para o seguro contra inundações.

A literatura acerca das associações da ocorrência de desastres ambientais e seus reflexos aos orçamentos públicos é extensa e aprofundada. Oliveira (2019), utilizando do método dos momentos generalizados (GMM) para painéis dinâmicos, mostrou evidências de que os danos de desastres naturais podem afetar negativamente o desenvolvimento econômico dos municípios ao reduzir suas taxas de crescimento econômico no curto prazo. Oliveira et al. (2020) mostraram que os municípios cearenses com elevada participação de suas receitas próprias na receita total sofreram menos perdas humanas e econômicas devido às secas/estiagens, bem como às enchentes/inundações. Os autores evidenciaram ainda que municípios com elevado gasto público per capita tendem a sofrer mais danos humanos e

econômicos por conta dos desastres naturais, muito provavelmente associado à ineficiência do gasto público na prevenção aos choques ambientais.

A pesquisa realizada por Miao et al. (2020) examinaram empiricamente o impacto fiscal dos desastres naturais no nível do governo provincial na China. Mostraram que os governos das províncias chinesas de alta renda experimentam maiores aumentos nos gastos e transferências intergovernamentais após desastres naturais do que os governos das províncias de baixa renda. Os resultados forneceram implicações importantes para a gestão financeira dos riscos de desastres no contexto em desenvolvimento.

Nessa mesma esteira, onde investigou-se relações das ações públicas do executivo acerca dos eventos de desastre cujo resultado demonstrou incremento de receita e despesa em função do desastre ambiental (Tavares, 2021). Masiero e Santarossa (2020) analisaram a resposta dos municípios à ocorrência de desastres naturais, na Itália, no período compreendido entre 2000 e 2015, em termos de comportamento de gastos. Encontraram evidências de aumento dos gastos por cerca de 12 anos após os eventos. Ao longo do período de estudo, inferiram que os municípios afetados gastaram 962 euros por indivíduo mais do que os municípios não afetados, e as transferências dos governos central e regional da Itália excederam as despesas em cerca de 240 euros por indivíduo. O impacto médio das doações específicas para terremotos e incondicionais nas despesas foi maior do que a resposta à receita. No entanto, avaliaram evidências de uma resposta assimétrica à diminuição de doações apenas para doações específicas para terremotos, sugerindo que os funcionários públicos tendem a manter níveis de gastos mais altos após a ocorrência de um desastre natural.

Ainda relacionando gasto governamental e boa governança, Marconato e Coelho (2021) realizaram estudo cujo objetivo foi explorar as ocorrências fiscais dos municípios brasileiros no período 2002 a 2016, analisando a relação entre as receitas, as despesas com pessoal, os estratos de tamanho, os delineamentos da atividade econômica e as riquezas municipais, considerando momentos de contração e de expansão do produto nacional. As análises dos resultados demonstraram que quando ocorria incremento em despesas com pessoal, os saldos fiscais apurados eram afetados negativamente. Revelou-se nos dados da pesquisa que os maiores escores valorados ocorreram onde se identificaram maiores indicadores de PIB per capita. Por fim, foram observados que aqueles municípios que detinham como principal atividade econômica os segmentos de serviços e agrícola evidenciaram melhores cenários financeiros e aqueles cujo setor preponderante dos segmentos com perfil industrial e de pequeno porte apontaram para os piores resultados.

A pesquisa de Tavares (2021) buscou investigar os impactos do estado de anormalidade decretado pelos municípios devido aos desastres naturais sobre as finanças públicas locais no Ceará. Os resultados mostram um crescimento da despesa corrente per capita nos municípios a cada declaração adicional de estado de emergência ou calamidade pública, especialmente com investimento público. Encontrou-se relação direta positiva das evidências documentais de decretação de estado emergência e de calamidade pública e os dispêndios de recurso público nas funções orçamentárias de educação/cultura, saúde/saneamento e assistência social. Ademais inferiu que houve incremento da receita corrente líquida, por habitante, nos municípios consoantes ao estado de emergência e calamidade pública, justificada pelo crescimento das receitas de transferências recebidas no período.

Por conseguinte, ao considerar os reflexos financeiro desfavoráveis que desastres ambientais acarretam na gestão dos orçamentos dos entes públicos (Unterberger, 2018; Noy e Vu, 2010) e que esse desvantajosos efeitos vem, cada vez mais, sendo alavancados em amplo espectro pelos entes governamentais que devem, além de custear as reparações, prover planejamento futuro com o intuito de evitar danos maiores (Alfieri et al., 2016; Barthel e Neumayer, 2012; Unterberger, 2018; Kousky e Kunreuther, 2017). Não somente isso, como envidar esforços para dar transparência e *accountability* quanto à aplicação eficiente dos desses recursos públicos reparatórios visando a relação entre os meios e os fins resultante do binômio custo-benefício, dos meios empregados de forma ética e dos resultados satisfatórios à sociedade e orientando a atividade administrativa a elevar o seu nível de desempenho, buscando atingir melhores resultados com o menor custo possível (Matias-Pereira, 2018).

2.3 Eficiência na alocação das funções orçamentárias de gestão ambiental

De acordo com Matei e Savulescu (2009), analisando o conceito pelo viés econômico, a eficiência pode ter dois significados distintos. O primeiro está relacionado à performance de uma ação, ou seja, que a ação obtenha bons resultados. O segundo está associado à quantidade de efeitos produzidos por tal ação, de acordo com a quantidade de recursos consumida por ela, possuindo um sentido de custo-benefício. Os autores defendem que ambos os sentidos da eficiência podem ser encontrados tanto no setor público quanto no privado, sendo para o primeiro, eficiente quando conseguem oferecer o máximo de bens e serviços públicos através de uma quantidade limitada de recursos. Relaciona-se a esse contexto o estudo de Santos (2016) para quem o conceito de eficiência, de um modo geral, está intimamente relacionado com a melhor maneira de se empregar recursos (sejam eles financeiros, humanos, materiais, entre outros) buscando a otimização desses recursos, ou seja, objetivando a melhor relação custo-

benefício possível. As discussões sobre eficiência ganharam maior relevância no setor público com a implantação do modelo de administração pública gerencial na década de 1980.

No que tange a aplicação da tese onde a eficiência é conceituada como atribuição de ofertar a melhor prestação de serviço público levando em consideração a escassez dos recursos para o alcance desse objetivo, a pesquisa de Balaguer-Coll et al. (2013) direcionou uma análise em que a eficiência dos municípios é avaliada após a divisão de critérios em clusters de acordo com várias determinantes. Os autores da pesquisa realizaram estimativas usando fronteiras, dada sua robustez a *outliers* e imunidade à dimensionalidade. Os resultados mostraram que tanto o *mix* de produção e, mais especialmente, as condições ambientais devem ser controladas, uma vez que as diferenças de eficiência entre municípios em diferentes grupos são notáveis.

As definições de Mattos e Terra (2015) apresentam os conceitos da eficiência técnica e alocativa. A eficiência técnica possui um enfoque voltado para o produto, ou seja, a medição é feita através da diferença entre o montante efetivamente produzido com uma determinada quantidade de insumos e o quanto é possível ser produzido. Os pesquisadores discutem também o conceito de eficiência alocativa, mas neste caso ele se relaciona com o objetivo da organização, no caso específico de uma empresa privada, por exemplo, para atingir a maximização dos lucros é necessário encontrar a quantidade a ser produzida de modo que a diferença entre as receitas e os custos de produção sejam o maior valor possível. Já caso a organização queira minimizar os custos, ela pode buscar a proporção de insumos que produzam o total desejado pelo menor custo.

Atendendo a restrição teórica de eficiência alocativa, Costa et al. (2015) buscaram conhecer a eficiência dos municípios mineiros no que se relaciona à função alocativa e à promoção do desenvolvimento econômico. Além disso, buscaram verificar os fatores associados a essa eficiência. Para tanto, se valeram de 831 municípios do Estado de Minas Gerais, daqueles que possuíam a integralidade dos dados necessários para a formatação da metodologia. Levaram em consideração, para tal finalidade, que os reflexos daqueles recursos diante dos indicadores utilizados não poderiam ter correspondência no mesmo ano em que foram alocados, conseqüentemente buscaram delimitar o período de estudo entre os anos de 2006 e 2009. Verificaram que municípios que possuíam melhores condições socioeconômicas, obtiveram, para todos os anos, melhor nível de eficiência que os demais e àqueles que apresentaram piores condições socioeconômicas têm sua gestão pública influenciada por uma gama maior de variáveis exógenas. Levantaram que a eventualidade de períodos de eleições foi significativa sobre os níveis de eficiência, presumindo que essas interferem no comportamento

do gestor ao passo que a alocação do recurso ocorre sem considerar os preceitos de eficiência e discricção. Assim, notaram ser premente a criação de mecanismos que minimizassem os efeitos daquelas variáveis cuja influência sobre a gestão pública e sua eficiência se deu de forma negativa.

Os pesquisadores Rodrigues et al. (2016) propuseram a analisar, por meio de indicadores sociais que incorporassem dimensões de saúde, educação, renda e desenvolvimento humano, se a aplicação dos royalties da mineração tem impactado positivamente no desenvolvimento dos municípios mineiros. A amostra fora constituída por municípios de Minas Gerais (10 unidades) que no exercício de 2010 representaram 80% da arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM) do Estado. Utilizaram, como métrica de desenvolvimento social, o índice Firjan de Desenvolvimento Municipal das edições do ano de 2012, com base nos dados extraídos de 2010. Os resultados indicaram que o aumento da dependência dos royalties da mineração implica na redução do desenvolvimento humano dos municípios de base mineral. Além disso, não foram encontradas evidências de que a atividade mineral proporcione altos níveis de geração de emprego e distribuição de renda. Ademais responderam o problema de pesquisa inferindo que os municípios da amostra obtiveram insipiente nível de eficiência dos investimentos dos *royalties* provenientes da mineração e que para mitigar esses reflexos negativos, seria indeclinável que os *royalties* fossem aplicados em projetos que estimulassem a diversificação econômica dos municípios e a geração de empregos e distribuição de renda.

A pesquisa de Cordero et al. (2017) buscou medir a eficiência dos governos locais de Portugal levando em consideração as suas operações em um contexto heterogêneo e as variáveis exógenas para que as medidas refletissem adequadamente àqueles municípios ineficientes cuja atribuição pudesse ser justificada às autoridades locais. Aplicando estimadores de fronteira condicional dependentes para avaliar o desempenho dos 278 municípios portugueses para o período compreendido de 2009 a 2014 os resultados revelaram que as reformas locais pareceram não ter alcançado o objetivo perseguido de melhorar a eficiência da atuação do governo local. No entanto, puderam observar uma pequena melhoria no último ano do período. Além disso, apontaram que os indicadores econômicos e demográficos incluídos como variáveis contextuais no modelo desempenham um papel importante como influenciadores do conjunto de produção, embora esses efeitos não pareçam variar muito ao longo do tempo.

D'Inverno et al. (2018) estudou a eficiência, por meio de análise envoltória de dados, dos gastos públicos por funções estratégicas – Administração geral, serviços educativos,

manutenção rodoviária, mobilidade local, polícia local e serviços sociais - retirados dos balanços disponíveis, quais sejam: análise não agregada, composição geral dos investimentos e eficiência global por um indicador composto, dos municípios toscanos. Para tanto utilizaram do banco de dados estatístico do Observatório Regional e Transportes que abrangeram informações de 282 municípios dentro do período de 2011. Reportaram ainda que apesar de a Toscana ter 287 municípios, os dados não estavam disponíveis para dois deles e três municípios foram detectados como *outliers*. Utilizaram da abordagem baseada na análise envoltória de dados em três etapas: foram calculadas as eficiências individuais associadas às cinco principais funções municipais; então o índice de eficiência global municipal foi gerado considerando um conjunto comum de pesos; e, finalmente, análises estatísticas foram usadas para avaliar o efeito de algumas variáveis contextuais no indicador de eficiência global. Os resultados obtidos e validados pela regressão *Tobit* notabilizaram os gastos das funções daqueles municípios menos eficientes, inferindo que o tamanho do município afeta a eficiência do gasto público: quanto maior é, maior é o seu nível de eficiência do gasto público, de modo que as medidas regionais para reduzir fragmentação do território toscano pareceram estar de acordo com a evidência.

Finalmente, a literatura contextualiza estudos que se valem de ferramenta e métodos que podem valorar, a eficiência da aplicação de recursos públicos a fim de alcançar os objetivos previamente acordados das políticas públicas. A Análise Envoltória de Dados - DEA é uma dessas ferramentas cuja técnica não paramétrica, particularmente, torna-se adequada para avaliar a efetividade da gestão pública. Não requer nenhuma forma funcional específica da fronteira de produção e dá ideias intuitivas para corrigir a ineficiência encontrada. Por meio de uma abordagem de programação linear a DEA constrói a fronteira eficiente; primeiramente para cada unidade a ser avaliada, a chamada Unidade de Tomada de Decisão (DMU) em seguida, os modelos DEA analisam se uma determinada quantidade de saída é produzida com entrada mínima. Dessa forma espera-se obter, a partir do referencial acerca da eficiência dos recursos aplicados, resultados consistentes que possam contribuir para o desenvolvimento da contabilidade e gestão governamental.

3. METODOLOGIA

3.1 Classificação da Pesquisa

Quanto ao objetivo da pesquisa, esse estudo é classificado como descritivo, pois seu objetivo está relacionado em analisar o grau de eficiência dos investimentos nas funções orçamentárias de gestão ambiental nos municípios mais afetados pelo desastre de Brumadinho-MG, avaliando-se então aqueles que atingiram a fronteira da eficiência, aqueles considerados ineficientes e o deslocamento do grau no intervalo de tempo estudado.

Quanto a abordagem se trata de um estudo quantitativo, por utilizar de métodos estatísticos, especificamente o emprego de uma ferramenta não paramétrica de análise de dados, a saber a Análise Envoltória combinada ao índice de *Malmquist*, para se realizar uma análise mais densa acerca da evolução do nível de eficiência dos investimentos de gestão ambiental. E quanto aos procedimentos, essa pesquisa se classifica como documental, tendo em vista que utiliza dados disponibilizados que não foram anteriormente tratados (Martins & Theóphilo, 2016).

3.2 Amostra

Os entes estudados foram os 26 municípios que integram a bacia do rio Paraopeba (Minas Gerais, 2022): Abaeté, Betim, Biquinhas, Brumadinho, Caetanópolis, Curvelo, Esmeraldas, Felixlândia, Florestal, Fortuna de Minas, Igarapé, Juatuba, Maravilhas, Mário Campos, Mateus Leme, Morada Novas de Minas, Paineiras, Papagaios, Pará de Minas, Paraopeba, Pequi, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas, São José da Varginha e Três Marias.

A escolha da amostra se deu pelo fato desses municípios descritos constarem parte passiva e comprometentes do acordo de reparação integral (Acordo de Reparação Vale, 2019) e que, por referendo de comissão designada desses 26 entes, aprovaram e deram ordem de início para 9 projetos de reparação socioeconômica, sendo 3 deles em Brumadinho (anexo I.4 do Acordo) e 6 nos outros 25 municípios da bacia do Paraopeba (anexo I.3 do Acordo) considerados atingidos pelo rompimento da barragem B1. Coube a Vale S.A. a responsabilidade de executar e pagar esses projetos naqueles que sofreram maior impacto, sob aspectos econômicos, financeiros e ambientais, do que todos os outros municípios do Estado de Minas Gerais que também receberam a pecúnia de reparação, muito por conta de sua proximidade geográfica com o rio Paraopeba, diretamente atingido pelo rompimento da barragem.

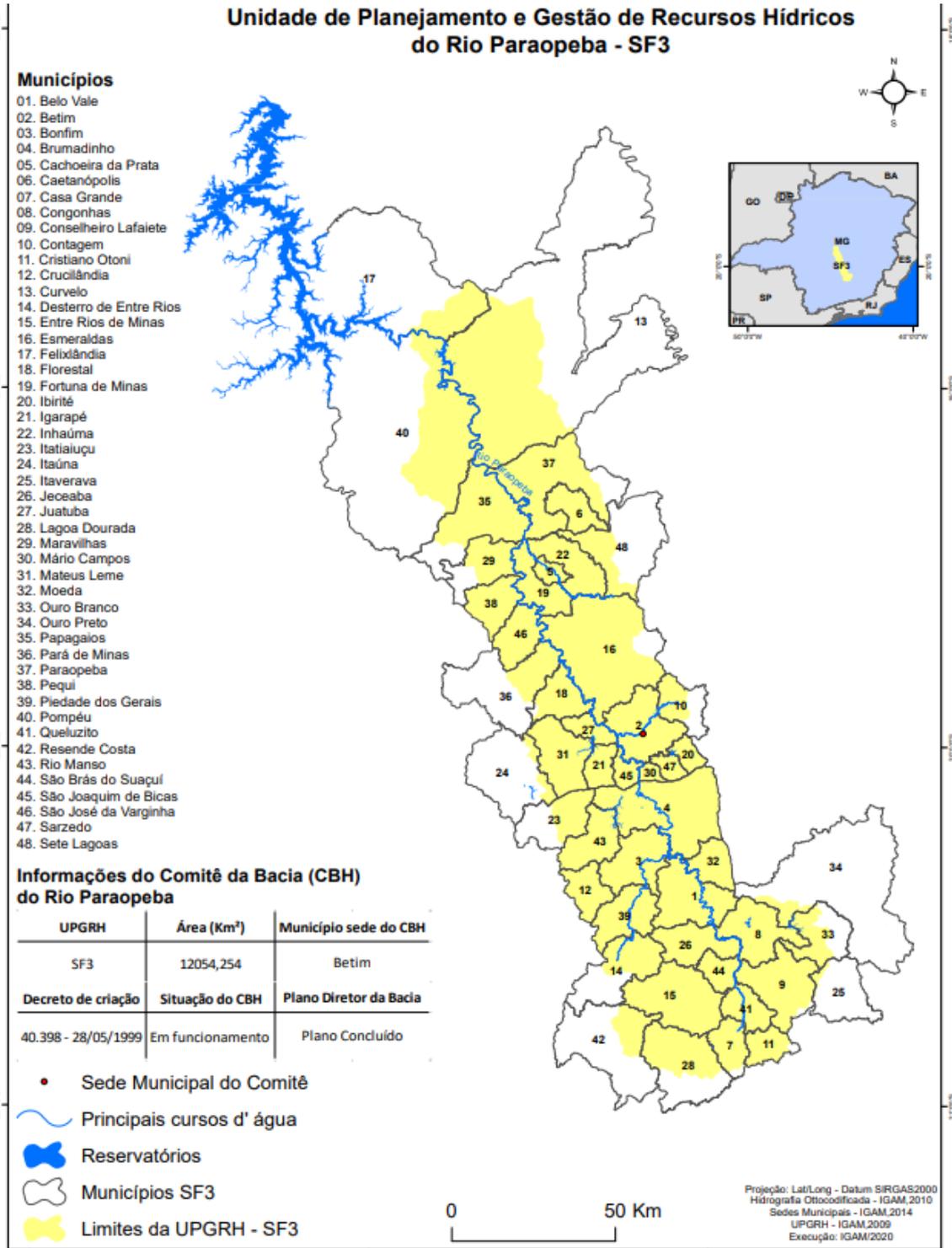


Figura 1 – Posicionamento geográfico bacia do Paraopeba

Fonte: IGAM (2022)

A Figura 1 é uma representação gráfica do posicionamento geográfico dos municípios integrantes da bacia do rio Paraopeba. De acordo com a unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos do rio Paraopeba (IGAM, 2022) são constituintes desse sistema 48

municípios, sendo 35 com sede na bacia. Esse rio tem sua nascente localizada ao sul no município de Cristiano Ottoni-MG e sua foz está na represa de Três Marias, no município de Felixlândia-MG. Por conta da orientação do fluxo de água do rio e pelo desastre ter ocorrido nas cercanias de Brumadinho (município 4 da Figura 1) as unidades que absorveram maior impacto da lama decorrente do rompimento da barragem foram os 26 municípios componentes da amostra desse estudo.

Para fins de classificação, segregação e análise dos insumos e produtos da amostra em estudo, é preciso apresentar os conceitos pactuados em relação ao atingimento dos índices representadas por notas (A, B+, B, C+ e C) relativos aos enquadramentos das prefeituras frente às dimensões auditadas pelo resultado do questionário proposto do IEGM/TCEMG (Instituto Rui Barbosa, 2022):

- 1) conceito “A”: Gestão altamente efetiva (superior a 0,9);
- 2) conceito “B+”: Gestão muito efetiva (entre 0,75 e 0,899);
- 3) conceito “B”: efetiva (entre 0,6 e 0,749);
- 4) conceito “C+”: em fase de adequação (entre 0,5 e 0,599);
- 5) conceito “C”: baixo nível de adequação (abaixo de 0,499).

O período analisado compreende os anos 2017 a 2021, tendo em vista anos anteriores ao de ocorrência do desastre ambiental, o ano corrente do desastre e anos subsequentes a esse como forma de analisar o grau de eficiência da aplicação dos investimentos, os municípios mais eficientes e os ineficientes e, por fim, se houve alguma mudança ou evolução na eficiência dos investimentos em gestão ambiental.

As bases de dados utilizadas foram: Sistema Informatizado de Contas dos Municípios do Estado de Minas Gerais (SICOM-TCE/MG) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

3.3 Procedimento de coleta de dados

Para avaliar o grau de eficiência dos investimentos nas funções orçamentárias do âmbito de gestão ambiental nos municípios mais afetados pelo desastre de Brumadinho-MG, verificando aqueles que atingiram a fronteira da eficiência e as metas a serem percorridas daqueles considerados ineficientes, bem como perceber o deslocamento do indicador no tempo de pesquisa foi elaborado uma análise descritiva dos insumos “*inputs*” (os investimentos por função orçamentária *per capita*) e dos resultados “*outputs*” (indicador de eficiência da gestão ambiental e de planejamento) dos municípios constituintes da amostra.

A coleta dos dados referentes aos investimentos realizados por função orçamentária (funções 15 – Urbanismo; 17 – Saneamento Básico; e 18 – Gestão Ambiental) e o indicador para valorar o desempenho de resultados e eficácia de políticas da gestão ambiental será realizada no sítio oficial do TCE/MG “fiscalizando com o TCE”, onde estes são organizados com detalhamento a nível de município.

A função orçamentária juntamente com as subfunções pré-fixadas compõe a classificação funcional identificadora. Servem como agregadores de gastos públicos por área de ação governamental independente dos programas. Por ser de aplicação comum e obrigatória no âmbito dos Municípios, dos Estados e da União, a classificação funcional permite a consolidação nacional dos gastos do setor público. Com esta finalidade, o rol de funções e subfunções, é submetido à crítica das instituições setoriais diretamente relacionadas às áreas do governo e, também das entidades de pesquisa que se utilizam das informações sobre gastos públicos no cumprimento de suas missões institucionais.

Acerca da função 15 – Urbanismo, é uma classificação representativa de determinadas áreas de atuação do Estado, tais como: Serviços urbanos; Assistência comunitária; Desenvolvimento tecnologia e engenharia; Transportes coletivos urbanos; Preservação e conservação ambiental; Administração geral; Habitação urbana; Infraestrutura urbana; Planejamento e orçamento; Ordenamento territorial; e outros. Tem relação com a gestão ambiental por aglutinar recursos vinculados à aplicação específica de preservação e conservação ambiental. Ademais também é uma classificação aglutinadora de investimentos quer envolvem recuperação de infraestrutura prejudicada por eventos do desastre.

Da função 17 – Saneamento Básico são áreas de atuação: Administração geral; Saneamento básico rural e saneamento básico urbano. Essas setorizações estão relacionadas com o espectro de gestão ambiental por vincular recursos e registrar aplicação específica de saneamento básico às condições de saúde pública envolvendo tratamento e abastecimento da água em toda sua forma. Para o estudo foi relevante pois os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG tiveram seus sistemas de tratamento de água danificados pela contaminação do rio Paraopeba, requerendo investimentos para sua recuperação.

Por fim, a função 18 – Gestão Ambiental, com ações governamentais nas seguintes esferas/subáreas: Preservação e conservação ambiental; Administração geral; Saneamento básico rural; Saneamento básico urbano; Ordenamento territorial; Transportes hidroviários; Recursos Hídricos; Irrigação; Controle ambiental; Normatização e fiscalização; Promoção da

produção vegetal; recuperação de áreas degradadas; atenção básica; vigilância epidemiológica e desenvolvimento científico.

Por meio de desenvolvimento de conhecimento a partir dos dados do TCE/MG, foi quantificado o aporte de recursos financeiros investidos, sendo que estes expressados por seu valor nominal, de face, sem viés do reflexo inflacionário para o período de estudo, relacionados com as questões inerentes ao espectro ambiente (gestão ambiental, saneamento básico e urbanismo), que deram sustentação para inferir na elaboração da evolução dos indicadores existentes, bem como para as análises de eficiência dos investimentos dos municípios. A partir da lista de variáveis (tabela 3) que representam os inputs e outputs (entradas e saídas) que foi definido quais delas poderiam ser constituintes de um modelo de eficiência (Mello et. al., 2005).

Antes disso, para aplicação do método de Análise Envoltória de Dados - DEA foi seguida as fases de implementação da metodologia propostas nos estudos de Golany e Roll (1989): 1. Definição e seleção das DMUs a entrarem em análise; 2. Seleção das variáveis de *input* e *output* relevantes; e 3. Aplicação do modelo DEA.

3.4 Índice de eficiência (ambiental e planejamento) da gestão municipal – IEGM-TCE/MG.

O Índice de Efetividade da Gestão Municipal - IEGM (TCE/MG, 2020) é apurado, pelo Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais, considerando as diretrizes do Instituto Rui Barbosa (IRB), anualmente, por meio de questionários eletrônicos aplicados aos municípios e atendidos por seus responsáveis competentes ou sob delegação desse. Este instrumento tem por finalidade avaliar a qualidade e a efetividade das políticas públicas implementadas nos municípios através do processamento das informações obtidas dos dados governamentais, dos dados extraídos do Sistema Informatizado de Contas dos Municípios (SICOM) e das informações levantadas a partir dos questionários.

Como indicador de processo, o IEGM serve para orientar os gestores municipais a implantar os processos e controles que são inquiridos nos questionários. Isso para que estes processos e controles, dado a quantidade e qualidade dos insumos aplicados (recursos financeiros, físicos e humanos), ajudem a gestão a melhorar os resultados de suas políticas públicas (mais e melhores produtos e serviços públicos), para que, por fim, estes tenham impacto no desenvolvimento socioeconômico da sua população (Instituto Rui Barbosa, 2022).

De acordo com Instituto Rui Barbosa (2022), sob esse prisma de análise, convém destacar que enquanto a disponibilidade de recursos orçamentários e a qualidade dos produtos e serviços públicos, bem como o seu impacto social são diretamente afetados pelo contexto socioeconômico em que o gestor está inserido, os processos inquiridos pelo IEGM estão

diretamente subordinados à ação (esforço) do gestor, independentemente do contexto socioeconômico em que está inserido.

