



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ELÉTRICA

Patrícia Cini

**Aplicação da Análise Envoltória de Dados para apoiar a Gestão de Riscos e
Desastres: Um Estudo de Caso da Utilização dos Recursos Governamentais
pelos Estados Brasileiros**

Florianópolis
2024

Patrícia Cini

Aplicação da Análise Envoltória de Dados para apoiar a Gestão de Riscos e Desastres: Um Estudo de Caso da Utilização dos Recursos Governamentais pelos Estados Brasileiros

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Produção Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, habilitação Produção.

Orientador: Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Cini, Patrícia

Aplicação da Análise Envoltória de Dados para apoiar a
Gestão de Riscos e Desastres : Um Estudo de Caso da
Utilização dos Recursos Governamentais pelos Estados
Brasileiros / Patrícia Cini ; orientador, Ricardo
Villarroel Dávalos , 2024.

130 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Elétrica,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Elétrica. 2. Análise
Envoltória de Dados. 3. Avaliação de Eficiência. 4. Gastos
Públicos. 5. Gestão de Riscos e Desastres. I. Villarroel
Dávalos , Ricardo . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Elétrica.
III. Título.

Patrícia Cini

Aplicação da Análise Envoltória de Dados para apoiar a Gestão de Riscos e Desastres: Um Estudo de Caso da Utilização dos Recursos Governamentais pelos Estados Brasileiros

O presente trabalho em nível de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado, em 13 de dezembro de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Sérgio Fernando Mayerle Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Fabiana Santos Lima Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica com habilitação em Produção.

Coordenação do Programa de Graduação

Prof. Ricardo Villarroel Dávalos Dr.
Orientador

Florianópolis, 2024.

Dedico este trabalho à minha família e a todos que contribuíram nessa
jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e por todas as oportunidades que surgiram ao longo da minha caminhada. Agradeço a Santa Rita por ter guiado e iluminado meus caminhos, por ter sido amparo em meio as dificuldades e por sempre ter me dado força e coragem para perseguir meus objetivos.

Agradeço ao meu pai, Lino Cini, por sempre ter me incentivado a estudar, por sempre ter sido exemplo e por sempre ter acreditado em mim. Ele foi o maior idealizador da minha formatura, meio maior mestre, minha maior força. Mesmo não estando presente fisicamente, sei que espiritualmente, se faz presente todos os dias em minha caminhada. Meu amor por ele ultrapassa a finitude da vida.

Agradeço a minha mãe, Iraci Cini, que nunca soltou a minha mão e que sempre foi meu exemplo de força e de resiliência. Minha mãe sempre apoiou meus estudos, abriu mão de muitas coisas para que eu pudesse realizar meus sonhos e tenho certeza de que jamais faria diferente. Ela passou as noites em claro comigo, revisando conteúdos para as provas; leu e releu minhas redações de vestibular incansavelmente. Esteve presente em todas as reuniões de pais da escola, virou as noites tomando conteúdos e fazendo perguntas que me auxiliassem a memorizar a matéria (mesmo sem muitas vezes entender o que perguntava). Me levou e me buscou de todos os cursos que fiz, acompanhou toda minha trajetória e nunca soltou a minha mão, vibrando a cada conquista e enxugando minhas lágrimas nos momentos de dificuldades. Obrigada por sempre ter sido escuta ativa e por sempre ter acreditado em mim.

Agradeço ao meu namorado, Felipe Augusto Tondo, que é amor, resiliência, paciência e amparo. Obrigada por ter apoiado minhas escolhas; por ter aguentado meus choros, desabafos e incertezas; por ter me feito rir nos momentos de tristeza; por ter me mostrado a luz em meio as escuridões; por me dar a coragem em meio ao medo. Obrigada por me fazer rir e por tornar os meus dias mais leves. Obrigada pelos conselhos e por todos os ensinamentos. Obrigada por ser sempre presente, mesmo apesar da distância; por vibrar com minhas conquistas e me dar forças para superar os momentos de dificuldade. Em meio a todas incertezas da vida, tu sempre foste porto seguro. Te amo.