A finalidade do IEGM é, portanto, reunir informações que possam servir de parâmetros para o aperfeiçoamento das ações governamentais, com a divulgação dos níveis de desempenho de resultados e eficácia de políticas adotadas nas atividades essenciais para a população.

As informações apuradas vão compor demonstrativos que serão publicados que servirão aos prefeitos, vereadores, gestores públicos, bem como à sociedade, como instrumentos para melhor aferição de resultados, de planejamento e de definição de prioridades da Tecnologia da Informação (TCE/MG, 2020).

Mais especificamente, tem-se o desdobramento do IEGM, em outro importante indicador que compõe o índice sob o aspecto da gestão ambiental: O i-AMB/TCEMG. O objetivo desse último é a apresentar o posicionamento dos municípios jurisdicionados por meio de um indicador que estabeleça uma métrica das ações sobre o meio ambiente que impactam a qualidade dos serviços e a vida das pessoas. Para apuração da metodologia de aplicação é fornecido a cada órgão jurisdicionado uma série de quesitos específicos de meio ambiente que devem ser respondidos eletronicamente pelos municípios por meio do Sistema de informatizado de contas dos municípios do Estado de Minas Gerais (SICOM) numa base multivalorada para os exercícios correntes. Abaixo modelo de formulário com pontuações para levantamento dos quesitos de ordem do indicador da efetividade da gestão do município do espectro ambiental.

Tabela 1. Quesitos Ambientais

Quadro quesitos ambientais: Base multivalorada	Pontuações
Sobre o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) – Lei nº 12.305/2010 – Se normativo foi publicado ou promulgado; se submetido a Câmara; se em fase de elaboração; ou não realizou o plano	Instrumento normativo publicado = 10 Submissão do texto a Câmara = 7 Fase de elaboração = 3 Não realizou = 0
A prefeitura municipal realiza a coleta seletiva de resíduos sólidos? Obs: A meta 12.5 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU é, até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. Se sim, descrever o processo de destinação;	Sim = 10 Não = 0
Número de domicílios atendidos pela coleta seletiva:	-
Número total de domicílios existentes no município no exercício	-

<p>A prefeitura possui Plano de Gestão de Resíduos da Construção Civil elaborado e implantado de acordo com a resolução CONAMA 307/2002 e suas alterações?</p> <p>Obs: Conforme Resolução CONAMA nº 307/2002 em seu artigo 11. O prazo máximo é de doze meses para que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil, contemplando os Programas Municipais de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil oriundos de geradores de pequenos volumes, e o prazo máximo de dezoito meses para sua implementação.</p>	<p>Sim = 13 Não = 0</p>
<p>Sobre programa ou ação de educação ambiental na rede escolar municipal, informe, o número de escolas dos Anos Iniciais (1º ao 5º ano do Ensino Fundamental) que adotam programa ou ação de educação ambiental:</p> <p>Obs: Conforme Resolução CONAMA nº 307/2002 em seu artigo 11. que o prazo máximo é de doze meses para que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil, contemplando os Programas Municipais de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil oriundos de geradores de pequenos volumes, e o prazo máximo de dezoito meses para sua implementação.</p>	<p>Sim = 5 Não = 2</p>
<p>A prefeitura municipal estimula entre seus órgãos e entidades de sua responsabilidade projetos e/ou ações que promovam o uso racional de recursos naturais?</p> <p>Ex.: implantação de dispositivos para uso racional da água, coleta seletiva, reuso ou reciclagem de material entre outros.</p>	<p>Parcialmente = 3 Não = 0</p>
<p>A prefeitura possui ou participa de algum programa ou ação que promovam a melhoria continua da qualidade ambiental no município?</p>	<p>Sim = 10 Não = 0</p>
<p>A prefeitura possui alguma estrutura organizacional para tratar de assuntos ligados ao Meio Ambiente Municipal?</p>	<p>Sim = 6 Não = 0</p>
<p>A prefeitura participou de treinamento oferecido pelo Corpo de Bombeiros para brigadas anti fogo ou planos para desastres naturais ou ações de contingência ou similares (privilegiando a participação de membros da Guarda Municipal, Defesa Civil, Tiro de Guerra, brigadistas de indústrias, usinas e empresas etc, inclusive para os municípios que possuem Unidades de Corpo de Bombeiros)?</p>	<p>Sim, integralmente = 5 Sim, na maior parte = 3 Sim, na menor parte = 1 Não = 0</p>
<p>O município possui seu Plano Municipal de Saneamento Básico?</p>	<p>Sim = 0 Não = (-5)</p>
<p>Informe os instrumentos normativos que tratam do Plano Municipal de Saneamento Básico:</p>	<p>a)Lei(s)b)Decreto(s)c)Outros. Quais?</p>
<p>Qual o percentual da população do município abrangida pelo serviço de coleta de esgotamento sanitário?</p>	<p>P.máxima: 4</p>

Qual o percentual da população do município abrangida pelo serviço de coleta de esgotamento sanitário?	P.máxima: 4
Qual o percentual de tratamento do esgotamento sanitário?	P.máxima: 6
Existem ações e medidas de contingenciamento para os períodos de estiagem?	Sim = 5 Não = 0
Existem ações e medidas de contingenciamento para provisão de água potável e de uso comum para a Rede Municipal de Ensino?	Sim = 2 Não = 0
Existem ações e medidas de contingenciamento para provisão de água potável e de uso comum para a rede municipal da Atenção Básica da Saúde?	Sim = 2 Não = 0
Há um plano emergencial com ações para fornecimento de água potável à população em caso de sua escassez?	Sim = 2 Não = 0
O município participa do Programa Estadual para Gestores Ambientais Municipais?	Sim = 2 Não = 0
O município está habilitado junto ao Conselho Estadual para licenciar os empreendimentos de impacto local? Obs: Deliberações Normativas Copam 213/2017 e 219/2018, Lei Nacional Complementar nº. 140/2011	Sim = 2 Não = 0
Por que motivo a prefeitura municipal ainda não possui Plano de Resíduos da Construção Civil implantado?	Plano enviado para aprovação legislativa Elaboração do plano não iniciada
A prefeitura participa de alguma instância de planejamento e gestão regional (tais como comitê de bacia, conselho regional/metropolitano, conselho gestor de APA - Área de proteção Ambiental), que promova a melhoria contínua da gestão ambiental municipal e da região em que está inserida?	Sim = 2 Não = 0
O município ainda lança, a céu aberto (lixões), seus resíduos sólidos? (LF nº 12.305/10, art. 47, II) Obs: Lei nº 12.305/10 Art. 47. São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos: II - lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração; A meta 12.5 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU é, até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.	Sim = 0 Não = (-5)

Fonte: TCE/MG (2020)

Para exposição de um exemplo, para fins de entendimento da aplicação do questionário disponibilizado aos municípios para a captação do indicador de efetividade da gestão municipal em âmbito ambiental, tem-se o município de Brumadinho-MG que em sua manifestação pontuou: haver promulgado instrumento normativo publicado sobre plano de gestão integrada de resíduos sólidos – de acordo com a Lei nº 12.305/2010 – 10 pontos atribuídos; respondeu que a prefeitura possui Plano de Resíduos da Construção Civil que aborde itens tais como coleta, transporte e destinação final - 13 pontos atribuídos; respondeu que a prefeitura participou de treinamento oferecido pelo Corpo de Bombeiros para brigadas antifogo ou planos para desastres naturais ou ações de contingência - 5 pontos atribuídos; e que o município possui seu plano municipal de saneamento básico - 0 pontos atribuídos.

Assim, para o período de 2020, Brumadinho obteve a indicação de 62,51 de um total de 100 pontos atribuíveis do indicador ambiental.

Abaixo modelo de formulário com pontuações para levantamento dos quesitos de ordem do indicador da efetividade da gestão do município do espectro de planejamento.

Tabela 2. Quesitos Planejamento

Quadro quesitos Planejamento: Base multivalorada	Pontuações
O planejamento da prefeitura, para o ano de 2019 foi estruturado através de programas, indicadores, metas e ações?	Sim = 10 Não = 0
Existe órgão ou servidor responsável pelo controle interno no município com atribuições formalmente definidas e com a apresentação de relatórios periódicos?	Sim = 5 Não = 2
Esse quesito somente será disponibilizado caso a resposta da questão 7 seja “Sim”. Com base no relatório do Controle Interno, o Prefeito determinou as providências cabíveis?	Sim = 5 Não = 0
O servidor responsável pela contabilidade do município é ocupante de cargo de provimento efetivo?	Sim = 10 Não = 0
Existe equipe estruturada para realização do planejamento municipal (PPA, LDO e LOA)?	Sim = 10 Não = 0
A LDO estabelece, por ação do governo, custos estimados, indicadores e metas físicas?	Sim = 0 Não = (-5)
A LDO prevê critérios para limitação de empenho e movimentação financeira?	Sim = 0 Não = (-5)

A LDO prescreve critérios para repasses a entidades do terceiro setor?	Sim = 0 Não = (-5)
Há estrutura administrativa voltada para planejamento?	Sim = 6 Não = 3
Os servidores responsáveis pelo planejamento recebem treinamento específico para a matéria?	Sim = 0 Não = (-5)
Os servidores dos demais setores, excluindo os do planejamento, recebem treinamento sobre planejamento?	Sim = 10 Não = 0
Os servidores do setor de planejamento ou que cuidam dessa atividade tem dedicação exclusiva para essa matéria?	Sim = 6 Não = 2
Há sistema informatizado para auxiliar na elaboração do planejamento?	Sim = 0 Não = (-5)
O sistema informatizado é descentralizado (Os setores o alimentam e a unidade central de planejamento consolida)?	Sim = 10 Não = 0
Além das audiências públicas, há levantamentos formais dos problemas, necessidades, deficiências do Município antecedentes ao planejamento?	Sim = 10 Não = 0
Os diagnósticos serviram para as soluções e estão materializados nas peças orçamentárias?	Sim = 6 Não = 2
Para a elaboração do diagnóstico é levado em conta algum plano do governo federal ou estadual?	Sim = 10 Não = 5

Fonte: TCE/MG (2020)

Da mesma forma, para os quesitos de planejamento, o município de Brumadinho pontuou: a existência de levantamento dos problemas, necessidades, deficiências do Município antecedentes ao planejamento – 10 pontos atribuídos; e afirmou que os setores da prefeitura têm conhecimento prévio da previsão de receita cabível para elaborarem suas dotações- 6 pontos atribuídos.

Destarte, para o período de 2020, Brumadinho obteve a indicação de 75,56 de um total de 100 pontos atribuíveis do indicador de planejamento. Relevante citar que esse indicador representa 10% do índice que consolida todos os indicadores.

3.5 Análise Envoltória de dados e Índice de *Malmquist*

A técnica da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) foi inicialmente desenvolvida por Farrell (1957), contudo, ganhou notoriedade após o estudo de

Charnes, Cooper e Rhodes (1978). A DEA é uma técnica não paramétrica que define uma fronteira de eficiência a partir de múltiplos inputs e outputs para cada uma de suas unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Unit* – DMU). Tem como objetivo comparar a eficiência de entidades (unidades), considerando uma série de insumos ou recursos (*inputs*) utilizados e de produtos (*outputs*). Portanto, a DEA é uma metodologia não paramétrica que identifica escores de eficiência para cada unidade de produção, por meio de um modelo empírico, em que cada unidade é avaliada em relação às outras unidades de um conjunto homogêneo. Segundo Saurin et al. (2013), esta metodologia foi inicialmente aplicada em instituições públicas, devido à dificuldade de alocação de preços a insumos e produtos, impossibilitando a valoração da eficiência. Estudos utilizam o DEA como modelo em amplas áreas da sociedade, de setores comerciais a comparações entre municípios.

Apropriado distinguir eficiência e eficácia para avaliar a aplicabilidade da ferramenta matemática utilizada. A eficácia compreende a capacidade de alcançar determinado resultado previamente almejado, logo, o conceito está ligado ao alcance do objetivo, enquanto a eficiência, compreende a relação entre o que foi produzido/alcançado, dada determinada disponibilidade de escassos recursos, e o que poderia ter sido produzido com esses mesmos recursos, assim, o conceito relaciona-se à performance (Nascimento et al., 2013; Mello et al., 2005). Desse modo, as análises da DEA geram uma fronteira de eficiência, em que cada unidade tomadora de decisão (*Decision Making Units* - DMU) avaliada terá um escore de eficiência entre 0 e 1 ou 0 a 100% (Silva, 2009; Silva et al. 2013).

Nesta pesquisa, as DMU's são representadas pelos municípios que integram a bacia do rio Paraopeba (Minas Gerais, 2022), aqueles que sofreram maior impacto, sob aspectos econômicos, financeiros e ambientais, do que todos os outros municípios do Estado de Minas Gerais em relação ao rompimento da barragem de Brumadinho/MG. Quanto aos inputs e outputs, expressos no Quadro 1, os inputs – para a pesquisa assumindo os investimentos *per capita* nas funções orçamentárias 15 – Urbanismo, 17 – Saneamento Básico e 18 – Gestão Ambiental são definidos como recursos utilizados pelas DMU's ou condições que afetam o desempenho das mesmas, (Ramanathan, 2003), enquanto que os outputs – Indicador de Desempenho da Gestão Municipal, âmbito Ambiental e Planejamento - são os benefícios gerados como resultado da operação das DMU's”.

Para a aplicação da DEA, segundo a orientação de Peña (2008), exige-se uma sequência de passos ou etapas, como: 1) Seleção das unidades produtivas (DMU's); 2) Seleção das variáveis (inputs e outputs); 3) Aplicação dos modelos DEA, com utilização de softwares

disponíveis. Nesta terceira e última etapa definem-se a orientação (inputs ou outputs) e o tipo de modelo, CCR ou BCC. Após selecionadas as DMU's e as variáveis (inputs e outputs), define-se orientação e o tipo de modelo, conforme o caso.

Banker, Charnes e Cooper (1984) propuseram um modelo conhecido como BCC, aplicável aos casos em que os rendimentos de escala são variáveis e não considera a proporcionalidade entre inputs e outputs. Por levar isso em consideração, tal modelo é considerado mais benevolente que o CCR, de modo que a eficiência de uma DMU no modelo BCC é sempre superior ou igual à do modelo anteriormente apresentado. Neste modelo, não se considera proporcionalidade na relação entre inputs e outputs, considerando diferentes escalas e gerando uma fronteira de eficiência convexa. Dessa forma, é considerado um modelo de retornos variáveis de escala, ou VRS (*Variable Returns to Scale*). Outra diferença importante neste modelo é que a eficiência encontrada na orientação a inputs não necessariamente será a mesma na orientação a outputs e vice-versa. De forma similar ao modelo CCR, o BCC tem tanto um Modelo dos Multiplicadores quanto um Modelo do Envelope, cada um com duas orientações, sendo uma a inputs e uma a outputs. A eficiência obtida pela DEA é relativa e baseia-se em observações reais do conjunto de DMUs. As DMUs que melhor utilizam seus recursos formam a fronteira de eficiência enquanto as demais têm sua ineficiência calculada com base na sua distância da fronteira. Segundo Faria et. al. (2008,) “a DEA permite que se calcule a eficiência de cada DMU, ao realizar comparações entre as unidades do grupo analisado, no intuito de destacar as melhores dentro dele”.

O modelo conceitua determinada DMU como eficiente quando ela consome uma quantidade menor de insumos para uma geração igual ou maior de produtos, ou de maneira análoga, utilizando a mesma quantidade de insumos para entregar uma quantidade maior de produtos Miranda (2006). Além disso, a fim de aumentar a eficácia do modelo, é preciso agrupar as DMUs em diferentes grupos de forma que em cada grupo, todas as unidades possuam características semelhantes, aplicando no mesmo modelo as mesmas variáveis de inputs e outputs, reduzindo dessa forma possíveis distorções no estudo.

Em ambos os modelos, os escores de eficiência variam no intervalo entre zero e um, sendo que quanto mais próximo de um for o escore, mais esta DMU será considerada eficiente. De forma contrária, quanto mais próxima de zero for o valor encontrado, mais ineficiente será considerada esta unidade.

O intuito dessa pesquisa é analisar o grau de eficiência dos investimentos em gestão ambiental dos municípios mais afetados pelo desastre de Brumadinho/MG, têm-se como

objetivo gerar o máximo de produtos (no caso a nota no IEGM) sem alterar os insumos (recursos financeiros). Diante de tal circunstância, o modelo DEA com retornos variáveis de escala (BCC), orientado a produtos, torna-se a melhor opção para esta análise.

Ademais, os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho/MG possuem realidades diferentes, tamanhos diversos e população diferente, ou seja, tendem a ter retornos de escala diferentes. Outra questão, é que a adoção do modelo BCC, que permite Retornos Variáveis de Escala (RVE), também está baseada na capacidade técnica desse modelo em eliminar possíveis ineficiências causadas pelo efeito escala resultante do tamanho das DMUs. Além do que, outra característica desse modelo é que é o recomendado para quem utiliza dados em índices, tanto nos inputs quanto nos *outputs/outcomes*, Diniz (2012). Na presente pesquisa, os dados dos *outputs/outcomes*, os IEGM dos municípios, são em índices. Logo, pelos motivos expostos, a utilização desse modelo na presente pesquisa está justificada.

Salienta-se que a DEA é sensível a observações extremas, bem como os municípios que apresentarem uma ou mais observações atípicas, e que poderiam gerar distorções na fronteira de produção, serão desconsiderados na especificação do modelo, entretanto, seus índices de eficiência serão calculados, mesmo não tendo sido considerados na determinação da tecnologia produtiva empregada, nesse aspecto foi utilizada a mesma metodologia de Almeida e Gasparini (2011).

A pesquisa tem por objetivo analisar o grau de eficiência dos investimentos de gestão ambiental do município, verificar aquelas unidades eficientes e ineficientes, bem como analisar se houve alguma mudança ou evolução na eficiência desses investimentos, entre os anos de 2017 a 2021. Ou seja, busca-se estudar a dinâmica da eficiência no período em análise. No entanto, os modelos DEA somente possibilitam obter o escore de eficiência em um período específico. Para avaliar a dinâmica de eficiência das DMUs em uma série de períodos (“t e t + 1”) é utilizado o índice de *Malmquist*.

O índice de *Malmquist* foi introduzido por Caves, Christensen e Diewert (1982) que utilizaram as funções de distância de entrada e de saída de *Malmquist* para análise da produtividade (Coelli et. al., 2005). Tem o objetivo de avaliar a evolução da produtividade de cada unidade de produção, relativamente ao conjunto de unidades em que ela se insere. Esse índice pode ser classificado como um modelo da técnica dos números índices. O modelo de *Malmquist-DEA*, proposto por Färe et al. (1994), vem sendo bastante utilizado nos últimos anos para esta estimação devido ao fato das suas vantagens relacionadas a sua aplicação no método da Análise Envoltória de Dados (DEA), sendo elas: nenhuma informação de preço é necessária

e as medidas de mudanças no Fator de Produtividade Total (TFP), podendo ser divididas em fatores como: alterações na tecnologia e alterações na eficiência técnica (Santana e Oliveira, 2002). Segundo Rebelo (2000), o índice *Malmquist* apresenta as seguintes vantagens em relação aos outros números índices: 1. Não necessita de informações a respeito dos pesos dos inputs e dos outputs para calcular a eficiência; 2. Calcula diretamente a eficiência produtiva; e 3. Permite separar o quanto da evolução da produtividade de uma DMU foi devido apenas à alteração da eficiência produtiva (AE) do quanto foi devido a alteração da tecnologia (AT).

Os cálculos exploram o fato de que as funções de distância de saída utilizadas para construir o índice são equivalentes às medidas de eficiência técnica de Farrell (1957), possuindo semelhança com o modelo de análise envoltória de dados de Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Outra característica do índice *Malmquist* é que, devido a características de formulação, ele não permite comparar duas DMUs diferentes, apenas a mesma DMU em dois períodos de tempo. Assim, no índice *Malmquist*, a DMU base será sempre a DMU em análise no passado.

De acordo com Mariano et. al (2009) o índice *Malmquist* é calculado a partir da comparação entre às distâncias das DMUs analisadas, relativas à uma fronteira de eficiência empiricamente construída. Com isso, conclui-se que, apesar de ser um número índice e só medir a eficiência entre dois pontos, o índice *Malmquist* precisa trabalhar com o conceito de fronteira de eficiência para poder realizar seus cálculos. Sendo assim, para se calcular esse índice é necessário um painel de dados com os inputs e outputs de várias DMUs em pelo menos dois períodos.

A distância relativa à fronteira de eficiência pode ser calculada de duas formas, por meio: (a) da Análise por Envoltória de Dados (DEA) e (b) da Fronteira Estocástica. Pode-se notar que o índice *Malmquist* precisa se apoiar em outras técnicas para poder ser calculado, sendo que cada uma dessas técnicas de apoio corresponde a uma perspectiva diferente para esse modelo.

A eficiência dada pelo índice *Malmquist*, é obtida pela média geométrica das distâncias das duas DMUs que estão sendo analisadas, relativas a duas fronteiras diferentes: (a) a fronteira construída com os dados do período e (b) a fronteira construída com os dados do período. Segundo Färe et al. (1995), a fórmula geral do cálculo do índice *Malmquist* pode ser decomposta, por meio de algumas manipulações matemáticas, em duas parcelas, sendo que uma delas indica o quanto da evolução da produtividade se deve efetivamente a eficiência e a outra indica o quanto se deve a tecnologia.

Segundo Stefko, Gavurova e Korony (2016) o índice de *Malmquist* verifica o comportamento nas variações da produtividade, *Catch-up* (alteração na eficiência ou emparelhamento) e *Frontier-shift* (mudança tecnológica) de uma DMU em distintos períodos de tempo.

De acordo com Majumdar (2017) o índice *Malmquist-DEA* analisa a dinâmica da produtividade ao longo de um período, sendo este, obtido através do produto dos índices de mudança na inovação tecnológica e eficiência. A dinâmica de uma determinada unidade ao longo do tempo dependerá tanto da sua posição em relação à fronteira *Catch-up* quanto da fronteira *Frontier-shift*. Conforme Raei et al. (2017) *Malmquist* é utilizado para estimar as variações da produtividade de uma unidade tomadora de decisão (DMU) de determinados períodos. Ele é equiparado ao produto dos termos “Catch-up” e “Frontier-shift”.

O índice *Catch-up* fornece está associado as mudanças da eficiência, enquanto o índice *Frontier-shift* é relacionado as alterações tecnológicas. Portanto, o Índice de *Malmquist* será utilizado neste estudo para analisar a dinâmica da eficiência dos municípios do no que diz respeito à utilização dos recursos públicos na área de saúde.

Tabela 3 – Modelagem Análise Envoltória de Dados

Variáveis	Descrição	Fonte	Uso	Referencial
Investimento <i>per capita</i> na função 15 – Urbanismo (INV_UR)	Razão entre os recursos aplicados na função 15 – Urbanismo e a população estimada para os exercícios de 2017 a 2021	Sistema Informatizado de Contas dos Municípios – SICOM/TCE-MG	Input	Unterberger, C. (2018); Costa et al. (2015); Rodrigues et al. (2016)
Investimento <i>per capita</i> na função 17 – Saneamento (INV_SN)	Razão entre os recursos aplicados na função 17 – Saneamento e a população estimada para os exercícios de 2017 a 2021	Sistema Informatizado de Contas dos Municípios – SICOM/TCE-MG	Input	Unterberger, C. (2018); Costa et al. (2015); Rodrigues et al. (2016)
Investimento <i>per capita</i> na função 18 – Gestão Ambiental (INV_GA)	Razão entre os recursos aplicados na função 18 – Gestão Ambiental e a população estimada para os exercícios de 2017 a 2021	Sistema Informatizado de Contas dos Municípios – SICOM/TCE-MG	Input	Unterberger, C. (2018); Costa et al. (2015); Rodrigues et al. (2016)
Desempenho Gestão Municipal “Ambiental” (IEGM-A)	Indicador IEGM-TCE/MG para níveis de desempenho de resultados e eficácia de políticas da gestão ambiental para o exercício de 2017 a 2021	Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais	Output	Costa et al. (2015); Rodrigues et al. (2016)
Desempenho Gestão Municipal “Planejamento” (IEGM-P)	Indicador IEGM-TCE/MG para valorar o que foi planejado e realizado em matéria de programas e ações ambiental para o exercício de 2017 a 2021	Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais	Output	Costa et al. (2015); Rodrigues et al. (2016)

Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para atingir os objetivos do estudo procurou-se, inicialmente, segregar as delimitações temporais e aplicar a modelagem estatística análise envoltória de dados para, então, conhecer os escores e interpretar sua indicação (Floris et.al, 2021; Dos Santos, 2020). Foi desenvolvido em 26 municípios (firmas), considerando a utilização de 3 insumos (*input*) – os recursos aplicados em cada função orçamentária, *per capita*, concernente a gestão ambiental do município – e 2 produtos (*output*) – os indicadores de eficiência de gestão municipal para o âmbito ambiental e planejamento.

Em etapas, foram analisados os períodos anuais de 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021. Na aplicação do software foram estipulados parâmetros, dos quais previstos na metodologia dessa pesquisa descritos no item de procedimentos de coleta de dados para utilização da formulação matemática, utilizando da mesma coordenação de análise para todos os períodos.

Após buscou-se agregar os resultados e os períodos para aplicação do índice de *Malmquist* a fim de conhecer a evolução dos escores nos exercícios correspondente a antes, durante e após ocorrência do desastre ambiental de Brumadinho-MG.

4.1 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2017

Tabela 4 – Dados Modelagem DEA 2017

	Municípios	IEGM-A 2017	IEGM-P 2017	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
1	Abaeté	0,682	0,593	3,298	-	0,730
2	Betim	0,871	0,626	49,159	0,036	77,925
3	Biquinhas	0,235	0,667	8,748	-	0,001
4	Brumadinho	0,682	0,533	245,769	27,735	58,710
5	Caetanópolis	0,024	0,539	139,603	35,147	-
6	Curvelo	0,494	0,534	87,955	5,285	0,349
7	Esmeraldas	0,129	0,500	50,909	-	-
8	Felixlândia	0,376	0,500	101,014	3,438	43,175
9	Florestal	0,447	0,517	169,576	1,715	0,422
10	Fortuna de Minas	0,129	0,569	301,182	102,523	11,124
11	Igarapé	0,788	0,720	86,178	0,001	94,083
12	Juatuba	0,506	0,605	421,721	-	24,858

13	Maravilhas	0,094	0,778	119,669	30,538	5,646
14	Mário Campos	0,212	0,514	40,966	11,357	118,559
15	Mateus Leme	0,412	0,500	50,373	-	9,778
16	Morada Novas de Minas	0,176	0,503	42,603	3,078	2,925
17	Paineiras	0,188	0,512	214,575	10,443	0,017
18	Papagaios	0,247	0,624	122,647	106,223	1,695
19	Pará de Minas	0,447	0,500	65,039	1,124	-
20	Paraopeba	0,400	0,534	163,405	16,067	-
21	Pequi	0,153	0,648	125,159	130,590	104,769
22	Pompéu	0,812	0,503	174,939	5,164	0,001
23	São Gonçalo do Abaeté	0,624	0,627	176,977	2,394	9,961
24	São Joaquim de Bicas	0,565	0,500	-	-	128,665
25	São José da Varginha	0,412	0,754	132,923	161,251	16,131
26	Três Marias	0,259	0,502	44,313	50,829	26,623

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela de dados da modelagem no exercício de 2017 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus produtos correspondentes (IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento) e de seus insumos, entendidos como a razão do montante orçamentário liquidado (unidade de real) para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2017.

A título exemplificativo, a unidade decisória de Pompéu, item 22, alcançou um índice de eficiência na gestão municipal no âmbito ambiental de 0,812. Para tal, no mesmo exercício, a administração alocou recursos na função de saneamento básico na monta de R\$ 5,16 por habitante.

No período de 2017, 69,23% (dezoito municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C” de avaliação da política de gestão pública apurado pelo TCE-MG, demonstrando baixo nível de adequação aos quesitos de gestão ambiental. Nessa esteira, em relação ao indicador de gestão de planejamento, 65,38% (dezessete municípios) das

unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C+”, demonstrando estar situados em fase de nível de adequação aos quesitos relacionados ao que foi planejado e realizado em matéria de programas e ações. Importante observar que apenas 3 unidades decisórias (Betim, Igarapé e Pompéu), 11,53% da amostra, obtiveram conceito “B+” conferindo aos quesitos de gestão ambiental como muito efetiva.

As unidades decisórias que mais alocaram recursos na função 15 - Urbanismo, foram Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, Paineiras, Brumadinho Fortuna de Minas e Juatuba, representando 23,07% da amostra e 48,91% do valor total investido por habitante dos municípios. Os três municípios que menos investiram, São Joaquim de Bicas – sem alocação de recursos – Abaeté e Biquinhas representaram 0,38% do total dos investimentos por habitante da amostra das unidades decisórias.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 17 – Saneamento, foram Papagaios, Pequi, Fortuna de Minas e São José da Varginha, representando 15,38% da amostra e 71,01% do valor total por habitante de investimentos dos municípios da amostra. Biquinhas, Esmeraldas, Abaeté, Mateus Leme, Juatuba, Igarapé e São Joaquim de Bicas não alocaram recursos na função de saneamento representaram 26,92% das firmas.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 18 - Gestão Ambiental, foram Mário Campos, Pequi e São Joaquim de Bicas representando 11,53% da amostra e 47,82% do valor total por habitante de investimentos. Caetanópolis, Biquinhas, Esmeraldas, Pará de Minas, Pompéu e Paraopeba não alocaram recursos na função de gestão ambiental. Paineiras, Curvelo, Florestal, Abaeté, Papagaios, Morada Novas de Minas, Maravilhas. Mateus Leme e São Gonçalo do Abaeté alocaram recursos até R\$ 10,00 por habitante. Estes representaram 57,69% da amostra das unidades decisórias.

Tabela 5 – Estatística Descritiva 2017

	IEGM-A 2017	IEGM-P 2017	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
Média	0,399	0,573	120,719	27,113	28,314
Erro padrão	0,047	0,017	19,149	8,930	8,127
Moda	0,682	0,500	-	0,001	0,001
Mediana	0,406	0,534	110,342	4,301	7,712
Variância	0,058	0,007	9.534,236	2.073,572	1.717,166
Desvio padrão	0,241	0,084	97,643	45,536	41,439

Coefficiente de Variação	0,604	0,147	0,809	1,679	1,464
Mínimo	0,024	0,500	0,001	0,001	-
Máximo	0,871	0,778	421,721	161,251	128,665

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados da estatística descritiva no exercício de 2017 apresenta, com base nos dados da modelagem, as mensurações descritivas: média, erro padrão, moda, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo. Para o cálculo de cada medida considerou os índices IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento e a razão do montante orçamentário liquidado para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2017.

A título exemplificativo, a mediana apurada para o indicador IEGM-A de toda amostra disposta na base de dados da modelagem foi de 0,406 revelando que esse número separa a metade maior e a metade menor da distribuição em referência.

Apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis de análise da modelagem dos dados para o período de 2017, os resultados demonstram que, a média apurada no indicador de eficiência ambiental foi de 0,399. Tal resultado revela, de acordo com o Manual IEGM, TCE/MG (2020), um conceito de nota “C” para a delimitação da amostra, demonstrando que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho/MG já apresentavam, antes do evento, baixo nível de adequação dos quesitos de gestão ambiental. O percentual de municípios da amostra que se mantiveram abaixo do valor médio para o indicador de eficiência ambiental foi de 46,15%. E 69,23% deles apresentaram conceito “C”, denotando reduzido escore de aderência às questões elaboradas.

Quanto a média apurada acerca do índice de gestão municipal com foco em planejamento, o número correspondente foi de 0,573, denotando conceito “C+” em fase de adequação. A razão de 61,53% dos municípios da amostra se manteve abaixo do valor médio para o indicador de eficiência de planejamento e 65,38% deles apresentaram conceito “C+”, denotando em fase de adequação dos quesitos.

Existe diferença entre o escore mínimo (0,024) e o máximo (0,871) do indicador de eficiência de gestão ambiental para o exercício de 2017, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (0,241), evidenciando que existe distorções de cumprimento dos quesitos do relatório IEGM entre as cidades.

O coeficiente de variação ou desvio padrão relativo apurado para o índice de efetividade da gestão ambiental foi de 0,604. Esse indicador demonstra a extensão da variabilidade em razão da média dessa amostra, ou seja, quanto os dados da amostra variam em torno de sua média. Para o exercício de 2017, os indicadores de IEGM-ambiental variaram 60,4% em torno da média (0,399). O coeficiente de variação calculado para o IEGM-Planejamento foi de 0,147, indicando, portanto, que esse índice variou 14,7% em relação a média (0,573).

Quanto as estatísticas descritivas dos *inputs* das unidades decisórias, tem-se como mediana, para o ano de 2017, a apuração de R\$110,34 investidos na rubrica de 15 - Urbanismo, por habitante. A mediana é o valor que separa a metade maior e a metade menor dessa amostra; a vantagem da mediana em relação à média é que a mediana pode dar uma ideia melhor de um valor típico porque não é tão distorcida por valores extremamente altos ou baixos. Em estudos estatísticos sobre indicadores voláteis, a média pode ser distorcida por um pequeno número de valores extremamente altos ou baixos.

Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 46,15% (doze municípios) executaram investimentos até R\$100,00 por habitante no exercício de 2017. Dez municípios (38,46% da amostra) executaram investimentos de R\$100,01 até R\$ 200,00 por habitante e, por fim, 15,38% (quatro municípios) executaram investimentos a partir de R\$200,01 por habitante.

Há diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso – São Joaquim de Bicas) e o máximo (R\$421,72 por habitante - Juatuba) do indicador de investimentos na função 15 – Urbanismo para o exercício de 2017, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (97,64), evidenciando que existe distorções nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para o a rubrica 15 - Urbanismo foi de 0,809, indicando, portanto, que esse índice variou 80,9% em relação à média (120,719).

Acerca dos investimentos na rubrica de 17 – Saneamento, por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2017, a apuração de R\$ 4,30. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 23,07% (seis municípios) executaram investimentos até R\$4,70 por habitante no exercício de 2017. Dois municípios (7,69% da amostra) executaram investimentos de R\$4,70 até R\$ 10,00 por habitante.

Significa apontar, com base nas análises estatísticas, que os investimentos na função orçamentária de saneamento básico, embora relevantes e essenciais, se mantem baixo em relação as outras funções apresentadas nesse estudo. Além disso essa rubrica deveria atender toda alçada de gestão ambiental por agregar e rotular os recursos e aplicação características de

saneamento básico às políticas de saúde pública envolvendo tratamento e abastecimento da água. Considera-se importante para as unidades da amostra pois esses municípios, denominados mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG, pois tiveram seus sistemas de tratamento de água danificados pela contaminação do rio Paraopeba.

E, outrossim, 42,30% (onze municípios) executaram investimentos a partir de R\$10,00 por habitante. Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Esmeraldas) e o máximo (R\$161,25 por habitante – São José da Varginha) do indicador de investimentos na função 17 – Saneamento para o exercício de 2017, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (45,53), evidenciando que há diferença importante nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 17 - Saneamento foi de 1,679, indicando, portanto, que esse índice variou 167,9% em relação a média (27,113).

Por fim, acerca dos investimentos na rubrica 18 – Gestão Ambiental por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2017, a apuração de R\$ 7,71. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 26,92% (sete municípios) executaram investimentos até R\$7,71 por habitante no exercício de 2017. 26,92% (sete municípios) executaram investimentos de R\$7,71 até R\$ 50,00 por habitante e, finalmente, 23,07% (seis municípios) executaram investimentos a partir de R\$50,01 por habitante. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 18 – Gestão Ambiental foi de 1,464, indicando, portanto, que esse índice variou 146,4% em relação a média (28,314).

4.2 – Resultados modelagem DEA 2017

Tabela 6 - Resultado Modelagem DEA 2017

1	Municípios	Eficiência Técnica – Orientação Output				Folgas					Alvos				
		CRS	VRS	Escala		IEGM- A 2017	IEGM- P 2017	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)	IEGM- A 2017	IEGM- P 2017	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
2	Abaeté	1,000	1,000	1,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,682	0,593	3,298	0,001	0,730
3	Betim	0,083	1,000	0,083	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,871	0,626	49,159	0,036	77,925
4	Biquinhas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,235	0,667	8,748	0,001	0,001
5	Brumadinho	0,013	0,013	1,000	-	0,000	0,060	0,000	0,371	0,058	0,682	0,593	3,298	0,001	0,730
6	Caetanópolis	0,808	1,000	0,808	irs	0,211	0,128	130,855	35,146	0,000	0,235	0,667	8,748	0,001	0,001
7	Curvelo	0,187	0,527	0,355	drs	0,000	0,000	0,000	2,001	0,000	0,494	0,534	46,394	0,787	0,184
8	Esmeraldas	0,527	0,074	7,148	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,129	0,500	3,757	0,000	0,000
9	Felixlândia	0,027	0,032	0,844	irs	0,305	0,093	0,000	0,111	0,000	0,681	0,593	3,281	0,001	1,402
10	Florestal	0,092	0,365	0,251	drs	0,000	0,041	22,991	0,000	0,000	0,447	0,558	38,957	0,627	0,154
11	Fortuna de Minas	0,020	0,023	0,887	irs	0,261	0,072	0,000	2,335	0,000	0,390	0,641	6,861	0,001	0,253
12	Igarapé	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,788	0,720	86,178	0,001	94,083
13	Juatuba	0,926	1,000	0,926	irs	0,000	0,017	416,277	0,000	24,415	0,506	0,622	5,444	0,001	0,443
14	Maravilhas	0,066	1,000	0,066	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,094	0,778	119,669	30,538	5,646
15	Mário Campos	0,066	0,075	0,876	irs	0,462	0,073	0,000	0,855	0,000	0,674	0,587	3,087	0,001	8,933

16	Mateus Leme	0,789	1,000	0,789	irs	0,248	0,097	46,801	0,000	9,085	0,660	0,597	3,572	0,001	0,693
17	Morada Novas de Minas	0,109	0,136	0,803	irs	0,302	0,124	0,000	0,417	0,000	0,478	0,627	5,786	0,001	0,397
18	Paineiras	0,045	0,059	0,771	irs	0,047	0,155	3,874	0,613	0,000	0,235	0,667	8,748	0,001	0,001
19	Papagaios	0,062	0,065	0,951	irs	0,055	0,032	0,000	6,872	0,000	0,302	0,656	7,936	0,001	0,110
20	Pará de Minas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,447	0,500	65,039	1,124	0,001
21	Paraopeba	0,883	1,000	0,883	irs	0,000	0,003	110,846	15,192	0,000	0,400	0,537	52,559	0,875	0,001
22	Pequi	0,028	0,059	0,484	drs	0,197	0,000	0,000	7,667	5,963	0,350	0,648	7,349	0,001	0,188
23	Pompéu	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,812	0,503	174,939	5,164	0,001
24	São Gonçalo do Abaeté	0,049	1,000	0,049	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,624	0,627	176,977	2,394	9,961
25	São Joaquim de Bicas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,565	0,500	0,001	0,001	128,665
26	São José da Varginha	0,043	1,000	0,043	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,412	0,754	132,923	161,251	16,131
1	Três Marias	0,062	0,074	0,848	irs	0,422	0,090	0,000	3,746	0,000	0,681	0,592	3,266	0,001	1,962
		1,000	1,000	1,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,682	0,593	3,298	0,001	0,730
	Média	0,432	0,710	0,587		0,090	0,009	5,878	7,573	1,179	0,529	0,583	76,049	1,932	13,464

Tabela 6 – Resultado Modelagem DEA 2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 6 são demonstrados os municípios delimitados da amostra da pesquisa, numeradas de 1 a 26. As saídas do resultado do método DEA contém a eficiência técnica (te), ou escore, de cada firma e a média (*mean*) das pontuações.

Uma análise oportuna que fora trabalhada refere-se à classificação das unidades ineficientes. Poder-se-ia classificá-las, subjetivamente, como de baixa, média e alta eficiência. Estudos anteriores projetam uma classificação segundo a localização nas camadas de iso-eficiência. As camadas de iso-eficiência são usadas para obter uma forma alternativa de ordenação em DEA (Tavares, 1998; Barr et al., 2000). As camadas são obtidas da seguinte forma (Gomes, 2003): as DMUs com 100% de eficiência formam a camada 1. Essas DMUs são, então, retiradas do conjunto de análise e corre-se novamente o modelo DEA. As DMUs eficientes neste subconjunto formam a camada 2. O processo repete-se até que todas as DMUs tenham sido retiradas do conjunto inicial.

Nessa pesquisa, essas camadas de iso-eficiência são usadas para a elaboração da divisão em classes, de maneira parelha à abordagem de Soares de Mello et al. (2005). Dessa forma, este procedimento permite uma alocação não subjetiva das unidades produtivas segundo o grau de eficiência, e uma qualificação objetiva das unidades, segundo variáveis não consideradas no modelo DEA. Consequente, são caracterizados cada um dos grupos de municípios identificados, incluindo-se a camada de iso-eficiência à qual pertencem e a eficiência média das unidades da camada (em relação à fronteira de eficiência). Assim, a proposta é atender aos objetivos específicos planejados nessa pesquisa, no que concerne ao cálculo do grau da eficiência de cada unidade decisória; verificação daqueles que atingiram a fronteira da eficiência; e identificação das metas para alcance da fronteira para as unidades ineficientes.

	Unidade Decisória	Relativo a amostra
Eficientes	Abaeté, Betim, Biquinhas, Caetanópolis, Igarapé, Juatuba, Maravilhas, Mateus Leme, Pará de Minas, Paraopeba, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e São José da Varginha	53,84%
Média Eficiência	Curvelo	3,85%
Baixa Eficiência	Brumadinho, Fortuna de Minas, Felixlândia, Paineiras, Pequi, Papagaios, Esmeraldas, Três Marias, Mário Campos, Morada Novas de Minas e Florestal	42,31%
		100,00%

Tabela 7 – Grau de Eficiência 2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

Municípios eficientes: 1ª camada (53,84% da amostra); eficiência média 100,0% - Abaeté, Betim, Biquinhas, Caetanópolis, Igarapé, Juatuba, Maravilhas, Mateus Leme, Pará de Minas, Paraopeba, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e São José da Varginha.

Municípios de média eficiência: 3ª camada (3,85% da amostra); eficiência média 52,7% - Curvelo.

Municípios de baixa eficiência: 4ª camada (42,31% da amostra); eficiência média 8,9% - Brumadinho, Fortuna de Minas, Felixlândia, Paineiras, Pequi, Papagaios, Esmeraldas, Três Marias, Mário Campos, Morada Novas de Minas e Florestal.

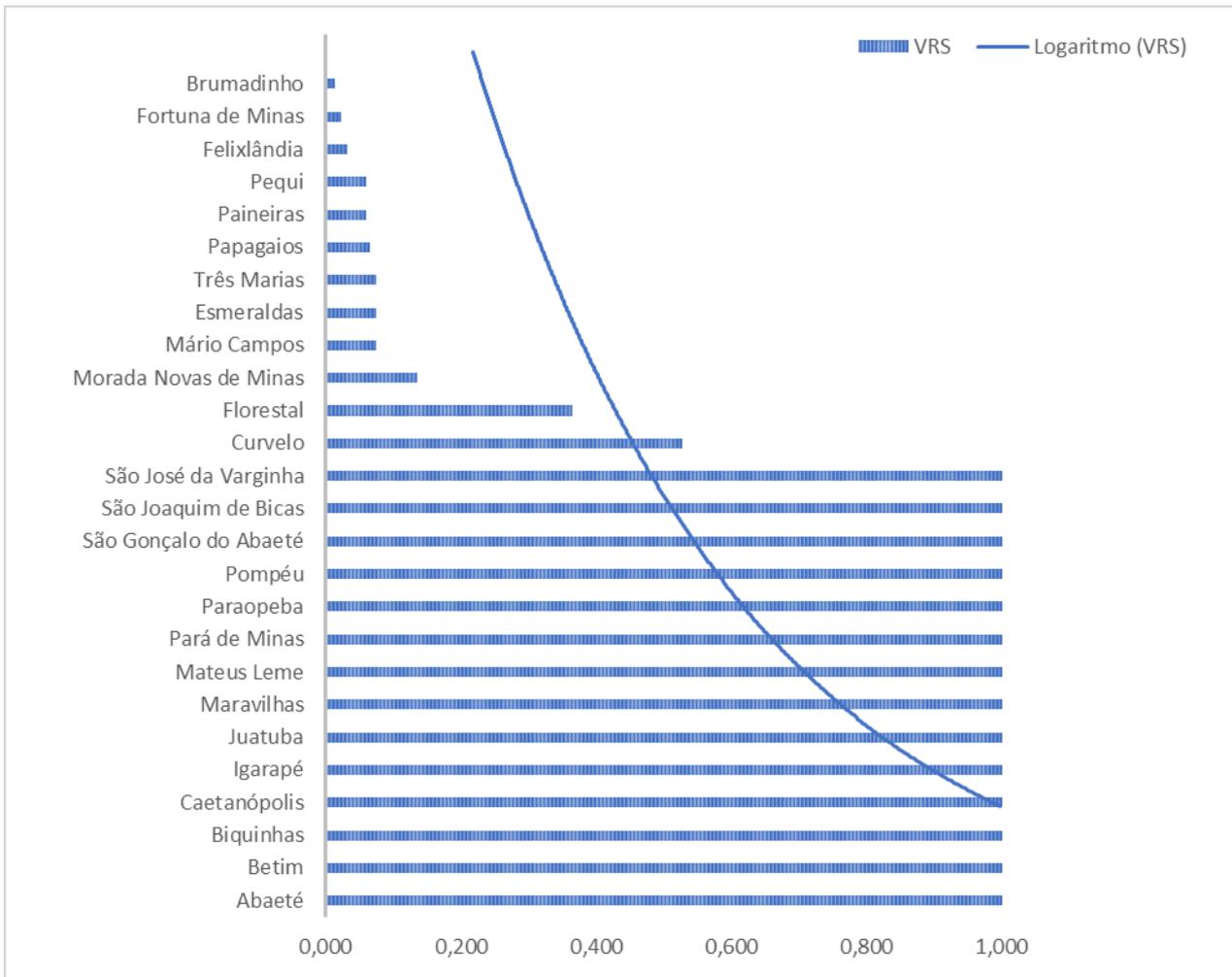


Figura 2– Escores Índice de Eficiência 2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise foi orientada aos produtos, qual seja, a quantidade de produto é variável (indicadores atribuídos aos outputs) e o objetivo é a minimização do custo dos insumos (investimentos nas funções orçamentárias).

Os dados dos resultados da modelagem para o exercício de 2017 trazem os alvos para cada firma, ou seja, qual a quantidade de produtos e insumos que elas deveriam ter como metas. Como o modelo foi orientado aos produtos, os alvos de insumos são iguais ao que já é praticado. Além dessas informações, o arquivo gerado pelo *software* disponibiliza resultados para cada firma individualmente.

Na sequência se apresentam os pares (*peers*) usados para a projeção das firmas ineficientes.

De acordo com a projeção dos dados, as unidades decisórias de Abaeté, Betim, Biquinhas, Caetanópolis, Igarapé, Juatuba, Maravilhas, Mateus Leme, Pará de Minas, Paraopeba, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e São José da Varginha, que se situam sobre a fronteira da eficiência, aparecem como pares de si própria.

Abaeté, Betim, Curvelo e São Joaquim de Bicas são projetados como *benchmarking* da unidade decisória de Brumadinho que apresenta baixa eficiência. Nessa esteira, os pares para Fortuna de Minas foram: Abaeté, Biquinhas e Pará de Minas; para Pequi foram: São Joaquim de Bicas, Curvelo e Abaeté; para Paraopeba foram: Biquinhas, Pará de Minas e Abaeté;

Por fim, como última segmentação dos produtos gerados pela modelagem apresentaram os pesos de cada par usado no cálculo da projeção e o número de vezes que cada firma foi usada como par para as outras. No final do arquivo, registra-se os resumos das informações por firma. Valor original (*original value*) é o dado real do município, ou seja, as quantidades de insumos e produtos observados na prática. O movimento radial (*radial movement*) é a diferença entre o que a firma pratica e as quantidades de sua projeção sobre a fronteira. O movimento de folga (*slack movement*) representa a redução do excesso apresentado quando a projeção recai sobre um dos trechos da fronteira que são paralelos ao eixo. E o valor projetado (*projected value*) são as quantidades do alvo (*target*), ou seja, quanto a firma deveria estar utilizando de insumos e produtos para ser eficiente. O arquivo de resultado informa, ainda, quais são os pares da firma e o peso de cada um usado para o cálculo da projeção.

4.3 – Análise eficiência dos municípios atingidos em 2018

Tabela 8 – Dados Modelagem DEA 2018

	Municípios	IEGM-A 2018	IEGM-P 2018	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
1	Abaeté	0,565	0,516	10,666	-	0,762
2	Betim	0,847	0,725	100,431	-	92,801
3	Biquinhas	0,341	0,507	40,566	-	-

4	Brumadinho	0,518	0,567	264,279	30,178	70,173
5	Caetanópolis	0,224	0,594	206,793	33,833	2,054
6	Curvelo	0,494	0,767	117,877	5,452	8,852
7	Esmeraldas	0,176	0,432	52,319	1,207	-
8	Felixlândia	0,471	0,709	112,609	3,950	42,423
9	Florestal	0,859	0,753	238,795	12,122	7,189
10	Fortuna de Minas	0,165	0,540	441,871	88,634	12,792
11	Igarapé	0,765	0,515	26,948	1,890	78,585
12	Juatuba	0,294	0,595	441,484	-	25,052
13	Maravilhas	0,224	0,639	144,977	33,148	7,017
14	Mário Campos	0,247	0,513	31,284	0,065	125,668
15	Mateus Leme	0,412	0,537	94,986	-	9,383
16	Morada Novas de Minas	0,235	0,500	25,104	7,079	3,200
17	Paineiras	0,129	0,500	342,010	-	0,748
18	Papagaios	0,541	0,502	116,921	116,510	3,380
19	Pará de Minas	0,447	0,653	80,347	3,249	2,209
20	Paraopeba	0,165	0,528	196,438	3,475	3,696
21	Pequi	0,459	0,533	151,365	122,362	88,701
22	Pompéu	0,729	0,526	201,593	8,269	4,724
23	São Gonçalo do Abaeté	0,729	0,577	155,377	5,530	11,200
24	São Joaquim de Bicas	0,459	0,500	-	-	15,388
25	São José da Varginha	0,506	0,703	277,986	156,324	16,067
26	Três Marias	0,400	0,500	-	63,556	34,531

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela de dados da modelagem no exercício de 2018 traz a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus produtos correspondentes (IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento) e de seus insumos, entendidos como a razão do montante orçamentário liquidado (unidade de real) para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2018.

A título exemplificativo, a unidade decisória de São José da Varginha, item 25, alcançou um índice de eficiência na gestão municipal no âmbito planejamento de 0,703. Para tal, no mesmo

exercício, a gestão municipal alocou recursos na função de gestão ambiental na monta de R\$ 16,06 por habitante.

No período de 2018, 65,38% (dezessete municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C” de avaliação da política de gestão pública apurado pelo TCE-MG, demonstrando baixo nível de adequação aos quesitos de gestão ambiental. Nessa esteira, em relação ao indicador de gestão de planejamento, 69,23% (dezoito municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C+”, demonstrando estar situados em fase de nível de adequação aos quesitos relacionados ao que foi planejado e realizado em matéria de programas e ações. Importante observar que apenas 3 unidades decisórias (Betim, Igarapé e Florestal), 11,53% da amostra, obtiveram conceito “B+” conferindo aos quesitos de gestão ambiental como muito efetiva.

Constatou-se uma redução de unidades decisórias, numa análise comparativa dos exercícios 2017 e 2018, que se encontravam na situação de baixo nível de adequação aos quesitos de gestão ambiental. Essa evolução retrata um cenário de efetividade de projetos para os municípios da amostra, com efeito, revela que esses entes governamentais possam ter colocado em prática suas políticas públicas nas ações que concerne o aspecto ambiental. Corrobora com essa linha de entendimento estudos de Santos (2016) que conceituou a eficiência da aplicação dos recursos e, por meio de resultados obtidos, relacionou que a melhor forma de emprego de verbas públicas é aquela que busca a melhor relação custo-benefício para a sociedade. Observou-se, por conseguinte, que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG, em anos anteriores da ocorrência do acidente, apresentavam sinais de melhora na efetividade da gestão dos recursos de gestão ambiental.

As unidades decisórias que mais alocaram recursos na função 15 - Urbanismo foram Brumadinho, Florestal, Fortuna de Minas, Juatuba, Paineiras e São José da Varginha, representando 23,07% da amostra e 51,80% do valor total investido por habitante dos municípios. Os três municípios que menos investiram, Três Marias e São Joaquim de Bicas – sem alocação de recursos – e Abaeté representaram 2,75% do total dos investimentos por habitante da amostra das unidades decisórias.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 17 – Saneamento, foram Papagaios, Pequi e São José da Varginha, representando 11,53% da amostra e 56,71% do valor total por habitante de investimentos dos municípios da amostra. Abaeté, Betim, Biquinhas, Juatuba, Mateus Leme, Paineiras e São Joaquim de Bicas não alocaram recursos na função de saneamento representaram 26,92% das firmas.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 18 - Gestão Ambiental foram Betim, Igarapé, Mário Campos e Pequi representando 19,23% da amostra e 68,39% do valor total por habitante de investimentos. Biquinhas e Esmeraldas - Não alocaram recursos na função de gestão ambiental - Paineiras, Abaeté, Caetanópolis, Pará de Minas, Morada Novas de Minas, Papagaios,

Paraopeba, Pompéu, Maravilhas, Florestal, Curvelo, Biquinhas, Esmeralda e Mateus Leme representaram 53,84% da amostra e 7,98% do total dos investimentos por habitante da amostra das unidades decisórias.

Numa análise comparativa dos exercícios 2017 e 2018, anos anteriores ao desastre de Brumadinho-MG, das unidades decisórias da amostra, constatou-se que houve decréscimo no montante de recursos aplicados nas funções orçamentárias de saneamento e gestão ambiental ao passo que, nesse mesmo período, ocorreu uma redução da classe de municípios que se encontravam com baixo nível de adequação ao índice de efetividade da gestão ambiental. Implica afirmar, portanto, que essas unidades decisórias aplicaram melhor o recurso público mesmo com redução do montante das funções orçamentárias em questão.

Alinha-se a esse contexto os estudos de Matei e Savulescu (2009) para quem a qualidade dos efeitos produzidos pela aplicação eficiente dos recursos está associada a quantidade consumida por pela mesma, estabelecendo uma relação custo-benefício. Os autores ainda indicam ser eficiente aquelas entidades governamentais quando conseguem oferecer o máximo de bens e serviços públicos através de uma quantidade limitada de recursos. Essa eficiência pode ser constatada e colocada em linha com os estudos de Balaguer-Coll et al. (2013). Os autores direcionaram uma análise em que a eficiência dos municípios é conceituada como atribuição de ofertar a melhor prestação de serviço público levando em consideração a escassez dos recursos para o alcance desse objetivo.

Tabela 9 – Estatística Descritiva 2018

	IEGM-A 2018	IEGM-P 2018	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
Média	0,439	0,574	148,963	26,801	25,638
Erro padrão	0,043	0,018	24,715	8,747	6,908
Moda	0,165	0,500	-	-	-
Mediana	0,453	0,535	117,399	4,701	9,117
Variância	0,047	0,008	15.881,637	1.989,073	1.240,831
Desvio padrão	0,217	0,091	126,022	44,599	35,225
Coefficiente de Variação	0,495	0,159	0,846	1,664	1,374
Mínimo	0,129	0,432	-	-	-
Máximo	0,859	0,767	441,871	156,324	125,668

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados da estatística descritiva no exercício de 2018 apresenta, com base nos dados da modelagem, as mensurações descritivas: média, erro padrão, moda, mediana, variância, desvio

padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo. Para o cálculo de cada medida considerou os índices IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento e a razão do montante orçamentário liquidado para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2018.

A título exemplificativo, a mediana apurada para o indicador IEGM-Planejamento de toda amostra disposta na base de dados da modelagem foi de 0,535 revelando que esse número separa a metade maior e a metade menor da distribuição em referência.

Apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis de análise da modelagem dos dados para o período de 2018 os resultados mostraram que, quanto a média apurada no indicador de eficiência ambiental, entendida como a combinação dos números elencados na tabela de maneira específica e da geração de um valor significativo para eles, um retorno de 0,439, que revela, de acordo com o Manual IEGM, TCE/MG (2020) um conceito de nota “C” para a delimitação da amostra, demonstrando que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG já apresentavam, antes do evento, baixo nível de adequação dos quesitos de gestão ambiental. A razão de 46% dos municípios da amostra se manteve abaixo do valor médio para o indicador de eficiência ambiental e 65% deles apresentaram conceito “C”, denotando reduzido escore de aderência às questões elaboradas.

Quanto a média apurada acerca do índice de gestão municipal com foco em planejamento, o número correspondente foi de 0,574, denotando conceito “C+” em fase de adequação. A razão de 61% dos municípios da amostra se manteve abaixo do valor médio para o indicador de eficiência de planejamento e 73% deles apresentaram conceito “C+”, denotando em fase de adequação dos quesitos.

Há diferença entre o escore mínimo (0,129) e o máximo (0,859) do indicador de eficiência de gestão ambiental para o exercício de 2018, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (0,217), evidenciando que existe distorções de cumprimento dos quesitos do relatório IEGM entre as cidades.

O coeficiente de variação para o índice de efetividade da gestão ambiental foi de 0,495. Para o exercício de 2018, os indicadores de IEGM-ambiental variaram 49,5% em torno da média (0,439). O coeficiente de variação calculado para o IEGM-Planejamento foi de 0,159, indicando, portanto, que esse índice variou 15,9% em relação à média (0,574).

Quanto a estatística descritiva dos inputs das unidades decisórias tem-se como mediana, para o ano de 2018, a apuração de R\$117,39 investidos na rubrica de 15 - Urbanismo, por habitante. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 38,46% (dez municípios) executaram investimentos até R\$100,00 por habitante no exercício de 2018. 30,76% (oito

municípios) executaram investimentos de R\$100,01 até R\$ 200,00 por habitante e, por fim, 30,76% (oito municípios) executaram investimentos a partir de R\$200,01 por habitante.

Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso – Três Marias) e o máximo (R\$441,871 por habitante – Fortuna de Minas) do indicador de investimentos na função 15-Urbanismo para o exercício de 2018, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (126,02), evidenciando que há distorções nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para o a rubrica 15 - Urbanismo foi de 0,846, indicando, portanto, que esse índice variou 84,6% em relação à média (148,96).

Acerca dos investidos na rubrica de 17 - Saneamento, tem-se como mediana, para o ano de 2018, a apuração de R\$ 4,70, por habitante. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (treze municípios) executaram investimentos até R\$4,70 por habitante no exercício de 2018. 15,38% (quatro municípios) executaram investimentos de R\$4,70 até R\$ 10,00 por habitante e, por fim, 34,61% (nove municípios) executaram investimentos a partir de R\$10,00 por habitante.

Há constatação pertinente entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Abaeté) e o máximo (R\$156,32 por habitante – São José da Varginha) do indicador de investimentos na função 17-Saneamento para o exercício de 2018, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (44,59), evidenciando que há diferença nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 17 - Saneamento foi de 1,664, indicando, portanto, que esse índice variou 166,4% em relação à média (26,801).

Por fim, acerca dos investimentos na rubrica de 18 – Gestão Ambiental, por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2018, a apuração de R\$ 9,11. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (treze municípios) executaram investimentos até R\$9,11 por habitante no exercício de 2018. 26,92% (sete municípios) executaram investimentos de R\$9,11 até R\$ 40,00 por habitante e, finalmente, 23,07% (seis municípios) executaram investimentos a partir de R\$40,01 por habitante.

Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Biquinhas) e o máximo (R\$125,66 por habitante – Mário Campos) do indicador de investimentos na função 18-Gestão Ambiental para o exercício de 2018, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (35,22), evidenciando que há diferença nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 18 – Gestão Ambiental foi de 1,374, indicando, portanto, que esse índice variou 137,4% em relação a média (25,638).

4.4 – Resultados modelagem DEA 2018

1	Municípios	Eficiência Técnica – Orientação Output				Folgas					Alvos				
		CRS	VRS	Escala		IEGM- A 2018	IEGM- P 2018	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)	IEGM- A 2018	IEGM- P 2018	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
2	Abaeté	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,565	0,516	10,666	0,001	0,762
3	Betim	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,847	0,725	100,431	0,001	92,801
	Biquinhas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,341	0,507	40,566	0,001	0,001
4	Brumadinho	0,039	0,118	0,332	drs	0,000	0,000	0,000	2,389	0,000	0,518	0,567	31,199	1,174	8,284
5	Caetanópolis	0,164	0,641	0,256	drs	0,180	0,000	68,294	19,752	0,000	0,404	0,594	64,271	1,936	1,317
6	Curvelo	0,134	1,000	0,134	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,494	0,767	117,877	5,452	8,852
7	Esmeraldas	0,852	1,000	0,852	irs	0,165	0,075	11,753	1,206	0,000	0,341	0,507	40,566	0,001	0,001
8	Felixlândia	0,108	0,822	0,131	drs	0,095	0,000	0,000	0,000	6,119	0,566	0,709	92,515	3,245	28,734
9	Florestal	0,132	1,000	0,132	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,859	0,753	238,795	12,122	7,189
10	Fortuna de Minas	0,045	0,068	0,662	drs	0,330	0,000	0,000	5,441	0,000	0,495	0,540	30,193	0,615	0,874
11	Igarapé	0,206	1,000	0,206	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,765	0,515	26,948	1,890	78,585
12	Juatuba	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,294	0,595	441,484	0,001	25,052
13	Maravilhas	0,120	0,473	0,253	drs	0,269	0,000	0,000	12,862	0,000	0,493	0,639	68,508	2,802	3,316
14	Mário Campos	0,093	0,185	0,501	drs	0,234	0,000	0,000	0,000	3,641	0,481	0,513	5,801	0,012	19,661
15	Mateus Leme	0,994	1,000	0,994	irs	0,120	0,000	10,901	0,000	1,077	0,532	0,537	84,085	0,001	8,306
16	Morada Novas de Minas	0,397	0,409	0,970	irs	0,326	0,015	0,000	2,894	0,000	0,561	0,515	10,267	0,001	1,309

17	Paineiras	0,969	1,000	0,969	irs	0,236	0,008	4,618	0,000	0,666	0,365	0,508	37,392	0,001	0,082
18	Papagaios	0,175	0,201	0,870	drs	0,000	0,013	9,669	23,455	0,000	0,541	0,515	13,870	0,001	0,680
19	Pará de Minas	0,309	1,000	0,309	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,447	0,653	80,347	3,249	2,209
20	Paraopeba	0,123	0,162	0,757	drs	0,289	0,000	0,000	0,184	0,000	0,454	0,528	31,803	0,379	0,598
21	Pequi	0,054	0,105	0,515	drs	0,043	0,000	0,000	12,300	0,000	0,502	0,533	15,901	0,554	9,318
22	Pompéu	0,157	0,920	0,171	drs	0,000	0,122	47,589	0,847	0,000	0,729	0,648	137,922	6,762	4,347
23	São Gonçalo do Abaeté	0,089	1,000	0,089	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,729	0,577	155,377	5,530	11,200
24	São Joaquim de Bicas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,459	0,500	0,001	0,001	15,388
25	São José da Varginha	0,061	0,361	0,168	drs	0,000	0,000	0,000	52,003	0,000	0,506	0,703	100,482	4,503	5,808
26	Três Marias	1,000	1,000	1,000	-	0,059	0,000	0,000	63,555	19,143	0,459	0,500	0,001	0,001	15,388
	Média	0,432	0,710	0,587		0,090	0,009	5,878	7,573	1,179	0,529	0,583	76,049	1,932	13,464

Tabela 10 – Resultado Modelagem DEA 2018

Fonte: Elaborado pelo autor.

	Municípios	Relativo a amostra
Eficientes	Abaeté, Betim, Biquinhas, Curvelo, Esmeraldas, Florestal, Igarapé, Juatuba, Mateus Leme, Paineiras, Pará de Minas, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e Três Marias	53,84%
Alta Eficiência	Felixlândia e Pompéu	7,69%
Média Eficiência	Caetanópolis, Maravilhas e Morada Nova de Minas	11,54%
Baixa Eficiência	Fortuna de Minas, Pequi, Brumadinho, Paraopeba, Mário Campos, Papagaios e São José da Varginha	26,93%
		100,00%

Tabela 11 – Grau de Eficiência 2018

Fonte: Elaborado pelo autor.

Municípios eficientes: 1ª camada (53,84% da amostra); eficiência média 100,0% - Abaeté, Betim, Biquinhas, Curvelo, Esmeraldas, Florestal, Igarapé, Juatuba, Mateus Leme, Paineiras, Pará de Minas, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e Três Marias.

Municípios de alta eficiência: 2ª camada (7,69% da amostra); eficiência média 87,10% - Felixlândia e Pompéu.

Municípios de média eficiência: 3ª camada (11,54% da amostra); eficiência média 50,8% - Caetanópolis, Maravilhas e Morada Nova de Minas.

Municípios de baixa eficiência: 4ª camada (26,93% da amostra); eficiência média 17,10% - Fortuna de Minas, Pequi, Brumadinho, Paraopeba, Mário Campos, Papagaios e São José da Varginha.

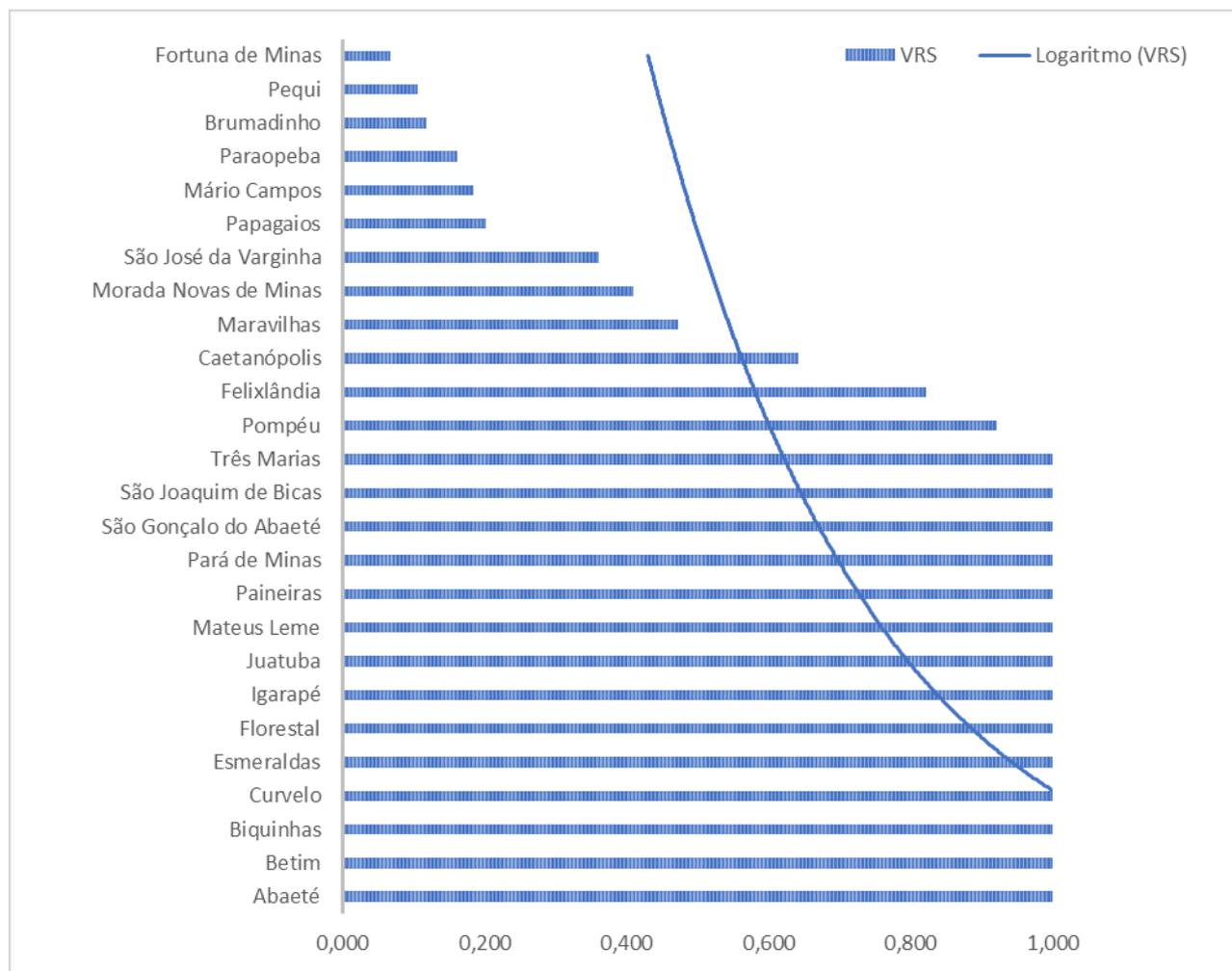


Figura 03 – Escores Índice de Eficiência 2018

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a projeção dos dados do resultado da modelagem estatística para os exercícios de 2018 as unidades decisórias de Abaeté, Betim, Biquinhas, Curvelo, Esmeraldas, Florestal, Igarapé, Juatuba, Mateus Leme, Paineiras, Pará de Minas, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e Três Marias, que se situam sobre a fronteira da eficiência, aparecem como pares de si própria.

Abaeté, Betim, Curvelo e São Joaquim de Bicas são projetados como benchmarking da unidade decisória de Brumadinho que apresenta baixa eficiência. Nessa esteira, os pares para Fortuna de Minas foram: Abaeté, Biquinhas e Pará de Minas; para Pequi foram: São Joaquim de Bicas, Curvelo e Abaeté; para Paraopeba foram: Biquinhas, Pará de Minas e Abaeté; para Mário Campos foram: Betim, São Joaquim de Bicas e Curvelo; para Papagaios foram: Abaeté e Biquinhas e, por fim, para São José da varginha foram: Abaeté, Florestal, Curvelo e Pará de Minas.

Numa interpretação evolutiva do grau de eficiência calculado para os anos de 2017 e 2018 observou-se que ocorreu uma manutenção relativa (54,84%) daquelas unidades decisórias que se

encontravam na fronteira da curva da análise envoltória, ou seja, considerados eficientes quanto aplicação dos recursos públicos diante do indicador de efetividade da gestão em consideração.

Não obstante, observou-se um decréscimo de municípios que apresentavam baixa eficiência (42% para 27%), estes migrando para graus de média e alta eficiência no ano de 2018, refletindo uma situação positiva para a gestão dos recursos aplicados. Outrossim verifica-se, portanto, que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG, em anos anteriores da ocorrência do acidente, apresentavam indicação de evolução na efetividade da administração dos recursos de gestão ambiental, ao encontro com a pesquisa de Matei e Savulescu (2009) e Balaguer-Coll et al. (2013).

4.5 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2019

Tabela 12 – Dados Modelagem DEA 2019

	Municípios	IEGM-A 2019	IEGM-P 2019	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
1	Abaeté	0,267	0,450	99,478	3,547	0,725
2	Betim	0,826	0,604	142,154	0,603	105,411
3	Biquinhas	0,160	0,546	37,506	0,001	0,001
4	Brumadinho	0,385	0,663	367,636	36,090	81,574
5	Caetanópolis	0,208	0,450	172,123	29,259	2,054
6	Curvelo	0,571	0,631	157,109	6,638	0,320
7	Esmeraldas	0,220	0,296	58,613	2,315	0,206
8	Felixlândia	0,500	0,564	129,977	2,041	26,388
9	Florestal	0,670	0,549	263,276	23,322	12,432
10	Fortuna de Minas	0,208	0,609	392,916	187,926	19,642
11	Igarapé	0,674	0,516	36,173	3,942	78,897
12	Juatuba	0,380	0,584	269,225	0,001	23,883
13	Maravilhas	0,436	0,603	221,427	73,552	7,954
14	Mário Campos	0,402	0,355	39,739	7,825	134,733
15	Mateus Leme	0,412	0,532	133,258	6,777	8,661
16	Morada Novas de Minas	0,140	0,527	50,589	5,329	3,539
17	Paineiras	0,180	0,482	334,323	0,001	0,724
18	Papagaios	0,569	0,365	161,360	118,994	1,113
19	Pará de Minas	0,610	0,608	84,233	3,652	2,313
20	Paraopeba	0,001	0,001	244,383	3,096	7,244

21	Pequi	0,056	0,379	158,631	182,201	88,518
22	Pompéu	0,467	0,660	307,151	12,158	9,105
23	São Gonçalo do Abaeté	0,001	0,001	215,931	5,889	11,370
24	São Joaquim de Bicas	0,250	0,592	0,001	0,001	139,597
25	São José da Varginha	0,497	0,429	218,646	131,332	16,787
26	Três Marias	0,444	0,573	47,020	66,144	40,784

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados da modelagem no exercício de 2019 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus produtos correspondentes (IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento) e de seus insumos, entendidos como a razão do montante orçamentário liquidado (unidade de real) para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2019.

A título exemplificativo, a unidade decisória de Curvelo, item 6, alcançou um índice de eficiência na gestão municipal no âmbito ambiental de 0,571. Para tal, no mesmo exercício, a gestão municipal alocou recursos na função de saneamento básico na monta de R\$ 0,32 por habitante.

No período de 2019, ano da ocorrência do desastre ambiental do rompimento da barragem de Brumadinho/MG, 73,07% (dezenove municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C” de avaliação da política de gestão pública - elevação de 7,70% em relação ao exercício de 2018, demonstrando, além do baixo nível de adequação aos quesitos de gestão ambiental, um incremento relativo do grupo de municípios que necessita evoluir no que tange as avaliações das políticas de gestão ambiental,

Ademais, compactua-se com os resultados da pesquisa de Unterberger (2018), para quem é concebível que as despesas aumentem em resposta direta aos danos causados pelos desastres às infraestruturas públicas e, adicionalmente a isso, os resultados podem indicar que os danos causados pelos desastres à infraestrutura pública têm um efeito adverso nos orçamentos dos municípios. A deterioração desse saldo implica que menos fundos estejam disponíveis para a gestão de políticas públicas.

Em relação ao indicador de gestão de planejamento, 34,61% (nove municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C+”, demonstrando estar situados em fase de nível de adequação aos quesitos relacionados ao que foi planejado e realizado em matéria de programas e ações. Importante observar que apenas Betim obteve conceito “B+” conferindo aos quesitos de gestão ambiental como muito efetiva.

As unidades decisórias que mais alocaram recursos na função 15 - Urbanismo, foram Brumadinho, Florestal, Fortuna de Minas, Juatuba, Paineiras e Pompéu, representando 23,07% da amostra e 44,54% do valor total investido por habitante dos municípios. Em relação ao ano de 2018, houve um acréscimo no volume de recursos aplicados dessa função na ordem de 12,13% indicando que os municípios alocaram seus esforços financeiros em rubrica alinhadas ao espectro de gestão ambiental, tal como a função 15 – Urbanismo, sugerindo que, diante evento do desastre ambiental ocorrido no exercício corrente, houve sinalização reparatória significativa nas rubricas orçamentárias. Os três municípios que menos investiram, São Joaquim de Bicas – sem alocação de recursos – Igarapé e Biquinhas representaram 1,69% do total dos investimentos por habitante da amostra das unidades decisórias.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 17 – Saneamento, foram Fortuna de Minas, Pequi e São José da Varginha, representando 11,53% da amostra e 54,94% do valor total por habitante de investimentos dos municípios da amostra. Em relação ao ano de 2018, houve um acréscimo no volume de recursos aplicados dessa função na ordem de 30,97% indicando que os municípios aportaram volume financeiro nessa rubrica, frente ao ocorrido ambiental impactado pelo rompimento da barragem. Biquinhas, Juatuba, Paineiras e São Joaquim de Bicas não alocaram recursos na função de saneamento representaram 15,38% das firmas.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 18 - Gestão Ambiental, foram Betim, São Joaquim de Bicas, Mário Campos e Pequi representando 15,38% da amostra e 56,82% do valor total por habitante de investimentos. Em relação ao ano de 2018, houve um acréscimo no volume de recursos aplicados dessa função na ordem de 23,61% indicando que os municípios aportaram volume financeiro alocado nessa rubrica.

Esse cenário, de incremento nas rubricas orçamentárias de um exercício para outro, frente ao desastre ambiental, vai ao encontro do estudo de Leppänen et al.(2015) que encontraram uma reação positiva dos gastos governamentais e uma piora dos orçamentos nacionais em resposta a desastres naturais. Nesse sentido, os dados dessa pesquisa convergem para os resultados dos estudos de Alfieri et al. (2016), Barthel e Neumayer, (2012) e Unterberger (2018) para quem os custos absorvidos pelos entes públicos, em decorrência de desastres ambientais, têm aumentado gradualmente e há expectativas de que aumente ainda mais com o passar do tempo.

Outrossim, os autores Miao, Hou e Abrigo (2018) inferiram que, após um desastre, os estados aumentam as despesas do programa e recebem mais transferências federais. Sugeriram então que os gastos adicionais induzidos por desastres são amplamente financiados por transferências federais, que incluem não apenas fundos de socorro a desastres, mas também assistência social não relacionada a desastres.

Não foram estudadas as razões de ordem qualitativa que desencadearam nessas decisões alocativas, ou seja, as razões justificadas do gestor público para escolher uma função orçamentária em detrimento de outra, diferente da pesquisa de Oliveira et al. (2020) que mostraram que os municípios com elevada participação de suas receitas próprias na receita total sofreram menos perdas humanas e econômicas diante de eventos ambientais e que o impacto negativo dos danos à infraestrutura pública não se manifesta além de um ano após o evento.

Tabela 13 – Estatística Descritiva 2019

	IEGM-A 2019	IEGM-P 2019	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
Média	0,367	0,483	167,034	35,101	31,691
Erro padrão	0,043	0,034	21,665	11,149	8,551
Moda	0,001	0,001	-	0,001	-
Mediana	0,394	0,539	157,870	6,264	10,238
Variância	0,047	0,030	12203,529	3231,861	1901,329
Desvio padrão	0,218	0,172	110,470	56,849	43,604
Coefficiente de Variação	0,594	0,356	0,661	1,620	1,376
Mínimo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Máximo	0,826	0,663	392,916	187,926	139,597

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados da estatística descritiva no exercício de 2019 apresenta, com base nos dados da modelagem, as mensurações descritivas: média, erro padrão, moda, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo. Para o cálculo de cada medida considerou os índices IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento e a razão do montante orçamentário liquidado para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2019.

A título exemplificativo, a mediana apurada para o indicador IEGM-A de toda amostra disposta na base de dados da modelagem foi de 0,394 revelando que esse número separa a metade maior e a metade menor da distribuição em referência.

Apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis de análise da modelagem dos dados para o período de 2019 os resultados mostraram que, quanto a média apurada no indicador de eficiência ambiental, um retorno de 0,367, que revela, de acordo com o Manual IEGM, TCE/MG (2020) um conceito de nota “C” para a delimitação da amostra, demonstrando que os municípios mais atingidos

pelo desastre de Brumadinho/MG já apresentavam, durante o exercício do evento do desastre, baixo nível de adequação dos quesitos de gestão ambiental. A razão de 42,30% dos municípios da amostra se manteve abaixo do valor médio para o indicador de eficiência ambiental e 73,07% deles apresentaram conceito “C”, denotando reduzido escore de aderência às questões elaboradas.

Quanto a média apurada acerca do índice de gestão municipal com foco em planejamento, o número correspondente foi de 0,483, denotando também conceito “C”. A razão de 38,46% dos municípios da amostra se manteve abaixo do valor médio para o indicador de eficiência de planejamento e 34,61% deles apresentaram conceito “C+”, denotando em fase de adequação dos quesitos.

Há diferença entre o escore mínimo (0,001) e o máximo (0,826) do indicador de eficiência de gestão ambiental para o exercício de 2019, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (0,218), evidenciando que existe distorção de cumprimento dos quesitos do relatório IEGM entre as cidades.

O coeficiente de variação ou desvio padrão relativo apurado para o índice de efetividade da gestão ambiental foi de 0,594. Esse indicador demonstra a extensão da variabilidade em razão da média dessa amostra, ou seja, quanto os dados da amostra variam em torno de sua média. Para o exercício de 2019, os indicadores de IEGM-ambiental variaram 59,40% em torno da média (0,367). O coeficiente de variação calculado para o IEGM-Planejamento foi de 0,356, indicando, portanto, que esse índice variou 35,60% em relação à média (0,483).

Quanto as estatísticas descritivas dos inputs das unidades decisórias, tem-se como mediana, para o ano de 2019, a apuração de R\$157,87 investidos na rubrica de 15 - Urbanismo, por habitante. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 34,61% (nove municípios) executaram investimentos até R\$100,00 por habitante no exercício de 2019. 26,92% (sete municípios) executaram investimentos de R\$100,01 até R\$ 200,00 por habitante e, por fim, 38,46% (dez municípios) executaram investimentos a partir de R\$200,01 por habitante.

Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso – São Joaquim de Bicas) e o máximo (R\$392,91 por habitante – Fortuna de Minas) do indicador de investimentos na função 15-Urbanismo para o exercício de 2019, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (110,47), evidenciando que há diferença relevante nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para o a rubrica 15 - Urbanismo foi de 0,661, indicando, portanto, que esse índice variou 66,10% em relação a média (167,034).

Acerca dos investidos na rubrica de 17 - Saneamento, por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2019, a apuração de R\$ 6,26. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (treze municípios) executaram investimentos até R\$6,26 por

habitante no exercício de 2019. 11,53% (três municípios) executaram investimentos de R\$6,26 até R\$ 10,00 por habitante e, por fim, 38,46% (dez municípios) executaram investimentos a partir de R\$10,01 por habitante. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 17 - Saneamento foi de 1,620, indicando, portanto, que esse índice variou 162% em relação a média (35,101).

Existe, portanto, diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Juatuba) e o máximo (R\$187,92 por habitante – Fortuna de Minas) do indicador de investimentos na função 17-Saneamento para o exercício de 2019, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (56,84), evidenciando que há diferença relevante nas aplicações dos recursos pelos municípios.

Por fim, acerca dos investidos na rubrica de 18 – Gestão Ambiental, por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2019, a apuração de R\$10,23. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (treze municípios) executaram investimentos até R\$10,23 por habitante no exercício de 2019. 23,07% (seis municípios) executaram investimentos de R\$10,23 até R\$ 40,00 por habitante e, finalmente, 26,92% (sete municípios) executaram investimentos a partir de R\$40,01 por habitante.

Há diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Biquinhas) e o máximo (R\$139,59 por habitante – São Joaquim de Bicas) do indicador de investimentos na função 18-Gestão Ambiental para o exercício de 2019, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (43,60), evidenciando que não há equilíbrio nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 18 – Gestão Ambiental foi de 1,376, indicando, portanto, que esse índice variou 137,60% em relação a média (31,691).

4.6 – Resultados modelagem DEA 2019

Tabela 14 - Resultado Modelagem DEA 2019

		Eficiência Técnica – Orientação Input				Folgas					Alvos				
		CRS	VRS	Escala		IEGM-A 2019	IEGM-P 2019	INV_U R	INV_S N	INV_G A	IEGM- A 2019	IEGM- P 2019	INV_UR	INV_SN	INV_GA
1	Abaeté	0,531	0,553	0,960	drs	0,000	0,113	0,000	0,818	0,000	0,267	0,563	55,037	1,145	0,401
2	Betim	0,969	1,000	0,969	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,826	0,604	142,154	0,603	105,411
3	Biquinhas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	0,546	37,506	0,001	0,001
4	Brumadinho	0,154	1,000	0,154	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,385	0,663	367,636	36,090	81,574
5	Caetanópolis	0,223	0,246	0,907	irs	0,000	0,102	0,000	6,802	0,000	0,208	0,552	42,306	0,390	0,505
6	Curvelo	0,811	1,000	0,811	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,571	0,631	157,109	6,638	0,320
7	Esmeraldas	0,808	0,845	0,956	drs	0,000	0,260	0,000	1,220	0,000	0,220	0,556	49,537	0,737	0,174
8	Felixlândia	0,644	0,835	0,772	drs	0,000	0,015	0,000	-0,055	-0,714	0,500	0,579	108,476	1,759	22,737
9	Florestal	0,346	1,000	0,346	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,670	0,549	263,276	23,322	12,432
10	Fortuna de Minas	0,110	0,221	0,500	drs	0,394	0,000	0,000	37,796	0,000	0,602	0,609	86,879	3,757	4,343
11	Igarapé	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,674	0,516	36,173	3,942	78,897
12	Juatuba	1,000	0,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,380	0,584	0,000	0,000	0,000
13	Maravilhas	0,299	0,362	0,828	drs	0,136	0,000	0,000	23,255	0,000	0,572	0,603	80,072	3,343	2,876
14	Mário Campos	0,486	0,601	0,809	irs	0,000	0,195	0,000	3,088	0,000	0,402	0,550	23,887	1,616	80,988
15	Mateus Leme	0,451	0,463	0,973	irs	0,000	0,045	0,000	1,102	0,000	0,412	0,577	61,725	2,037	4,012
16	Morada Novas de Minas	0,701	0,728	0,964	irs	0,022	0,020	0,000	3,877	0,000	0,162	0,547	36,814	0,001	2,575
17	Paineiras	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,180	0,482	334,323	0,001	0,724

18	Papagaios	0,704	0,814	0,865	drs	0,000	0,256	0,000	91,319	0,000	0,569	0,621	131,322	5,524	0,906
19	Pará de Minas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610	0,608	84,233	3,652	2,313
20	Paraopeba	0,001	0,152	0,005	irs	0,160	0,545	0,000	0,470	0,000	0,161	0,546	37,210	0,001	1,103
21	Pequi	0,141	0,206	0,687	irs	0,116	0,173	0,000	37,462	0,000	0,172	0,552	32,616	0,001	18,200
22	Pompéu	0,234	1,000	0,234	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,467	0,660	307,151	12,158	9,105
23	São Gonçalo do Abaeté	0,001	0,171	0,004	irs	0,160	0,546	0,000	1,008	0,000	0,161	0,547	36,983	0,001	1,947
24	São Joaquim de Bicas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,592	0,001	0,001	139,597
25	São José da Varginha	0,303	0,320	0,948	irs	0,000	0,159	0,000	39,257	0,000	0,497	0,588	69,893	2,724	5,366
26	Três Marias	0,910	1,000	0,910	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,444	0,573	47,020	66,144	40,784

Fonte: Elaborado pelo autor

	Municípios	Relativo a amostra
Eficientes	Betim, Biquinhas, Brumadinho, Curvelo, Florestal, Igarapé, Paineiras, Pará de Minas, Pompéu, São Joaquim de Bicas e Três Marias	42,30%
Alta Eficiência	Esmeraldas, Felixlândia, Morada Nova de Minas e Papagaios	15,40%
Média Eficiência	Abaeté, Mateus Leme e Mário Campos	11,54%
Baixa Eficiência	Juatuba, Paraopeba, São Gonçalo do Abaeté, Pequi, Fortuna de Minas, Caetanópolis, São José da Varginha e Maravilhas	30,76%
		100,00%

Tabela 15 – Grau de Eficiência 2018

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na oportunidade de classificação das unidades a partir da metodologia de ordenação em DEA (Tavares, 1998; Barr et al., 2000; Gomes, 2003; Soares de Mello et al., 2005) tem-se:

Municípios eficientes: 1ª camada (42,30% da amostra); eficiência média 100,0% - Betim, Biquinhas, Brumadinho, Curvelo, Florestal, Igarapé, Paineiras, Pará de Minas, Pompéu, São Joaquim de Bicas e Três Marias.

Municípios de alta eficiência: 2ª camada (15,40% da amostra); eficiência média 80,6% - Esmeraldas, Felixlândia, Morada Nova de Minas e Papagaios.

Municípios de média eficiência: 3ª camada (11,54% da amostra); eficiência média 53,9% - Abaeté, Mateus Leme e Mário Campos.

Municípios de baixa eficiência: 4ª camada (30,76% da amostra); eficiência média 21% - Juatuba, Paraopeba, São Gonçalo do Abaeté, Pequi, Fortuna de Minas, Caetanópolis, São José da Varginha e Maravilhas.

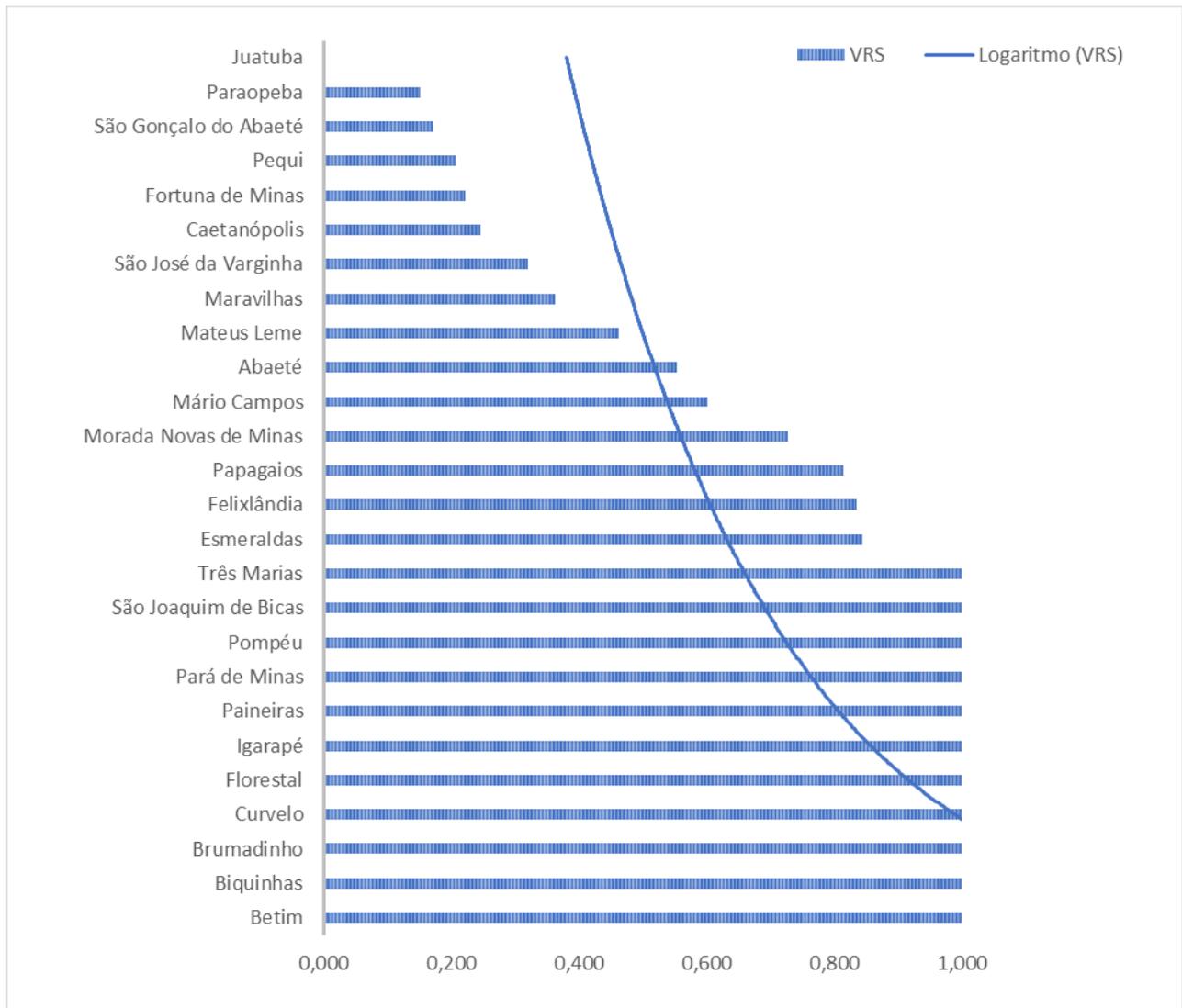


Figura 04 – Escores Índice de Eficiência 2019

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência se apresentam os pares (peers) usados para a projeção das firmas ineficientes.

De acordo com a projeção dos dados do resultado da modelagem DEA no exercício de 2019, as unidades decisórias de Betim, Biquinhas, Brumadinho, Curvelo, Florestal, Igarapé, Paineiras, Pará de Minas, Pompéu, São Joaquim de Bicas e Três Marias, que se situam sobre a fronteira da eficiência, aparecem como pares de si própria.

Biquinhas, Curvelo e Pará de Minas são projetados como benchmarking da unidade decisória de Abaeté que apresenta baixa eficiência. Nessa esteira, os pares para Caetanópolis foram: Biquinhas, Igarapé e Pará de Minas; para Pequi foram: São Joaquim de Bicas e Pequi; para Paraopeba foram: São Joaquim de Bicas e Pequi; para Maravilhas foram: Biquinhas, São Joaquim e Bicas e Pará de

Minas; para Juatuba foi: Igarapé; para São Gonçalo do Abaeté foram: Biquinhas e São Joaquim de Bicas, por fim, para São José da varginha foram: Biquinhas, Igarapé e Pará de Minas.

Numa interpretação evolutiva do grau de eficiência calculado para os anos de 2018 e 2019 observou-se que ocorreu uma involução (54% para 42%) daquelas unidades decisórias que se encontravam na fronteira da curva da análise envoltória, ou seja, considerados eficientes quanto aplicação dos recursos públicos diante do indicador de efetividade da gestão em consideração. Pode indicar que, com base nos dados dos indicadores de efetividade da gestão ambiental e de planejamento, bem como o montante orçamentário alocado nas funções do espectro de gestão ambiental, os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG perderam grau de eficiência da aplicação daqueles recursos que serviriam para reparar os danos advindos do acidente.

Não obstante, observou-se um acréscimo de municípios que apresentavam alta e baixa eficiência muito por conta do decréscimo daqueles que, antes do desastre, se apresentavam na fronteira da eficiência.

4.7 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2020

Tabela 16 – Dados Modelagem DEA 2020

	Municípios	IEGM-A 2020	IEGM-P 2020	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
1	Abaeté	0,368	0,436	141,580	12,157	1,004
2	Betim	0,843	0,465	277,309	0,055	101,538
3	Biquinhas	0,174	0,576	251,056	-	-
4	Brumadinho	0,625	0,756	1.697,417	38,882	241,890
5	Caetanópolis	0,127	0,459	293,571	35,384	2,483
6	Curvelo	-	-	159,514	8,829	0,724
7	Esmeraldas	0,236	0,424	78,682	7,033	-
8	Felixlândia	0,520	0,430	274,219	2,291	43,173
9	Florestal	0,520	0,303	272,159	8,001	15,557
10	Fortuna de Minas	0,248	0,374	952,180	208,188	20,990
11	Igarapé	0,674	0,433	260,137	77,668	154,802
12	Juatuba	0,282	0,371	531,350	-	35,634
13	Maravilhas	0,508	0,467	425,857	40,558	7,506
14	Mário Campos	0,381	0,493	254,711	12,200	190,995
15	Mateus Leme	0,432	0,473	324,517	9,256	20,813

16	Morada Novas de Minas	0,111	0,651	226,656	10,271	3,138
17	Paineiras	0,269	0,449	728,505	-	0,720
18	Papagaios	0,569	0,337	400,069	133,871	1,892
19	Pará de Minas	0,583	0,467	140,733	3,716	0,974
20	Paraopeba	0,465	0,414	271,319	3,746	-
21	Pequi	0,320	0,496	264,153	167,170	118,377
22	Pompéu	0,467	0,730	531,252	16,771	9,044
23	São Gonçalo do Abaeté	0,495	0,468	198,468	5,444	10,806
24	São Joaquim de Bicas	0,529	0,751	-	-	204,667
25	São José da Varginha	0,300	0,504	490,190	155,654	17,506
26	Três Marias	0,337	0,568	45,317	99,766	43,867

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados da modelagem no exercício de 2020 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus produtos correspondentes (IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento) e de seus insumos, entendidos como a razão do montante orçamentário liquidado (unidade de real) para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2020.

A título exemplificativo, a unidade decisória de Mateus Leme, item 15, alcançou um índice de eficiência na gestão municipal no âmbito planejamento de 0,473. Para tal, no mesmo exercício, a gestão municipal alocou recursos na função de urbanismo na monta de R\$ 324,51 por habitante.

No exercício de 2020, ano imediatamente posterior ao da ocorrência do desastre ambiental do rompimento da barragem de Brumadinho-MG, 65,38% (dezessete municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C” de avaliação da política de gestão pública ambiental - decréscimo de 7,70% em relação ao exercício de 2019, retornando ao mesmo nível de adequação do exercício anterior ao desastre ambiental.

Em relação ao indicador de gestão de planejamento, 73,07% (dezenove municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C”, demonstrando também estar com baixo nível de adequação aos quesitos relacionados ao que foi planejado e realizado em matéria de programas e ações.

As unidades decisórias que mais alocaram recursos na função 15 - Urbanismo, foram Brumadinho, Fortuna de Minas, Juatuba, Paineiras e Pompéu, representando 19,23% da amostra e

46,78% do valor total investido por habitante dos municípios. Observou-se que Brumadinho, município onde ocorreu o desastre ambiental, teve gastos com a rubrica urbanismo representativos de 17,88% do valor total de investimentos da amostra.

Em relação ao ano de 2019, houve um incremento no volume de recursos aplicados dessa função na ordem de 118,54% indicando que os municípios aportaram consistentemente seus esforços financeiros em rubrica alinhadas ao espectro de gestão ambiental, tal como a função 15 – Urbanismo, sugerindo que, diante evento do desastre ambiental ocorrido no exercício anterior, houve sinalização reparatória e compensatória significativa nas rubricas orçamentárias, em linha com o resultado da pesquisa de Unterberger (2018) e Leppänen et al.(2015). Os três municípios que menos investiram, São Joaquim de Bicas – sem alocação de recursos – Três Marias e Esmeralda representaram 1,3% do total dos investimentos por habitante da amostra das unidades decisórias.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 17 – Saneamento, foram Fortuna de Minas, Pequi e São José da Varginha, representando 11,53% da amostra e 50,24% do valor total por habitante de investimentos dos municípios da amostra. Em relação ao ano de 2019, houve um acréscimo no volume de recursos aplicados dessa função na ordem de 15,81% indicando que os municípios aportaram volume financeiro nessa rubrica, em ano subsequente ao rompimento da barragem, mostrando, portanto, progressividade de alocação relativa dos recursos após o desastre de Brumadinho-MG. Biquinhas, Juatuba, Paineiras e São Joaquim de Bicas não alocaram recursos na função de saneamento representaram 15,38% das firmas.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 18 - Gestão Ambiental, foram Brumadinho, Igarapé, Mário Campos e São Joaquim de Bicas representando 15,38% da amostra e 63,48% do valor total por habitante de investimentos. Em relação ao ano de 2019, houve um acréscimo no volume de recursos aplicados dessa função na ordem de 51,47% revelando que as unidades decisórias condicionaram volume financeiro a maior nessa rubrica, em ano subsequente ao rompimento da barragem, objetivando, em mais de uma função orçamentária, evolução de alocação dos recursos após o desastre de Brumadinho-MG Biquinhas, Paraopeba e Esmeraldas não alocaram recursos na função de gestão ambiental.

Tabela 17 - Estatística Descritiva 2020

	IEGM-A 2020	IEGM-P 2020	INV UR (R\$)	INV SN (R\$)	INV GA (R\$)
Média	0,399	0,473	365,035	40,651	48,004
Erro padrão	0,038	0,030	67,039	11,890	14,251
Moda	0,520	0,467	-0,001	0,001	0,001
Mediana	0,407	0,466	271,739	9,764	13,182
Variância	0,037	0,023	116.850,300	3.675,642	5.280,359
Desvio padrão	0,193	0,152	341,834	60,627	72,666
Coefficiente de Variação	0,483	0,322	0,936	1,491	1,514
Mínimo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Máximo	0,843	0,756	1.697,417	208,188	241,890

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela de dados da estatística descritiva no exercício de 2020 apresenta, com base nos dados da modelagem, as mensurações descritivas: média, erro padrão, moda, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo. Para o cálculo de cada medida considerou os índices IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento e a razão do montante orçamentário liquidado para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2020.

A título exemplificativo, a mediana apurada para o indicador IEGM-A de toda amostra disposta na base de dados da modelagem foi de 0,407 revelando que esse número separa a metade maior e a metade menor da distribuição em referência.

Apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis de análise da modelagem dos dados para o período de 2020, os resultados mostraram que, quanto a média apurada no indicador de eficiência ambiental, um retorno de 0,339, que revela, de acordo com o Manual IEGM, TCE/MG (2020) um conceito de nota “C” para a delimitação da amostra, demonstrando que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho/MG apresentavam, após o exercício do evento do desastre, baixo nível de adequação dos quesitos de gestão ambiental. 42,30% dos municípios da amostra se mantiveram abaixo do valor médio para o indicador de eficiência ambiental e 65,38% deles apresentaram conceito “C”, denotando reduzido escore de aderência às questões elaboradas.

Quanto a média apurada acerca do índice de gestão municipal com foco em planejamento, o número correspondente foi de 0,473, denotando também conceito “C”. A razão de 61,53% dos municípios da amostra se manteve abaixo do valor médio para o indicador de eficiência de planejamento e 11,53% deles apresentaram conceito “C+”, denotando em fase de adequação dos quesitos.

Existe diferença entre o escore mínimo (0,001) e o máximo (0,842) do indicador de eficiência de gestão ambiental para o exercício de 2020, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (0,193), evidenciando que há desequilíbrio de cumprimento dos quesitos do relatório IEGM entre as cidades varia.

O coeficiente de variação ou desvio padrão relativo apurado para o índice de efetividade da gestão ambiental foi de 0,483. Esse indicador demonstra a extensão da variabilidade em razão da média dessa amostra, ou seja, quanto os dados da amostra variam em torno de sua média. Para o exercício de 2020, os indicadores de IEGM-ambiental variaram 48,30% em torno da média (0,399). O coeficiente de variação calculado para o IEGM-Planejamento foi de 0,322, indicando, portanto, que esse índice variou 32,20% em relação à média (0,473).

Quanto as estatísticas descritivas dos *inputs* das unidades decisórias, tem-se como mediana, para o ano de 2020, a apuração de R\$271,39 investidos na rubrica de 15 - Urbanismo, por habitante. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 11,53% (3 municípios) executaram investimentos até R\$100,00 por habitante no exercício de 2020. 15,38% (4 municípios) executaram investimentos de R\$100,01 até R\$ 200,00 por habitante e, por fim, 73,07% (19 municípios) executaram investimentos a partir de R\$200,01 por habitante.

Há diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso – São Joaquim de Bicas) e o máximo (R\$1.697,41 por habitante - Brumadinho) do indicador de investimentos na função 15- Urbanismo para o exercício de 2020, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (341,83), evidenciando que existe desequilíbrio na consolidação das aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para o a rubrica 15 - Urbanismo foi de 1,491, indicando, portanto, que esse índice variou 149,10% em relação à média (40,651).

Significa apontar, com base nas análises estatísticas, que os investimentos na função orçamentária de urbanismo se mantem com aplicações superiores em relação as outras funções apresentadas nesse estudo. Considera-se importante para as unidades da amostra porque esses municípios utilizam tal rubrica para manterem relação com a gestão ambiental por aglutinar recursos vinculados à aplicação específica de preservação e conservação ambiental. Ademais também é uma classificação aglutinadora de investimentos quer envolvem recuperação de infraestrutura prejudicada por eventos do desastre.

Acerca dos investidos na rubrica de 17 - Saneamento, por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2020, a apuração de R\$ 9,76. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (13 municípios) executaram investimentos até R\$9,76 por habitante no exercício de 2020. 15,38% (04 municípios) executaram investimentos de R\$9,76 até R\$ 30,00 por habitante e, por fim, 34,61% (9 municípios) executaram investimentos a partir de R\$30,01 por

habitante. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 17 - Saneamento foi de 1,679, indicando, portanto, que esse índice variou 167,9% em relação à média (27,113).

Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Paineiras) e o máximo (R\$208,18 por habitante – Fortuna de Minas) do indicador de investimentos na função 17- Saneamento para o exercício de 2020, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (60,62), evidenciando que há diferença relevante nas aplicações dos recursos pelos municípios.

Por fim, acerca dos investidos na rubrica de 18 – Gestão Ambiental, por habitante tem-se como mediana, para o ano de 2020, a apuração de R\$13,18. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (13 municípios) executaram investimentos até R\$13,18 por habitante no exercício de 2020. 19,23% (05 municípios) executaram investimentos de R\$13,18 até R\$ 40,00 por habitante e, finalmente, 30,76% (8 municípios) executaram investimentos a partir de R\$40,01 por habitante.

Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Paraopeba) e o máximo (R\$241,89 por habitante - Brumadinho) do indicador de investimentos na função 18-Gestão Ambiental para o exercício de 2020, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (72,66), evidenciando que há desequilíbrio nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 18 – Gestão Ambiental foi de 1,514, indicando, portanto, que esse índice variou 151,40% em relação à média (48,00

4.8 – Resultados modelagem DEA 2020

		Eficiência Técnica – Orientação Input				Folgas					Alvos				
		CRS	VRS	Escala		IEGM-A 2020	IEGM-P 2020	INV_U R	INV_ SN	INV_ GA	IEGM- A 2019	IEGM- P 2019	INV_U R	INV_ SN	INV_ GA
1	Abaeté	0,713	0,717	0,994	irs	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,368	0,442	101,507	8,716	0,720
2	Betim	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,843	0,465	277,309	0,055	101,538
3	Biquinhas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,174	0,576	251,056	0,001	0,001
4	Brumadinho	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,625	0,756	1,000	697,417	38,882
5	Caetanópolis	0,286	0,338	0,847	drs	0,094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,221	0,459	99,280	11,966	0,840
6	Curvelo	0,002	0,647	0,003	irs	0,373	0,440	0,000	0,000	0,000	0,374	0,441	103,253	5,715	0,469
7	Esmeraldas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,236	0,424	78,682	7,033	0,001
8	Felixlândia	0,685	0,724	0,946	irs	0,000	0,079	0,000	0,000	0,000	0,520	0,509	198,491	1,658	31,250
9	Florestal	0,447	0,482	0,927	irs	0,034	0,170	0,000	0,000	0,000	0,554	0,473	131,250	3,859	7,502
10	Fortuna de Minas	0,076	0,082	0,933	irs	0,000	0,058	0,000	0,000	0,000	0,248	0,432	77,762	17,002	1,714
11	Igarapé	0,442	0,584	0,757	drs	0,000	0,118	0,000	0,000	0,000	0,674	0,551	151,860	45,340	90,369
12	Juatuba	0,942	1,000	0,942	irs	0,000	0,161	52,707	0,000	3,535	0,282	0,532	478,643	0,001	32,099
13	Maravilhas	0,294	0,299	0,983	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,508	0,467	127,467	12,140	2,247
14	Mário Campos	0,286	0,310	0,923	irs	0,068	0,041	0,000	0,000	0,000	0,449	0,534	78,995	3,784	59,234
15	Mateus Leme	0,405	0,407	0,996	irs	0,129	0,002	0,000	0,000	0,000	0,561	0,475	132,018	3,765	8,467
16	Morada Novas de Minas	0,723	1,000	0,723	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,651	226,656	10,271	3,138

17	Paineiras	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,269	0,449	728,505	0,001	0,720
18	Papagaios	0,376	0,454	0,829	drs	0,000	0,124	25,319	57,029	0,000	0,569	0,461	156,226	3,720	0,859
19	Pará de Minas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,583	0,467	140,733	3,716	0,974
20	Paraopeba	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,465	0,414	271,319	3,746	0,001
21	Pequi	0,248	0,250	0,994	irs	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,320	0,503	65,927	41,722	29,545
22	Pompéu	0,390	1,000	0,390	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,467	0,730	531,252	16,771	9,044
23	São Gonçalo do Abaeté	0,669	0,678	0,986	irs	0,077	0,007	0,000	0,000	0,000	0,572	0,475	134,596	3,692	7,328
24	São Joaquim de Bicas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,529	0,751	0,001	0,001	204,667
25	São José da Varginha	0,183	0,247	0,741	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	0,504	120,913	38,395	4,318
26	Três Marias	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,337	0,568	45,317	99,766	43,867

Tabela 18 - Resultado Modelagem DEA 2020.

Fonte: Elaborado pelo autor.

	Municípios	Relativo a amostra
Eficientes	Betim, Biquinhas, Brumadinho, Esmeraldas, Juatuba, Morada Novas de Minas, Paineiras, Pará de Minas, Paraopeba, Pompéu, São Joaquim de Bicas e Três Marias	46,17%
Alta Eficiência	Abaeté e Felixlândia	7,69%
Média Eficiência	Mateus Leme, Papagaios, Florestal, Igarapé, Curvelo e São Gonçalo do Abaeté	23,07%
Baixa Eficiência	Fortuna de Minas, São José da Varginha, Pequi, Maravilhas, Mário Campos e Caetanópolis	23,07%
		100,00%

Tabela 19 – Grau de Eficiência 2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na oportunidade de classificação das unidades à partir da metodologia de ordenação em DEA (Tavares, 1998; Barr et al., 2000; Gomes, 2003; Soares de Mello et al., 2005) tem-se:

Municípios eficientes: 1ª camada (46,17% da amostra); eficiência média 100,0% - Betim, Biquinhas, Brumadinho, Esmeraldas, Juatuba, Morada Novas de Minas, Paineiras, Pará de Minas, Paraopeba, Pompéu, São Joaquim de Bicas e Três Marias.

Municípios de alta eficiência: 2ª camada (7,69% da amostra); eficiência média 72,10% - Abaeté e Felixlândia.

Municípios de média eficiência: 3ª camada (23,07% da amostra); eficiência média 54,20% - Mateus Leme, Papagaios, Florestal, Igarapé, Curvelo e São Gonçalo do Abaeté.

Municípios de baixa eficiência: 4ª camada (23,07% da amostra); eficiência média 25,4% - Fortuna de Minas, São José da Varginha, Pequi, Maravilhas, Mário Campos e Caetanópolis.

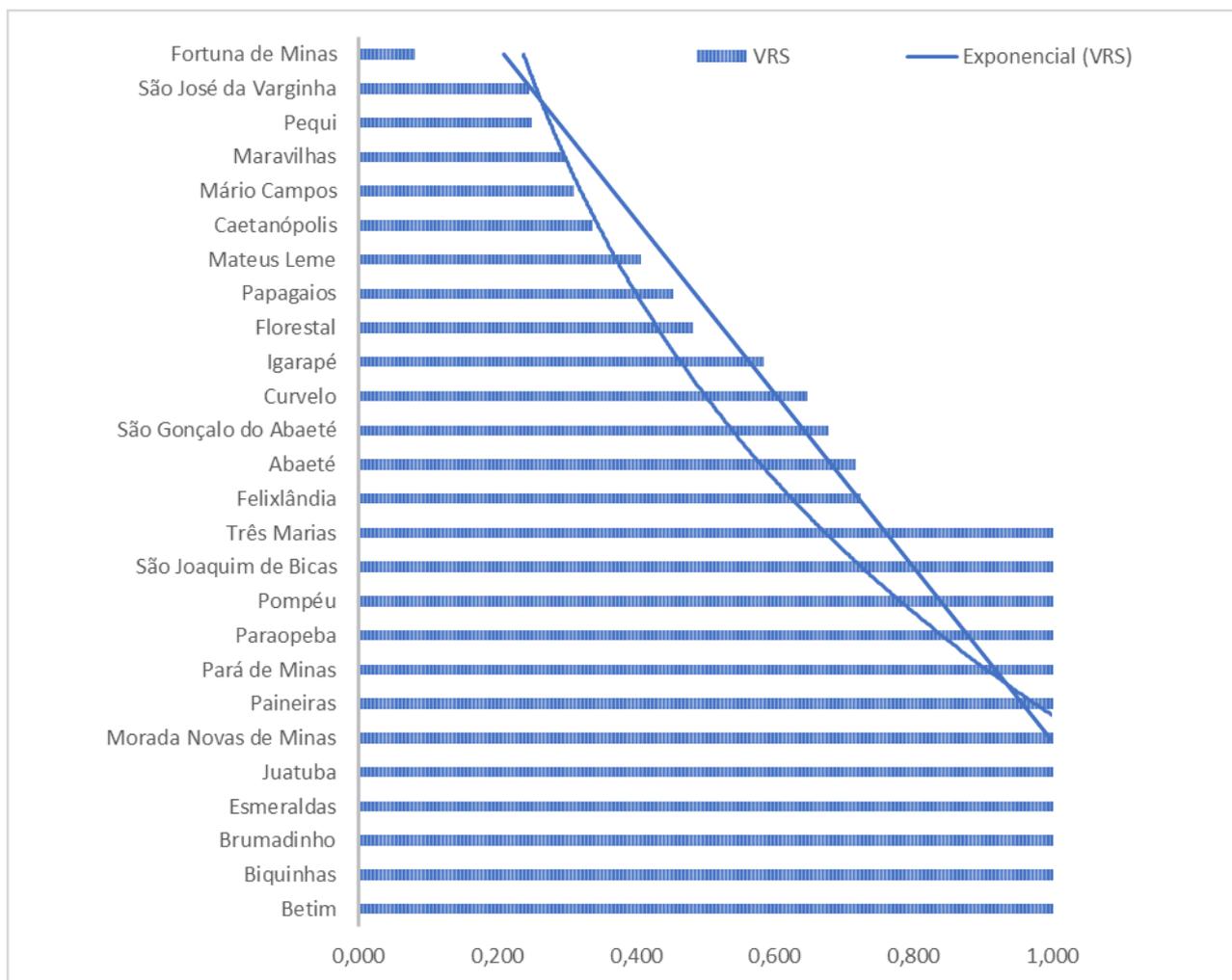


Figura 05 – Escores Índice de Eficiência 2020

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência se apresentam os pares (*peers*) usados para a projeção das firmas ineficientes.

De acordo com a projeção dos dados do resultado da modelagem DEA no exercício de 2020, as unidades decisórias de Betim, Biquinhas, Brumadinho, Esmeraldas, Juatuba, Morada Novas de Minas, Paineiras, Pará de Minas, Paraopeba, Pompéu, São Joaquim de Bicas e Três Marias, que se situam sobre a fronteira da eficiência, aparecem como pares de si própria.

Brumadinho, Esmeraldas, Morada Nova de Minas e Três Marias são projetados como benchmarking da unidade decisória de Caetanópolis que apresenta baixa eficiência. Nessa esteira, os pares para Mário Campos foram: Esmeraldas São Joaquim de Bicas e Pará de Minas; para Maravilhas foram: Três Marias, Pará de Minas, Brumadinho, Morada Nova de Minas e Esmeraldas; para Pequi foram: Pará de Minas, Esmeraldas, São Joaquim de Bicas e Três Marias; para São José da Varginha foram: Pará de Minas, Três Marias, Brumadinho, Morada Nova de Minas e Esmeraldas e para Fortuna de Minas foram: Pará de Minas, Brumadinho, Esmeraldas e Três Marias

Numa interpretação evolutiva do grau de eficiência calculado para os anos de 2019 e 2020 observou-se que ocorreu um incremento relativa (42% para 46%) daquelas unidades decisórias que se encontravam na fronteira da curva da análise envoltória, ou seja, considerados eficientes quanto aplicação dos recursos públicos diante do indicador de efetividade da gestão em consideração. Outrossim, observou-se um decréscimo de municípios que apresentavam alta e baixa eficiência, esses migrando para graus de média eficiência.

4.9 – Análise da eficiência dos municípios atingidos em 2021

Tabela 20 – Dados Modelagem DEA 2021

	Municípios	IEGM-A 2020	IEGM-P 2020	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
1	Abaeté	0,375	0,630	67,632	222,507	0,720
2	Betim	0,101	0,101	220,496	0,001	120,609
3	Biquinhas	0,204	0,736	0,001	0,001	0,001
4	Brumadinho	0,356	0,686	0,001	0,001	0,001
5	Caetanópolis	0,127	0,503	184,011	43,026	2,054
6	Curvelo	0,491	0,696	152,119	7,516	4,241
7	Esmeraldas	0,101	0,101	110,283	12,489	2,789
8	Felixlândia	0,581	0,697	301,262	2,333	72,987
9	Florestal	0,101	0,101	272,582	8,448	9,581
10	Fortuna de Minas	0,250	0,467	271,313	176,682	16,853
11	Igarapé	0,569	0,647	279,980	5,489	104,433
12	Juatuba	0,428	0,740	448,695	0,001	186,450
13	Maravilhas	0,552	0,561	384,270	63,164	5,578
14	Mário Campos	0,101	0,101	43,702	0,776	156,807
15	Mateus Leme	0,614	0,640	327,759	0,001	26,504
16	Morada Novas de Minas	0,101	0,101	200,423	18,274	2,990
17	Paineiras	0,268	0,642	0,001	0,001	0,001
18	Papagaios	0,369	0,346	191,334	162,436	4,180
19	Pará de Minas	0,604	0,343	102,334	9,208	2,935
20	Paraopeba	0,383	0,700	351,071	7,917	11,521
21	Pequi	0,321	0,856	491,049	154,091	174,673
22	Pompéu	0,467	0,814	429,786	17,137	7,932
23	São Gonçalo do Abaeté	0,655	0,584	271,817	6,295	26,032

24	São Joaquim de Bicas	0,498	0,743	4,904	0,001	232,744
25	São José da Varginha	0,190	0,543	716,481	149,274	13,389
26	Três Marias	0,431	0,705	56,920	102,301	50,800

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados da modelagem no exercício de 2021 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus produtos correspondentes (IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento) e de seus insumos, entendidos como a razão do montante orçamentário liquidado (unidade de real) para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2021.

A título exemplificativo, a unidade decisória de Betim, item 2, alcançou um índice de eficiência na gestão municipal no âmbito ambiental de 0,101. Para tal, no mesmo exercício, a gestão municipal alocou recursos na função de gestão ambiental na monta de R\$ 120,60 por habitante.

No ano de 2021, período em que as prefeituras receberam recursos financeiros a título de ressarcimento da Vale S.A., os municípios de Betim, Esmeraldas, Florestal, Mário Campos e Morada Nova de Minas, correspondente a 19,23% da amostra, não obtiveram índice de efetividade por não remeterem o questionário para apreciação da referida corte de contas;

Consequente, 57,69% (quinze municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “C” de avaliação da política de gestão pública ambiental - decréscimo de 7,69% em relação ao exercício de 2020, alcançando o menor resultado da série desde 2017. Em relação ao indicador de gestão de planejamento, 53,85% (quatorze municípios) das unidades decisórias da amostra se encontravam no conceito “B” ou superior, demonstrando efetivo nível de adequação aos quesitos relacionados ao que foi planejado e realizado em matéria de programas e ações.

As unidades decisórias que mais alocaram recursos per capita na função 15 – Urbanismo foram Juatuba, Pequi, Pompéu e São José da Varginha, representando 15,38% da amostra e 35,48% do valor total investido por habitante dos municípios. Observou-se que São José da Varginha teve alocações de recursos da rubrica urbanismo representativos de 12,18% do valor total de investimentos da amostra. Em relação ao ano de 2020, houve um decréscimo no volume de recursos aplicados dessa função na ordem de 60,40% indicando que os municípios reduziram consistentemente o volume financeiro alocado nessa rubrica no ano em que receberam recursos financeiros a título de ressarcimento da Vale S.A. Os três municípios que menos investiram, São Joaquim de Bicas, Três Marias e Mário Campos, representaram 1,79% do total dos investimentos por habitante da amostra das unidades decisórias.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 17 – Saneamento foram Fortuna de Minas, Abaeté e Papagaios, representando 11,53% da amostra e 48,03% do valor total por habitante de investimentos dos municípios da amostra. Em relação ao ano de 2020, houve uma manutenção relativa no volume de recursos aplicados dessa função, indicando que os municípios conservaram o volume financeiro alocado nessa rubrica no ano em que receberam recursos financeiros a título de ressarcimento da Vale S.A. Biquinhas, Juatuba, Paineiras, São Joaquim de Bicas, Brumadinho, Betim e Mateus Leme não alocaram recursos na função de saneamento, representaram 26,92% das firmas.

As unidades decisórias que mais alocaram valores na função 18 - Gestão Ambiental, foram Juatuba, Pequi, Mário Campos e São Joaquim de Bicas representando 15,38% da amostra e 48,02% do valor total por habitante de investimentos. Em relação ao ano de 2020, houve uma manutenção relativa no volume de recursos aplicados dessa função, indicando que os municípios conservaram o volume financeiro alocado nessa rubrica no ano em que receberam recursos financeiros a título de ressarcimento da Vale S.A. Biquinhas, Paineiras e Brumadinho - não alocaram recursos na função de gestão ambiental - e mais 16 municípios representaram 61,54% da amostra e 15,20% do total dos investimentos por habitante da amostra das unidades decisórias.

Tabela 21 - Estatística Descritiva 2021

	IEGM-A 2021	IEGM-P 2021	INV_UR (R\$)	INV_SN (R\$)	INV_GA (R\$)
Média	0,336	0,511	226,162	44,976	47,569
Erro padrão	0,042	0,055	34,966	13,473	13,632
Moda	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mediana	0,372	0,635	210,459	8,183	10,551
Variância	0,046	0,079	31.787,73	4.719,44	4.831,46
Desvio padrão	0,215	0,281	178,291	68,698	69,509
Coefficiente de Variação	0,640	0,550	0,788	1,527	1,461
Mínimo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Máximo	0,655	0,856	716,481	222,507	232,744

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela de dados da estatística descritiva no exercício de 2021 apresenta, com base nos dados da modelagem, as mensurações descritivas: média, erro padrão, moda, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo. Para o cálculo de cada medida considerou os índices IEGM-Ambiental e IEGM-Planejamento e a razão do montante orçamentário

liquidado para as alocações nas funções urbanismo (INV_URB), saneamento (INV_SN) e gestão ambiental (INV_GA) e a população do município no ano de 2021.

A título exemplificativo, a mediana apurada para o indicador IEGM-P de toda amostra disposta na base de dados da modelagem foi de 0,635 revelando que esse número separa a metade maior e a metade menor da distribuição em referência.

Apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis de análise da modelagem dos dados para o período de 2021, os resultados mostraram que, quanto a média apurada no indicador de eficiência ambiental, um retorno de 0,336 que revela, de acordo com o Manual IEGM, TCE/MG (2020) um conceito de nota “C” para a delimitação da amostra, demonstrando que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho/MG apresentavam, no exercício que receberam recursos financeiros a título de ressarcimento da Vale S.A, baixo nível de adequação dos quesitos de gestão ambiental. A razão de 42,31% dos municípios da amostra se manteve abaixo do valor médio para o indicador de eficiência ambiental e 76,92% deles apresentaram conceito “C”, denotando reduzido escore de aderência às questões elaboradas.

Quanto a média apurada acerca do índice de gestão municipal com foco em planejamento, o número correspondente foi de 0,511, denotando conceito “C+”. 34,62% dos municípios da amostra se mantiveram abaixo do valor médio para o indicador de eficiência de planejamento e 53,85% deles apresentaram conceito igual ou superior ao conceito “B”, denotando em fase de efetividade das ações atinentes dos quesitos relacionados ao planejamento.

Existe diferença entre o escore mínimo (0,001) e o máximo (0,0,655) do indicador de eficiência de gestão ambiental para o exercício de 2021, o qual é refletido em um desvio padrão elevado (0,215), evidenciando que há desequilíbrio de cumprimento dos quesitos do relatório IEGM entre as cidades varia com consistência.

O coeficiente de variação para o índice de efetividade da gestão ambiental foi de 0,640. Para o exercício de 2021, os indicadores de IEGM-ambiental variaram 64% em torno da média (0,336). O coeficiente de variação calculado para o IEGM-Planejamento foi de 0,550, indicando, portanto, que esse índice variou 55% em relação a média (0,511).

Da estatística descritiva dos *inputs* das unidades decisórias tem-se como mediana, para o ano de 2021, a apuração de R\$ 210,45 investidos na rubrica de 15 - Urbanismo, por habitante. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 26,92% (sete municípios) executaram investimentos até R\$100,00 por habitante no exercício de 2021. 19,23% (cinco municípios) executaram investimentos de R\$100,01 até R\$ 200,00 por habitante e, por fim, 53,85% (quatorze municípios) executaram investimentos superiores a R\$200,01 por habitante.

Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Paineiras) e o máximo (R\$716,48 por habitante – São José da Varginha) do indicador de investimentos na função 15-Urbanismo para o exercício de 2021, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (178,29), evidenciando que há distorções nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para o a rubrica 15 - Urbanismo foi de 0,788, indicando, portanto, que esse índice variou 78,80% em relação a média (226,162).

Acerca dos investidos na rubrica de 17 - Saneamento, por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2021, a apuração de R\$ 8,18. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (treze municípios) executaram investimentos até R\$ 8,18 por habitante no exercício de 2021. 19,23% (cinco municípios) executaram investimentos de R\$ 8,19 até R\$ 30,00 por habitante e, por fim, 30,77% (8 municípios) executaram investimentos a partir de R\$30,01 por habitante.

Há diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso – Mateus Leme) e o máximo (R\$222,50 por habitante - Abaeté) do indicador de investimentos na função 17-Saneamento para o exercício de 2021, o qual é refletido em um desvio padrão mais elevado (68,69), evidenciando que existe distorções nas aplicações dos recursos pelos municípios. O coeficiente de variação calculado para a rubrica 17 - Saneamento foi de 1,527, indicando, portanto, que esse índice variou 152,70% em relação a média (44,976).

Por fim, acerca dos investidos na rubrica de 18 – Gestão Ambiental, por habitante, tem-se como mediana, para o ano de 2021, a apuração de R\$10,55. Segregando o grupo de unidades decisórias, considerando o valor apurado da mediana, 50% (treze municípios) executaram investimentos até R\$10,55 por habitante no exercício de 2021. 23,08% (seis municípios) executaram investimentos de R\$10,56 até R\$ 50,00 por habitante e, finalmente, 26,92% (sete municípios) executaram investimentos a partir de R\$50,01 por habitante.

Existe diferença entre o escore mínimo (não aplicação de recurso - Brumadinho) e o máximo (R\$ 232,74 por habitante – São Joaquim de Bicas) do indicador de investimentos na função 18-Gestão Ambiental para o exercício de 2021, o qual é refletido em um desvio padrão elevado (69,50), evidenciando que há desequilíbrio nas aplicações dos recursos pelos municípios.

4.10 – Resultados modelagem DEA 2021

		Eficiência Técnica – Orientação outputs				Folgas					Alvos				
		CRS	VRS	Escala			IEGM- A 2021	IEGM- P 2021	INV_UR	INV_SN	INV_GA	IEGM- A 2021	IEGM- P 2021	INV_UR	INV_SN
1	Abaeté	0,196	1,000	0,196	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375	0,630	67,632	222,507	0,720
2	Betim	0,164	1,000	0,164	irs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	220,496	0,001	120,609
3	Biquinhas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,204	0,736	0,001	1,001	1,001
4	Brumadinho	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,356	0,686	0,001	1,001	1,001
5	Caetanópolis	0,039	0,049	0,783	irs	0,141	0,139	8,947	2,015	0,000	0,268	0,642	0,101	0,101	0,101
6	Curvelo	0,044	1,000	0,044	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,491	0,696	152,119	7,516	4,241
7	Esmeraldas	0,000	0,036	0,004	irs	0,267	0,641	3,893	0,351	0,000	0,268	0,642	0,101	0,101	0,101
8	Felixlândia	0,089	1,000	0,089	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,581	0,697	301,262	2,333	72,987
9	Florestal	0,005	0,012	0,377	irs	0,167	0,541	3,133	0,000	0,000	0,268	0,642	0,126	0,101	0,115
10	Fortuna de Minas	0,006	0,006	0,933	-	0,018	0,175	1,525	0,958	0,000	0,268	0,642	0,101	0,101	0,101
11	Igarapé	0,038	0,648	0,059	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,569	0,647	181,412	3,557	67,667
12	Juatuba	0,131	0,853	0,153	drs	0,000	0,000	351,229	0,000	0,000	0,428	0,740	31,638	0,854	159,096
13	Maravilhas	0,037	1,000	0,037	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,552	0,561	384,270	63,164	5,578

14	Mário Campos	0,045	0,127	0,353	irs	0,160	0,525	0,000	0,000	16,830	0,261	0,626	5,549	0,099	3,080
15	Mateus Leme	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,614	0,640	327,759	0,101	26,504
16	Morada Novas de Minas	0,000	0,034	0,004	irs	0,267	0,641	6,669	0,516	0,000	0,268	0,642	0,101	0,101	0,101
17	Paineiras	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,268	0,642	0,101	0,101	0,101
18	Papagaios	0,033	0,218	0,153	drs	0,000	0,218	5,673	0,000	0,000	0,369	0,564	36,019	35,395	0,911
19	Pará de Minas	0,078	1,000	0,078	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,604	0,343	102,334	9,208	2,935
20	Paraopeba	0,018	0,356	0,051	drs	0,000	0,000	45,070	0,000	0,000	0,383	0,700	80,083	2,822	4,107
21	Pequi	0,001	1,000	0,001	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,321	0,856	491,049	154,091	174,673
22	Pompéu	0,022	1,000	0,022	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,467	0,814	429,786	17,137	7,932
23	São Gonçalo do Abaeté	0,039	1,000	0,039	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,655	0,584	271,817	6,295	26,032
24	São Joaquim de Bicas	1,000	1,000	1,000	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,498	0,743	4,904	0,101	232,744
25	São José da Varginha	0,006	0,008	0,846	irs	0,078	0,099	5,304	1,025	0,000	0,268	0,642	0,101	0,101	0,101
26	Três Marias	0,003	1,000	0,003	drs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,431	0,705	56,920	102,301	50,800

Tabela 22 – Resultado Modelagem DEA 2021

Fonte: Elaborado pelo autor

	Municípios	Relativo a amostra
Eficientes	Abaeté, Betim, Biquinhas, Brumadinho, Curvelo, Felixlândia, Maravilhas, Mateus Leme, Paineiras, Pará de Minas, Pequi, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e Três Marias	57,69%
Alta Eficiência	Juatuba	3,85%
Média Eficiência	Igarapé	3,85%
Baixa Eficiência	Fortuna de Minas, São José da Varginha, Florestal, Morada Novas de Minas, Esmeraldas, Caetanópolis, Mário Campos, Papagaios e Paraopeba	34,61%
		100,00%

Tabela 23 – Grau de Eficiência 2021

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na oportunidade de classificação das unidades à partir da metodologia de ordenação em DEA (Tavares, 1998; Barr et al., 2000; Gomes, 2003; Soares de Mello et al., 2005) tem-se:

Municípios eficientes: 1ª camada (57,69% da amostra); eficiência média 100,0% - Abaeté, Betim, Biquinhas, Brumadinho, Curvelo, Felixlândia, Maravilhas, Mateus Leme, Paineiras, Pará de Minas, Pequi, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e Três Marias.

Municípios de alta eficiência: 2ª camada (3,85% da amostra); eficiência média 85,30% - Juatuba.

Municípios de média eficiência: 3ª camada (3,85% da amostra); eficiência média 64,80% - Igarapé.

Municípios de baixa eficiência: 4ª camada (34,61% da amostra); eficiência média 9,40% - Fortuna de Minas, São José da Varginha, Florestal, Morada Novas de Minas, Esmeraldas, Caetanópolis, Mário Campos, Papagaios e Paraopeba.

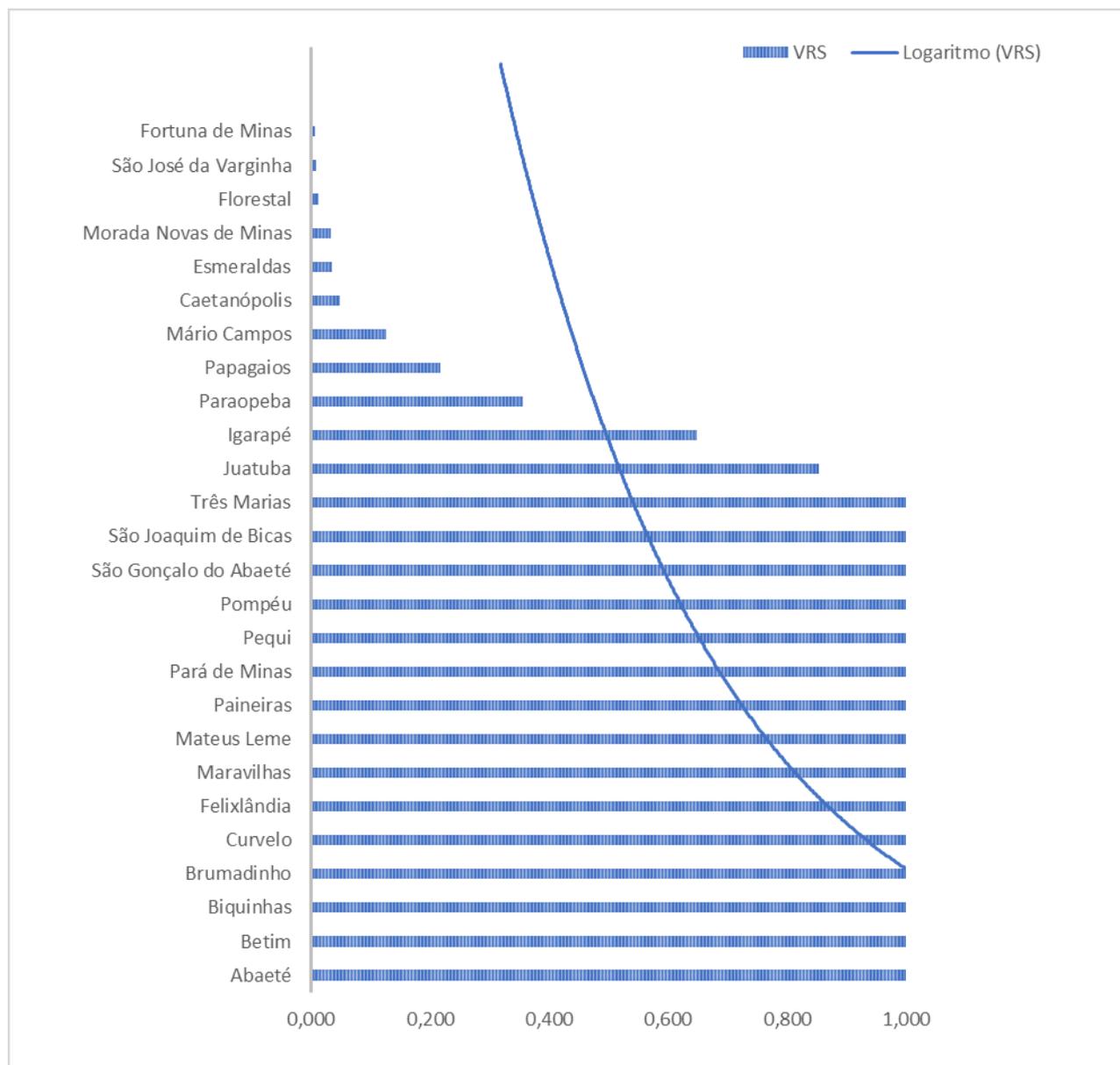


Figura 06 – Escores Índice de Eficiência 2021

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência se apresentam os pares (*peers*) usados para a projeção das firmas ineficientes.

De acordo com a projeção do resultado da modelagem estatística para os exercícios de 2021 as unidades decisórias de Abaeté, Betim, Biquinhas, Brumadinho, Curvelo, Felixlândia, Maravilhas, Mateus Leme, Paineiras, Pará de Minas, Pequi, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, São Joaquim de Bicas e Três Marias, que se situam sobre a fronteira da eficiência, aparecem como pares de si própria.

Abaeté e Biquinhas são projetados como benchmarking da unidade decisória de Fortuna de Minas que, por sua vez, apresenta baixa eficiência. Nessa esteira, os pares para Florestal foram:

Abaeté, Biquinhas e Pará de Minas; para Morada Nova de Minas foram: Abaeté e Biquinhas; para Esmeraldas foram: Abaeté, Biquinhas, Pará de Minas e Pompéu; para Caetanópolis foi: Biquinhas; para Mário Campos foram: Abaeté e São Joaquim de Bicas; para Papagaios foram: Abaeté e Biquinhas; e para Paraopeba foram: Pará de Minas e Biquinhas.

Numa interpretação evolutiva do grau de eficiência calculado para os anos de 2020 e 2021 observou-se que ocorreu um incremento (46% para 58%) daquelas unidades decisórias que se encontravam na fronteira da curva da análise envoltória, ou seja, considerados eficientes quanto aplicação dos recursos públicos diante do indicador de efetividade da gestão em consideração.

Ademais, observou-se um decréscimo de municípios que apresentavam alta e média eficiência, esses migrando para graus de baixa eficiência (23% para 35%).

4.11 – Resultados Índice *Malmquist* 2017-2018

Resta nessa pesquisa, após calculado e analisado os indicadores de eficiência de cada firma proposta, uma análise longitudinal, ao longo dos períodos de estudo, para verificação do impacto dos recursos investidos por meio da comparação das eficiências valoradas. Essa comparação foi executada pelo índice de *Malmquist*, ou fator total de produtividade e as variações da eficiência técnica e mudança tecnológica.

Uma das principais vantagens da aplicação de análise envoltória dos dados para identificação da fronteira de eficiência está no fato de que as medidas de mudanças de produtividade podem ser analisadas a partir de dois componentes distintos: ‘mudanças na tecnologia’ (decorrente do deslocamento da fronteira no tempo) e ‘mudanças na eficiência técnica’ (desempenho comparativo da unidade analisada).

De outro modo, diz-se que o Índice de *Malmquist* procura captar dois tipos de efeitos: (a) emparelhamento (*catch-up effect*), no qual se analisa o aumento ou redução da eficiência técnica produtiva ao longo do tempo; e (b) deslocamento da fronteira eficiente (*frontier-shift effect*), que reflete os avanços na produtividade de DMU, devido às inovações tecnológicas (ou ainda, gerenciais, legais e administrativas).

Para fins de sistematização do comportamento dos resultados da mudança de eficiência nos municípios, será observado três possibilidades:

- o município piorar seu desempenho de um ano para outro: índice de *Malmquist* <1 ;
- o município melhorar seu desempenho de um ano para outro: índice de *Malmquist* >1 ;
- o município manteve seu desempenho de um ano para outro: índice de *Malmquist* $=1$.

Tabela 24 – Índice Malmquist 2017-2018

	Municípios	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	Abaeté	1,000	0,490	1,000	1,000	0,490
2	Betim	12,009	0,705	1,000	12,009	8,463
3	Biquinhas	1,000	0,489	1,000	1,000	0,489
4	Brumadinho	2,925	0,292	8,798	0,332	0,853
5	Caetanópolis	0,203	0,405	0,641	0,317	0,082
6	Curvelo	0,717	0,397	1,896	0,378	0,285
7	Esmeraldas	1,137	0,766	1,000	1,137	0,870
8	Felixlândia	3,941	0,327	25,296	0,156	1,291
9	Florestal	1,446	0,428	2,737	0,528	0,619
10	Fortuna de Minas	2,237	0,316	3,000	0,746	0,707
11	Igarapé	0,206	0,779	1,000	0,206	0,160
12	Juatuba	1,080	0,882	1,000	1,080	0,952
13	Maravilhas	1,810	0,370	0,473	3,831	0,670
14	Mário Campos	1,408	0,818	2,461	0,572	1,151
15	Mateus Leme	1,261	0,847	1,000	1,261	1,068
16	Morada Novas de Minas	3,641	0,400	3,012	1,209	1,457
17	Paineiras	21,385	0,429	17,000	1,258	9,170
18	Papagaios	2,844	0,351	3,111	0,914	1,000
19	Pará de Minas	0,309	0,529	1,000	0,309	0,163
20	Paraopeba	0,139	0,441	0,162	0,857	0,061
21	Pequi	1,904	0,380	1,789	1,064	0,723
22	Pompéu	0,157	0,459	0,920	0,171	0,072
23	São Gonçalo do Abaeté	1,822	0,589	1,000	1,822	1,073
24	São Joaquim de Bicas	1,000	2,603	1,000	1,000	2,603
25	São José da Varginha	1,428	0,390	0,361	3,951	0,557
26	Três Marias	16,002	1,160	13,567	1,179	18,569

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados Índice de *Malmquist* para os exercícios de 2017-2018 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus indicadores correspondentes a evolução de: mudança de eficiência técnica (effch) - relativa a retorno constante de escala, modelo CRS; mudança tecnológica (techch); mudança de eficiência técnica pura (pech) - relativa ao retorno variável de escala, modelo VRS; mudança de eficiência de escala (sech); e mudança de produtividade de fator (tfpch).

A título exemplificativo, a unidade decisória de Paraopeba, item 20, alcançou um índice de mudança de eficiência técnica de 0,139 indicando, portanto, que esse município apresentou uma redução de sua eficiência técnica para o período.

Observou-se que, no período de 2017-2018, foi atribuído aumento ou mudança de tecnologia em 7,69% das unidades da amostra – São Joaquim de Bicas e Três Marias - inferindo que, para esses municípios, houve registro de deslocamento da fronteira de eficiência no tempo de referência.

Quanto a eficiência técnica, ocorreu que 23,07% dos municípios de amostra – Paraopeba, Pompéu, Caetanópolis, Igarapé, Pará de Minas e Curvelo - obtiveram indicador de *Malmquist* abaixo de “1”, sinalizando deterioração da eficiência dos investimentos para o período de 2017-2018.

A razão de 11,53% dos municípios de amostra – São Joaquim de Bicas, Biquinhas e Abaeté - obtiveram indicador de *Malmquist* igual a “1”, sinalizando manutenção da eficiência dos investimentos para o período de 2017-2018.

Por fim, 65,38% dos municípios de amostra – 17 unidades decisórias: Juatuba, Esmeraldas, Mateus Leme, Mário Campos, São José da Varginha, Florestal, Maravilhas, São Gonçalo do Abaeté, Pequi, Fortuna de Minas, Papagaios, Brumadinho, Morada Novas de Minas, Felixlândia, Betim, Três Marias e Paineiras - obtiveram indicador de *Malmquist* maior a “1”, sinalizando incremento da eficiência dos investimentos nas funções de gestão ambiental para o período de 2017-2018.

Interpretando os dados indicadores de *Malmquist* da pesquisa, numa análise evolutiva para dos exercícios 2017 e 2018, tem-se que grande parte dos municípios da amostra, antes da ocorrência do desastre de Brumadinho-MG, apresentavam incremento de eficiência dos investimentos nas funções de gestão ambiental para o período. Essa evolução retrata um cenário de efetividade de projetos, com efeito, revela que esses entes governamentais possam ter colocado em prática suas políticas públicas nas ações que concerne o aspecto ambiental. Em linha de entendimento com os estudos de Santos (2016).

4.12 – Resultados Índice *Malmquist* 2018-2019

Tabela 25 – Índice *Malmquist* 2018-2019

	Municípios	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	Abaeté	0,531	0,209	0,553	0,960	0,111
2	Betim	0,969	0,169	1,000	0,969	0,164
3	Biquinhas	1,000	0,739	1,000	1,000	0,739
4	Brumadinho	3,925	0,189	8,471	0,463	0,743
5	Caetanópolis	1,356	0,688	0,383	3,537	0,933
6	Curvelo	6,041	0,310	1,000	6,041	1,874
7	Esmeraldas	0,948	0,583	0,845	1,122	0,553
8	Felixlândia	5,964	0,161	1,016	5,871	0,957
9	Florestal	2,617	0,228	1,000	2,617	0,596
10	Fortuna de Minas	2,443	0,448	3,236	0,755	1,095

11	Igarapé	4,855	0,138	1,000	4,855	0,668
12	Juatuba	1,000	0,992	1,000	1,000	0,992
13	Maravilhas	2,499	0,335	0,765	3,265	0,837
14	Mário Campos	5,237	0,137	3,242	1,616	0,717
15	Mateus Leme	0,453	0,321	0,463	0,978	0,145
16	Morada Novas de Minas	1,768	0,279	1,779	0,993	0,493
17	Paineiras	1,032	0,996	1,000	1,032	1,027
18	Papagaios	4,019	0,329	4,043	0,994	1,323
19	Pará de Minas	3,236	0,318	1,000	3,236	1,029
20	Paraopeba	0,006	0,356	0,940	0,007	0,002
21	Pequi	2,610	0,211	1,957	1,333	0,550
22	Pompéu	1,488	0,315	1,087	1,369	0,469
23	São Gonçalo do Abaeté	0,008	0,144	0,171	0,049	0,001
24	São Joaquim de Bicas	1,000	0,267	1,000	1,000	0,267
25	São José da Varginha	4,975	0,177	0,884	5,625	0,883
26	Três Marias	0,910	0,167	1,000	0,910	0,152

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados Índice de *Malmquist* para os exercícios de 2018-2019 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus indicadores correspondentes a evolução de: mudança de eficiência técnica (effch) - relativa a retorno constante de escala, modelo CRS; mudança tecnológica (techch); mudança de eficiência técnica pura (pech) - relativa ao retorno variável de escala, modelo VRS; mudança de eficiência de escala (sech); e mudança de produtividade de fator (tfpch).

A título exemplificativo, a unidade decisória de Paineiras, item 17, alcançou um índice de mudança tecnológica de 0,0,996 indicando, portanto, que esse município apresentou uma redução de sua eficiência tecnológica para o período.

Observa-se que, no período de 2018-2019, não foi atribuído aumento ou mudança de tecnologia às unidades decisórias inferindo que, para os municípios da amostra, não houve registro de deslocamento da fronteira de eficiência no tempo de referência.

Quanto a eficiência técnica, ocorreu que 26,92% dos municípios de amostra – Paraopeba, São Gonçalo do Abaeté, Mateus Leme, Abaeté, Três Marias, Esmeraldas e Betim - obtiveram indicador de *Malmquist* abaixo de “1”, sinalizando deterioração da eficiência dos investimentos para o período de 2018-2019.

A razão de 11,53% dos municípios de amostra – São Joaquim de Bicas, Biquinhas e Juatuba - obtiveram indicador de *Malmquist* igual a “1”, sinalizando manutenção da eficiência dos investimentos para o período de 2018-2019.

Por fim, 61,53% dos municípios de amostra – 16 unidades decisórias: Paineiras, Caetanópolis, Pompéu, Morada Novas de Minas, Fortuna de Minas, Maravilhas, Pequi, Florestal, Pará de Minas, Brumadinho, Papagaios, Igarapé, São José da Varginha, Mário Campos, Felixlândia e Curvelo - obtiveram indicador de *Malmquist* maior a “1”, sinalizando incremento da eficiência dos investimentos nas funções de gestão ambiental para o período de 2018-2019.

Numa interpretação evolutiva do indicador de *Malmquist* calculado para os anos de 2018 e 2019 observou-se que ocorreu uma manutenção relativa (65% para 62%) daquelas unidades decisórias que se apresentavam com indicação de incremento da eficiência dos seus investimentos, bem como aqueles que indicaram deterioração e manutenção desse índice.

Ao passo que, em análises anteriores concernentes a situação posicional da aplicação dos recursos, observou-se um decréscimo de municípios que apresentavam baixa eficiência, refletindo uma situação positiva para a gestão dos recursos aplicados. Outrossim verificou-se que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG, em anos anteriores da ocorrência do acidente, apresentavam indicação de evolução na efetividade da administração dos recursos de gestão ambiental.

4.13 – Resultados Índice *Malmquist* 2019-2020

Tabela 26 – Índice *Malmquist* 2019-2020

	Municípios	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	Abaeté	1.343	0.555	1.296	1.036	0.746
2	Betim	1.032	0.666	1.000	1.032	0.688
3	Biquinhas	1.000	0.414	1.000	1.000	0.414
4	Brumadinho	6.494	1.979	1.000	6.494	12.854
5	Caetanópolis	1.285	0.420	1.376	0.934	0.539
6	Curvelo	0.002	0.708	0.647	0.003	0.001
7	Esmeraldas	1.237	0.937	1.183	1.046	1.159
8	Felixlândia	1.063	0.529	0.867	1.226	0.563
9	Florestal	1.290	0.624	0.482	2.676	0.806
10	Fortuna de Minas	0.690	0.480	0.369	1.868	0.331
11	Igarapé	0.442	0.549	0.584	0.757	0.243
12	Juatuba	0.942	0.683	1.000	0.942	0.643

13	Maravilhas	0.983	0.606	0.828	1.187	0.595
14	Mário Campos	0.589	0.576	0.516	1.141	0.339
15	Mateus Leme	0.899	0.503	0.878	1.023	0.452
16	Morada Novas de Minas	1.031	0.322	1.374	0.750	0.332
17	Paineiras	1.000	1.262	1.000	1.000	1.262
18	Papagaios	0.535	0.808	0.558	0.959	0.432
19	Pará de Minas	1.000	0.669	1.000	1.000	0.669
20	Paraopeba	1,271.932	1.185	6.568	193.665	1,507.234
21	Pequi	1.757	0.577	1.214	1.447	1.013
22	Pompéu	1.666	0.393	1.000	1.666	0.655
23	São Gonçalo do Abaeté	902.692	0.578	3.960	227.974	522.102
24	São Joaquim de Bicas	1.000	1.353	1.000	1.000	1.353
25	São José da Varginha	0.603	0.588	0.772	0.781	0.355
26	Três Marias	1.099	0.739	1.000	1.099	0.812

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados Índice de *Malmquist* para os exercícios de 2019-2020 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus indicadores correspondentes a evolução de: mudança de eficiência técnica (effch) - relativa a retorno constante de escala, modelo CRS; mudança tecnológica (techch); mudança de eficiência técnica pura (pech) - relativa ao retorno variável de escala, modelo VRS; mudança de eficiência de escala (sech); e mudança de produtividade de fator (tfpch).

A título exemplificativo, a unidade decisória de Paraopeba, item 20, alcançou um índice de mudança de eficiência técnica de 0,139 indicando, portanto, que esse município apresentou uma redução de sua eficiência técnica para o período.

Observa-se que, no período de 2019-2020, 15,38% das unidades decisórias (4 municípios – Paraopeba, Paineiras, São Joaquim de Bicas e Brumadinho) foi atribuído aumento ou mudança de tecnologia, inferindo que, para essas firmas, houve registro de deslocamento da fronteira de eficiência no tempo de referência.

Quanto a eficiência técnica, ocorreu que 34,61% dos municípios de amostra – Curvelo, Igarapé, Papagaios, Mário Campos, São José da Varginha, Fortuna de Minas, Mateus Leme, Juatuba e Maravilhas - obtiveram indicador de *Malmquist* abaixo de “1”, sinalizando deterioração da eficiência dos investimentos para o período de 2019-2020.

A razão de 15,38% dos municípios de amostra – Biquinhas, Pará de Minas, Paineiras e São Joaquim de Bicas - obtiveram indicador de *Malmquist* igual a “1”, sinalizando manutenção da eficiência dos investimentos para o período de 2019-2020.

Por fim, 50% dos municípios de amostra – 13 unidades decisórias; Morada Novas de Minas, Betim, Felixlândia, Três Marias, Esmeraldas, Caetanópolis, Florestal, Abaeté, Pompéu, Pequi, Brumadinho, São Gonçalo do Abaeté e Paraopeba- obtiveram indicador de *Malmquist* maior a “1”, sinalizando incremento da eficiência dos investimentos em gestão ambiental para o período de 2019-2020.

4.14 – Resultados da eficiência após o desastre de Brumadinho-MG

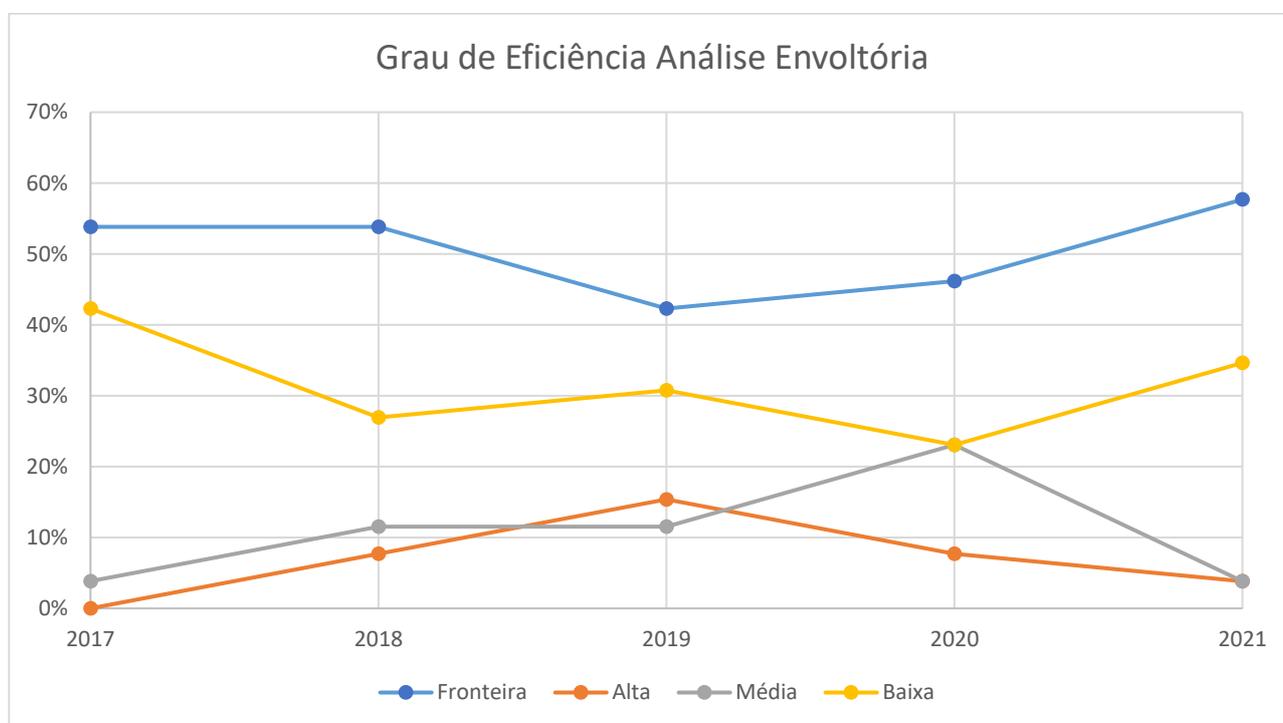


Figura 07 – Evolução grau de eficiência

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos dados dos graus de eficiência calculado para os municípios da amostra, considerando os aportes orçamentários nas rubricas relacionadas a gestão ambiental dos exercícios financeiros correspondentes, pode-se elaborar a evolução desse indicador no tempo e observar seu comportamento nos períodos anteriores ao desastre de Brumadinho-MG, no ano de sua ocorrência e em exercícios posteriores ao acidente.

Observado uma redução de unidades decisórias (2017-2018) que se encontravam na situação de baixo nível de adequação aos quesitos de gestão ambiental, revelou que esses entes possam ter colocado em prática suas políticas públicas nas ações que concerne o aspecto ambiental. Por conseguinte, os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG, em anos anteriores da ocorrência do acidente, apresentando sinais de melhora na efetividade da gestão dos recursos de gestão ambiental.

Ademais, numa inferência evolutiva do grau de eficiência calculado para os anos de 2017 e 2018 foi verificado uma manutenção daquelas unidades consideradas eficientes quanto a aplicação dos recursos. Não obstante, observou-se um decréscimo de municípios que apresentavam baixa eficiência. Ocorre, portanto, que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG, em anos anteriores da ocorrência do acidente, apresentavam indicação de evolução na efetividade da administração dos recursos de gestão ambiental.

No período de 2019, ano da ocorrência do desastre ambiental da barragem de Brumadinho/MG, registrou um incremento daqueles municípios que necessitavam evoluir no que tange as avaliações das políticas de gestão ambiental, mensurado pelo IEGM-TCE/MG Em relação ao ano de 2018, houve um acréscimo no volume de recursos aplicados indicando que os municípios alocaram seus esforços financeiros em rubrica de gestão ambiental, sugerindo, portanto, que diante evento do desastre ocorrido no exercício corrente, houve sinalização reparatória nos orçamentos municipais.

Esta conjuntura, de incremento no orçamentos de um exercício para outro, frente ao desastre, vai ao encontro do estudo de Leppänen et al.(2015), Alfieri et al. (2016), Barthel e Neumayer, (2012) e Unterberger (2018) para quem os custos absorvidos pelos entes públicos, em decorrência de desastres ambientais, têm aumentado gradualmente e há expectativas de que aumente ainda mais com o passar do tempo.

Por fim, na inferência evolutiva do grau de eficiência para os exercícios de 2018 e 2019 registrou-se uma involução dos municípios considerados eficientes quanto aplicação dos recursos públicos diante do indicador de efetividade da gestão ademais, os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG perderam grau de eficiência da aplicação daqueles recursos que serviriam para reparar os danos advindos do acidente.

4.15 – Resultados Índice *Malmquist* 2020-2021**Tabela 27** – Índice *Malmquist* 2020-2021

	Municípios	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	Abaeté	0,205	9,000	0,614	0,334	1,847
2	Betim	0,235	0,442	1,000	0,235	0,104
3	Biquinhas	1,000	2,966	1,000	1,000	2,966
4	Brumadinho	1,000	60,694	1,000	1,000	60,694
5	Caetanópolis	0,116	12,976	0,144	0,807	1,508
6	Curvelo	19,445	12,073	1,545	12,587	234,761
7	Esmeraldas	0,010	0,584	0,036	0,284	0,006
8	Felixlândia	0,102	10,745	1,382	0,074	1,092
9	Florestal	0,008	27,493	0,025	0,306	0,207
10	Fortuna de Minas	0,055	39,205	0,073	0,753	2,144
11	Igarapé	0,066	57,233	1,111	0,059	3,761
12	Juatuba	1,059	0,089	1,000	1,059	0,094
13	Maravilhas	0,095	14,220	3,341	0,028	1,344
14	Mário Campos	0,123	12,967	0,416	0,297	1,600
15	Mateus Leme	0,424	14,520	2,458	0,172	6,156
16	Morada Novas de Minas	0,013	18,631	0,033	0,392	0,245
17	Paineiras	0,909	3,146	1,000	0,909	2,860
18	Papagaios	0,066	9,062	0,131	0,503	0,597
19	Pará de Minas	0,058	11,959	1,000	0,058	0,691
20	Paraopeba	0,014	0,586	0,279	0,049	0,008
21	Pequi	0,003	321,783	4,007	0,001	1,008
22	Pompéu	0,042	28,417	1,000	0,042	1,206
23	São Gonçalo do Abaeté	0,044	23,384	1,475	0,030	1,022
24	São Joaquim de Bicas	1,000	0,076	1,000	1,000	0,076
25	São José da Varginha	0,031	30,239	0,030	1,018	0,932
26	Três Marias	0,002	459,592	1,000	0,002	1,095

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de dados Índice de *Malmquist* para os exercícios de 2020-2021 contém a amostra dos municípios, entendidos como unidades decisórias, ordenados de maneira alfabética e numerados. Cada qual acompanhado de seus indicadores correspondentes a evolução de: mudança de eficiência técnica (effch) - relativa a retorno constante de escala, modelo CRS; mudança tecnológica (techch);

mudança de eficiência técnica pura (pech) - relativa ao retorno variável de escala, modelo VRS; mudança de eficiência de escala (sech); e mudança de produtividade de fator (tfpch).

A título exemplificativo, a unidade decisória de Brumadinho, item 4, alcançou um índice de mudança de tecnologia de 60,69 indicando, portanto, que houve registro de deslocamento da fronteira de eficiência no tempo de referência para esta unidade decisória.

Observa-se que, no período de 2020-2021, 80,77% das unidades decisórias (21 municípios – Biquinhas, Paineiras, Abaeté, Papagaios, Felixlândia, Pará de Minas, Curvelo, Mário Campos, Caetanópolis, Maravilhas, Mateus Leme, Morada Novas de Minas, São Gonçalo do Abaeté, Florestal, Pompéu, São José da Varginha, Fortuna de Minas, Igarapé, Brumadinho, Pequi e Três Marias) foi atribuído aumento ou mudança de tecnologia, inferindo que, para essas firmas, houve registro de deslocamento da fronteira de eficiência no tempo de referência.

Quanto a eficiência técnica, ocorreu que 80,77% dos municípios de amostra – Três Marias, Pequi, Florestal, Esmeraldas, Morada Novas de Minas, Paraopeba, São José da Varginha, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté, Fortuna de Minas, Pará de Minas, Papagaios, Igarapé, Maravilhas, Felixlândia, Caetanópolis, Mário Campos, Abaeté, Betim, Mateus Leme e Paineiras - obtiveram indicador de *Malmquist* abaixo de “1”, sinalizando deterioração da eficiência dos investimentos para o período de 2020-2021.

A razão de 11,53% dos municípios de amostra – São Joaquim de Bicas, Biquinhas e Brumadinho - obtiveram indicador de *Malmquist* igual a “1”, sinalizando manutenção da eficiência dos investimentos para o período de 2020-2021.

Por fim, 7,69% dos municípios de amostra – 2 unidades decisórias; Juatuba e Curvelo - obtiveram indicador de *Malmquist* maior a “1”, sinalizando incremento da eficiência dos investimentos em gestão ambiental para o período de 2020-2021.

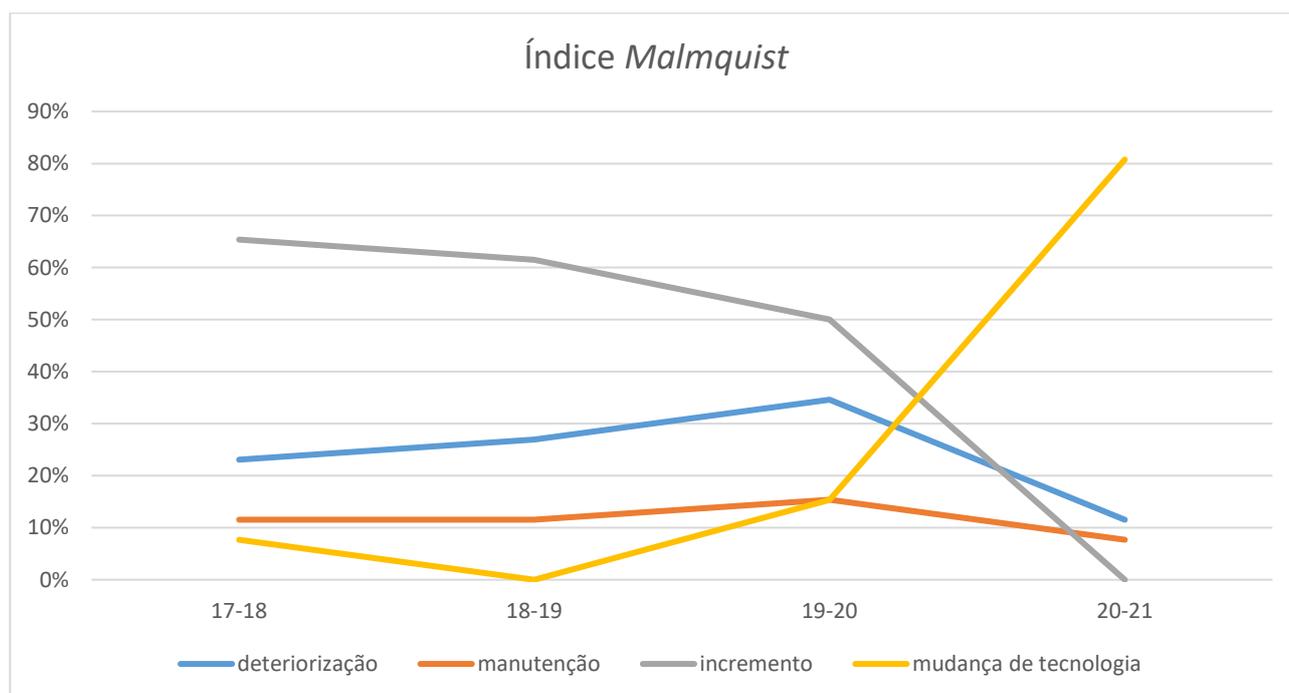


Figura 8 – Evolução Índice de *Malmquist*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Numa interpretação evolutiva do indicador de *Malmquist* calculado para os anos de 2020 e 2021 observou-se que ocorreu um incremento robusto (15% para 81%) daquelas unidades decisórias que apresentaram indicador classificado em mudança de tecnologia, ou seja, municípios com índice de deslocamento da fronteira eficiente, ao qual designa os avanços na produtividade da unidade decisória, conferido às inovações tecnológicas, gerenciais, legais ou administrativas.

Além disso, no período de 2020-2021, anos da pactuação do acordo da Vale S.A. e registros dos recursos reparatórios desse acordo, registrou uma redução substancial (50% para 0%) daqueles municípios que apresentaram classificação incremental para o índice de *Malmquist*.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não há ineditismo na literatura que concerne os efeitos financeiros/orçamentários conferidos nos reportes de entidades públicas em decorrência de desastres ambientais dos quais refletem na política pública adotada para minimizar e restaurar os prejuízos destes eventos revelando, assim, uma reação positiva dos gastos governamentais e uma piora dos orçamentos nacionais em resposta a desastres naturais.

Nessa linha, segue-se o rompimento de barragem I da Mina do Córrego do Feijão da empresa Vale S.A., fato que aconteceu em Brumadinho/-MG no ano de 2019, considerado o maior acidente de trabalho no Brasil em perda de vidas humanas e o segundo maior desastre industrial do século. Como forma de reparação socioambiental e socioeconômica dos danos foram despendidos a título reparatório, pela empresa, o montante de R\$ 3,6 bilhões para o programa de fortalecimento do serviço público, distribuídos a todos os municípios de Minas Gerais.

Faz-se mister o contexto de repasses e alocações de recursos públicos, tornando-se essencial o acompanhamento da aplicação desses recursos destinados a gestão ambiental, o que é importante para que se possa avaliar a eficiência e a eficácia das políticas públicas.

Isso posto, essa pesquisa buscou verificar aqueles municípios que investiram de forma eficiente, bem como identificar os ineficientes e apurar se ocorreu deslocamento desse indicador no tempo e, principalmente, analisar o grau de eficiência dos investimentos nas funções orçamentárias de gestão ambiental nos municípios afetados pelo desastre de Brumadinho-MG.

Da análise dos dados da estatística descritiva para o exercício de 2017, verificou-se que os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho/MG já apresentavam, antes do evento, baixo nível de adequação dos quesitos de gestão ambiental IEGM-TCE\MG. Ademais o cálculo de um desvio padrão mais elevado para os indicadores de efetividade evidenciou que existe distorções de cumprimento dos quesitos do relatório IEGM entre as unidades decisórias da amostra.

Contudo, verificou-se uma redução de unidades decisórias que se encontravam na situação de baixo nível de adequação no exercício de 2018 revelando que esses entes governamentais denotaram ter colocado em prática suas políticas públicas nas ações que concerne o aspecto ambiental e que, portanto, em anos anteriores da ocorrência do acidente, apresentavam sinais de melhora na efetividade da gestão dos recursos orçamentários.

Além disso constatou-se que houve decréscimo no montante de recursos aplicados nas funções orçamentárias de saneamento e gestão ambiental ao passo que, nesse mesmo período, ocorreu uma redução da classe de municípios que se encontravam com baixo nível de adequação ao índice de

efetividade da gestão ambiental. Implica afirmar, portanto, que esses municípios aplicaram melhor o recurso público mesmo com redução do montante dos recursos orçamentários.

Na interpretação evolutiva do grau de eficiência calculado para os anos de 2017 e 2018, utilizando das camadas de iso-eficiência usadas para obter uma forma alternativa de ordenação em DEA (Tavares, 1998; Barr et al., 2000), observou-se que ocorreu uma manutenção relativa daquelas unidades decisórias que se encontravam na fronteira da curva da análise envoltória, ou seja, considerados eficientes quanto aplicação dos recursos públicos diante do indicador de efetividade da gestão ambiental.

No período de 2019, ano da ocorrência do desastre ambiental do rompimento da barragem de Brumadinho/MG apurou-se, nos municípios da amostra, incremento nas rubricas orçamentárias de um exercício para outro, frente ao desastre ambiental, semelhante aos resultados da pesquisa de Leppänen et al.(2015) que encontraram uma reação positiva dos gastos governamentais e uma piora dos orçamentos nacionais em resposta a desastres naturais. Convergem também para os resultados dos estudos de Alfieri et al. (2016), Barthel e Neumayer, (2012) e Unterberger (2018) para quem os custos absorvidos pelos entes públicos, em decorrência de desastres ambientais, têm aumentado gradualmente e há expectativas de que aumente ainda mais com o passar do tempo.

Na interpretação da progressão do grau de eficiência calculado para os anos de 2018 e 2019 verificou-se que ocorreu um declínio daquelas unidades decisórias consideradas eficientes quanto aplicação dos recursos públicos. Pode indicar que, os municípios mais atingidos pelo desastre de Brumadinho-MG perderam grau de eficiência da aplicação daqueles recursos que serviriam para reparar os danos advindos do acidente.

No exercício de 2021, período em que as prefeituras receberam recursos financeiros a título de ressarcimento da Vale S.A., ocorreu um decréscimo daqueles municípios que se encontravam com baixa efetividade nas políticas de gestão pública ambiental, alcançando o menor resultado da série da pesquisa. Foi conferido, ainda, uma manutenção relativa no volume de recursos aplicados nas funções orçamentárias, indicando que os municípios conservaram o volume financeiro alocado nessas rubricas no ano em que receberam recursos financeiros reparatórios da Vale S.A.

Remanesceu, após calculado e analisado os indicadores de eficiência de cada município da amostra, uma análise longitudinal, a verificação do impacto dos recursos investidos por meio da comparação das eficiências valoradas que procura captar efeitos de emparelhamento, no qual se analisa o aumento ou redução da eficiência técnica produtiva ao longo do tempo; e de deslocamento da fronteira eficiente, que reflete os avanços na produtividade das unidades, devido às inovações tecnológicas.

Numa análise evolutiva para dos exercícios 2017 e 2018, deu-se que grande parte dos municípios da amostra, antes da ocorrência do desastre de Brumadinho-MG, apresentavam incremento de eficiência dos investimentos nas funções de gestão ambiental para o período. Após um cenário de manutenção nesse índice (2019-2020) verificou-se que ocorreu um incremento robusto daquelas unidades decisórias que apresentaram indicador classificado em mudança de tecnologia, ou seja, municípios com índice de deslocamento da fronteira eficiente, ao qual designa os avanços na produtividade da unidade decisória, conferido às inovações tecnológicas, gerenciais, legais ou administrativas.

As limitações enfrentadas para execução desse estudo se relacionam aos dados brutos oficiais utilizados para a estruturação da pesquisa e da utilização da ferramenta de análise envoltória de dados para a definições de eficiência dos municípios da amostra.

Para o primeiro, o fato de não se controlar ou conformar os dados que são publicizados e autodeclarados torna a informação fragilizada. Em que pese seja de responsabilidade dos municípios dar transparência e fidedignidade aos documentos de prestação de contas, deve-se considerar a possibilidade daqueles dados não refletirem a real situação do evento.

Mais ainda, pela abrangência do período adotado na pesquisa ultrapassar o mandato político de gestão municipal. Ocorre que, sabidamente, as informações e dados de uma gestão política podem sofrer influência quantitativas de gestões subsequentes.

Ademais, ao considerar como método estatístico a análise envoltória de dados para o alcance dos objetivos propostos assume-se o risco do estudo limitado as variáveis empregadas na pesquisa somente. Não representando, portanto, resultados práticos em que haja verificação de melhorias percebidas pela sociedade, mas somente aos quesitos do questionário.

Por fim, nos exercícios da pactuação do acordo da Vale S.A. e registros dos recursos reparatórios desse acordo, registrou uma redução substancial daqueles municípios que apresentaram classificação incremental para o índice de *Malmquist*.

REFERÊNCIAS

- Acordo Judicial de Reparação (2020). *Acordo judicial para reparação integral relative ao rompimento das barragens B-I, B-IV, e B-IVB/ Córrego do Feijão. Proverso de Mediação SEI n. 0122201-59.2020.8.13.0000 TJMG/CEJUSC 2º Grau*. Recuperado em 18 de abril, 2022, de <https://www.mg.gov.br/sites/default/files/paginas/Minuta%20versao%20final.pdf.pdf>
- Alfieri, L., Dottori, F., Betts, R., Salamon, P., & Feyen, L. (2018). Multi-Model Projections of River Flood Risk in Europe under Global Warming. *Climate (Basel)*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.3390/cli6010006>.
- Azevedo, D. C. B. D., Toledo, G. D. A., Cohen, S. C., Kligerman, D. C., & Cardoso, T. A. D. O. (2020). Desastre de Brumadinho: contribuições para políticas públicas e gestão do saneamento em períodos emergenciais. *Saúde em Debate*, 44, 221-233. <https://doi.org/10.1590/0103-1104202012416>.
- Balaguer-Coll, M. T., Prior, D., & Tortosa-Ausina, E. (2013). Output complexity, environmental conditions, and the efficiency of municipalities. *Journal of Productivity Analysis*, 39(3), 303-324. <https://doi.org/10.1007/s11123-012-0307-x>.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>.
- Barthel, F., & Neumayer, E. (2012). A trend analysis of normalized insured damage from natural disasters. *Climatic Change*, 113(2), 215-237. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0331-2>.
- Bertoli, A. L., & Ribeiro, M. D. S. (2006). Passivo ambiental: estudo de caso da Petróleo Brasileiro SA-Petrobrás. A repercussão ambiental nas demonstrações contábeis, em consequência dos acidentes ocorridos. *Revista de Administração Contemporânea*, 10, 117-136. <https://doi.org/10.1590/S1415-65552006000200007>.
- Barr, R. S., Durchholz, M. L., & Seiford, L. (2000). Peeling the DEA onion: Layering and rank-ordering DMUs using tiered DEA. *Southern Methodist University Technical Report*, 5, 1-24.
- Bevilaqua, J. F. L. (2019). Análise multicritério para determinação das possíveis causas do rompimento da barragem de Brumadinho. <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2342>
- Bezerra, D., Libonati, J., Macedo, M., Ribeiro, M., & Ribeiro, M. (2018). Análise da Relação entre Receitas e Despesas Públicas e o Desenvolvimento Educacional dos Municípios Brasileiros Baseada no Índice FIRJAN. *Enfoque: Reflexão Contábil*, 37(2), 89. DOI: 10.4025/enfoque.v37i2.37345.

- Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1393-1414. <https://doi.org/10.2307/2232257>.
- Cevik, M. S., & Huang, G. (2018). How to manage the fiscal costs of natural disasters. *International Monetary Fund*.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer science & business media.
- Cordero, J. M., Pedraja-Chaparro, F., Pisaflores, E. C., & Polo, C. (2017). Efficiency assessment of Portuguese municipalities using a conditional nonparametric approach. *Journal of Productivity Analysis*, 48(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s11123-017-0500-z>.
- Costa, C. C. D. M., Ferreira, M. A. M., Braga, M. J., & Abrantes, L. A. (2015). Fatores associados à eficiência na alocação de recursos públicos à luz do modelo de regressão quantílica. *Revista de Administração Pública*, 49(5), 1319-1347. <https://doi.org/10.1590/0034-7612130868>.
- De Oliveira, V. H. (2019). Natural disasters and economic growth in Northeast Brazil: evidence from municipal economies of the Ceará State. *Environment and Development Economics*, 24(3), 271-293. <https://doi.org/10.1017/S1355770X18000517>.
- De Oliveira, V. H., Santos de Franca, J. M., & Martins, F. M. V. (2020). The influence of local development on the impact of natural disasters in Northeast Brazil: The case of droughts and floods in the state of Ceará. *Papers in Regional Science*, 99(4), 1019-1043. <https://doi.org/10.1111/pirs.12519>.
- D'Inverno, G., Carosi, L., & Ravagli, L. (2018). Global public spending efficiency in Tuscan municipalities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.006>.
- Enes, G. L. D. & Santos, H. L. (2021). Levantamento histórico dos principais desastres ambientais no Brasil. <http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/6850>.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Faria, F. P., Jannuzzi, P. D. M., & Silva, S. J. D. (2008). Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no estado do Rio de Janeiro. *Revista de Administração Pública*, 42, 155-177. <https://doi.org/10.1590/S0034-76122008000100008>.

- Farrell, M. J. (1957). *The measurement of productive efficiency*. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Freitas Carneiro, A., & de Souza, J. A. (2021). Eficiência na Gestão Ambiental como Função de Despesa Pública em Rondônia. *Revista Controladoria e Gestão–RCG*, 2(1), 259-276. ISSN 2675-2085.
- Freitas, C. M. D., Barcellos, C., Asmus, C. I. R. F., Silva, M. A. D., & Xavier, D. R. (2019). Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. *Cadernos de Saúde Pública*, 35. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00052519>.
- Freitas, C. M. D., Barcellos, C., Heller, L., & Luz, Z. M. P. D. (2019). Desastres em barragens de mineração: lições do passado para reduzir riscos atuais e futuros. *Epidemiologia e serviços de saúde*, 28. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742019000100020>.
- Freitas, C. M., & Silva, M. A. D. (2019). Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, 17(1), 21-29. DOI: 10.5327/Z1679443520190405.
- Gratiela Georgiana Noja, Mirela Cristea, Eleftherios Thalassinou, & Marta Kadłubek. (2021). Interlinkages between Government Resources Management, Environmental Support, and Good Public Governance. *Advanced Insights from the European Union*. Resources (Basel), 10(5), 41. DOI: 10.3390/resources10050041.
- Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237-250. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(89\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0305-0483(89)90029-7).
- Gomes, E. G., MELLO, J. D., & Lins, M. E. (2003). Busca sequencial de alvos intermediários em modelos DEA com soma de outputs constante. *Embrapa Territorial*. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1022608>
- IGAM (2022) Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Informativo nº 3 - Informativo diário dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 no complexo da mina Córrego do Feijão da mineradora Vale S. A. no município de Brumadinho - Minas Gerais. Igam/Copasa/CPRM/ANA. [S.l.], p. 25, 2019. Recuperado em 14 de julho de 2022, de <http://www.igam.mg.gov.br/>.
- Instituto Rui Barbosa–IRB (2022): *O que é o IEG-M?* Recuperado em 18 de abril, 2022, de <https://irbcontas.org.br/iegm/>.
- Kousky, C., & Kunreuther, H. (2018). Risk management roles of the public and private sector. *Risk Management and Insurance Review*, 21(1), 181-204. <https://doi.org/10.1111/rmir.12096>.

- Lazzarotti, A., Pedrassani, D., Ramos, F. M., & Favretto, J. (2021). Eficiência na aplicação de recursos públicos destinados à gestão ambiental dos municípios de Santa Catarina. *Revista Reuna*, 26(2), 69-90. <http://revistas.una.br/index.php/reuna/article/view/1199>
- Lei Estadual nº 23.830 (2021). Autoriza a abertura de crédito suplementar ao orçamento fiscal do Estado, com recursos recebidos em decorrência do termo judicial de reparação de impactos socioeconômicos e socioambientais que especifica. <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=23830&comp=&ano=2021>
- Lei nº 9.605, 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm.
- Leppänen S, Solanko L, Kosonen R (2015) The impact of climate change on regional government expenditures: evidence from Russia. *Environ Resour Econ October*, 1–26. <http://doi:10.1007/s10640-015-9977-y>.
- Marconato, M., Parré, J., & Coelho, M. (2021). Dinâmica financeira dos municípios brasileiros. *Revista De Administração Pública* (Rio De Janeiro), 55(2), 378-394. <https://doi.org/10.1590/0034-761220200041>.
- Martins, G. D. A., & Theóphilo, C. R. (2009). Metodologia da investigação científica. São Paulo: Atlas, 143-164.
- Mariano, E. B., Almeida, M. R., & do Nascimento Rebelatto, D. A. (2009). Eficiência pela técnica dos números índices: uma aplicação em aeroportos. XVI Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)
- Marshall, J. J. (2017). Rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil e no Canadá: uma análise do comportamento corporativo. *Caderno Eletrônico de Ciências Sociais: Cadececs*, 5(1), 27-46. <https://doi.org/10.24305/cadececs.v5i1.2017.17793>.
- Masiero, G., & Santarossa, M. (2020). Earthquakes, grants, and public expenditure: How municipalities respond to natural disasters. *Journal of Regional Science*, 60(3), 481-516. DOI: 10.1111/jors.12462
- Miao, Q., Hou, Y., & Abrigo, M. (2018). Measuring the financial shocks of natural disasters: A panel study of US States. *National Tax Journal*, 71(1), 11-44. <https://doi.org/10.17310/ntj.2018.1.01>.
- Miao, Q., Chen, C., Lu, Y., & Abrigo, M. (2020). Natural Disasters and Financial Implications for Subnational Governments: Evidence from China. *Public Finance Review*, 48(1), 72-101. DOI: 10.1177/1091142119884710.

- Minas Gerais (2022). *Entenda o Acordo Judicial de Reparação*. Recuperado em 18 de abril, 2022, de <https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/pagina/entenda-o-acordo-judicial>.
- Munich Re Group (2021). *Hurricanes, cold waves, tornadoes: Weather disasters in USA dominate natural disaster losses in 2021*. Recuperado em 18 de abril, 2022, de <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2022/natural-disaster-losses> 2021.html?utm_source=twitter&utm_medium=munichre&utm_term=33191170-af3c-460e-a47a-f02663b07752&utm_campaign=general.
- Majumdar, S. (2017). Performance analysis of listed companies in the UAE-Using DEA Malmquist index approach. *American Journal of Operations Research*, 7, 133-151. <https://ssrn.com/abstract=3345138>.
- Milanez, B., Magno, L., & Pinto, R. G. (2019). Da política fraca à política privada: o papel do setor mineral nas mudanças da política ambiental em Minas Gerais, Brasil. *Cadernos de saúde pública*, 35, e00051219.
- Miranda, J. (2006). Curso de direito internacional público. Principia.
- Matias-Pereira, J. (2018). Administração pública. Foco nas Instituições e Ações Governamentais. 5a ed. rev. atual. São Paulo: Atlas.
- Matei, A., & Savulescu, C. (2009). Enhancing the efficiency of local government in the context of reducing the administrative expenditures. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1396688>
- Mattos, E., & Terra, R. (2015). Conceitos sobre eficiência. *Avaliação da qualidade do gasto público e mensuração da eficiência*. Brasília: Secretaria do Tesouro Nacional, 463.
- November, V. (2002). Les territoires du risque: le risque comme objet de réflexion géographique (No. BOOK). Peter Lang. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.1319>.
- Noy, I., & Vu, T. B. (2010). The economics of natural disasters in a developing country: The case of Vietnam. *Journal of Asian Economics*, 21(4), 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2010.03.002>.
- Peña, C. R. (2008). Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). *Revista de Administração Contemporânea*, 12(1), 83-106. <https://doi.org/10.1590/S1415-65552008000100005>.
- Ramanathan, R. (2007). Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. *Supply Chain Management: an international journal*. <https://doi.org/10.1108/13598540710759772>.

- Raschky, P. A (2008).: Institutions and the losses from natural disasters, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 627–634. <https://doi.org/10.5194/nhess-8-627-2008>, 2008.
- Raei, B., Yousefi, M., Rahmani, K., Afshari, S., & Ameri, H. (2017). Patterns of productivity changes in hospitals by using Malmquist–DEA Index: a panel data analysis (2011–2016). *Australasian Medical Journal (Online)*, 10(10), 856-864. DOI:10.21767/AMJ.2017.3094.
- Rebelo, J. (2000). Medição da evolução da produtividade total dos factores: O Índice de Malmquist. *Gestão e desenvolvimento*, (9), 43-79. <https://doi.org/10.7559/gestaoedesenvolvimento.2000.7>.
- Rodrigues, A. D. C., Moreira, M. A., & Colares, A. C. V. (2016). Avaliação da eficiência da aplicação dos royalties da mineração no desenvolvimento social dos municípios mineiros. *Revista Ambiente Contábil* -, 8(2), 173-189.
- Santos, R. R. D., & Rover, S. (2019). Influência da governança pública na eficiência da alocação dos recursos públicos. *Revista de Administração Pública*, 53, 732-752. <https://doi.org/10.1590/0034-761220180084>.
- SANTOS, Y. D. D. (2016). Análise da eficiência dos Gastos Públicos Municipais em ensino fundamental no Sertão Potiguar. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1676>
- Santos, R. S. P., & Wanderley, L. J. (2016). Dependência de barragem, alternativas tecnológicas e a inação do estado: repercussões sobre o monitoramento de barragens e o licenciamento do Fundão. *Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco/Vale/BHP*, 2, 87-137.
- Saurin, V., Lopes, A. L. M., da Costa Junior, N. C. A., & Gonçalves, C. A. (2013). Medidas de eficiência e retorno de investimento: um estudo nas distribuidoras de energia elétrica brasileiras com base em Data Envelopment Analysis, Índice de Malmquist e ROI. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, 6(1), 25-38. DOI: 10.5902/198346597845.
- Silva, M. A. D., Freitas, C. M. D., Xavier, D. R., & Romão, A. R. (2020). Sobreposição de riscos e impactos no desastre da Vale em Brumadinho. *Ciência e Cultura*, 72(2), 21-28. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000200008>
- Stefko, R., Gavurova, B., & Korony, S. (2016). Efficiency measurement in healthcare work management using Malmquist indices. *Polish journal of management studies*, 13. DOI: [10.17512/pjms.2016.13.1.16](https://doi.org/10.17512/pjms.2016.13.1.16).
- Tavares, A. R. (2021). Impacto dos desastres naturais sobre as finanças municipais no Ceará: uma análise com dados em painel para o período 2003-2016. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/62412>.

Tavares, G. (1998). Data envelopment analysis: the basic models and their main extensions. A model to analyse the modernisation of telecommunication services in OECD countries. Coimbra: Universidade de Coimbra.

TCE/MG (2020). **Fiscalizando com o TCE, Minas Transparente**. Recuperado em 18 de abril, 2022, de <https://fiscalizandocomtce.tce.mg.gov.br/#/inicio>.

Unterberger, C. (2018). How flood damages to public infrastructure affect municipal budget indicators. *Economics of disasters and climate change*. 2(1), 5-20. <https://doi.org/10.1007/s41885-017-0015-0>.

Vale S/A (2022). **Brumadinho**. Recuperado em 18 de abril, 2022, de <http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/Brumadinho.aspx>.