Agradeço a minha dinda, que está presente na minha vida desde o dia em que nasci, acompanhando meus primeiros passos, minha alfabetização e minhas

apresentações de escola. Ela que esteve sempre presente, perguntando sobre as disciplinas e se interessando com a minha graduação. Ela que se emocionou quando consegui meu primeiro estágio e que me acompanhou, inúmeras vezes, até a rodoviária, me dando forças para sempre seguir minha caminhada.

Aos meus sogros, Jorge e Denise, que sempre me trataram como uma filha e se preocuparam comigo. Aos meus familiares, que mesmo distantes, se preocupavam comigo e torciam para meu sucesso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Villarroel Dávalos, que sempre foi referência e inspiração. Obrigada por ter me introduzido na Pesquisa Operacional; obrigada pelas orientações, pelo suporte, por sanar minhas dúvidas sempre com muita calma, respeito e carisma.

À UFSC e aos professores que tanto me ensinaram ao longo da graduação, e a todos que participaram, direta ou indiretamente, ao longo dessa trajetória, meu muito obrigado.

“Eu acho que nem se eu já tivesse ganho viveria sem toda essa vontade de voar que tem nessa caminhada que eu fiz virar estrada e que me faz sentir tão bem [...] Eu acho tão bonito quando a gente segue um sonho e não quer mais parar”

(Atitude 67, Sonho, Universal Music, 2018)

RESUMO

Diante das limitações orçamentárias existentes e do aumento tanto no número quanto na intensidade dos desastres ocorridos no Brasil nos últimos anos, torna-se importante avaliar a relação entre os investimentos públicos e seus respectivos retornos. Assim sendo, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres, entre 2013 e 2023, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). Implementou-se no *software* R Studio o modelo DEA BCC orientado a *outputs*, considerando como unidades tomadoras de decisão os 26 estados brasileiros. Para fins de comparação, foram analisados dois cenários: um cuja entrada consistia em PIB e execução orçamentária empenhada, e outro considerando PIB e execução orçamentária paga. Em ambos, definiram-se as mesmas variáveis de saída, sendo elas: total de danos humanos; total de danos materiais; valor dos danos materiais e o número de registros de ocorrências. No segundo cenário aplicou-se análise de *Benchmarking* e de Malmquist, definindo valores-alvo de pagamento e observando a evolução temporal das eficiências estaduais. A análise dos resultados revelou que em 2016 aproximadamente 27% das unidades obtiveram eficiência entre 30 e 40%, enquanto que em 2015 e em 2017 apenas 3,8% se situaram nessa faixa. Embora o número de estados que alcançaram eficiência máxima tenha dobrado de 2021 para 2022, em 2023 esse número retrocedeu, igualando-se ao observado em 2021. Por meio da avaliação cartográfica dos resultados constatou-se que Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentaram, predominantemente, eficiências inferiores a 0,6, enquanto Goiás, Maranhão e Piauí obtiveram eficiência máxima em praticamente todos os períodos. Ademais, através do comparativo entre o valor efetivamente pago pelo governo e o projetado pelo *Benchmarking*, identificou-se que os recursos transferidos foram insuficientes para suprir as demandas da maioria dos estados brasileiros, evidenciando as restrições orçamentárias como fatores limitantes para o alcance da máxima eficiência, principalmente em áreas que exigem maior capacidade de resposta aos desastres. A partir da análise do Índice de Malmquist avaliou-se a dinâmica temporal das eficiências, decompondo-a em mudanças na eficiência técnica e mudanças na eficiência tecnológica. Observou-se que, em determinados períodos, a melhoria da eficiência foi impulsionada por um uso mais eficiente dos recursos disponíveis, enquanto que em outros períodos foi decorrente de avanços tecnológicos ou adaptações na estrutura operacional dos estados. Essa distinção possibilitou identificar que os estados com maior capacidade de adaptação a novas tecnologias foram os que apresentaram maior ganho de produtividade. Em contrapartida, algumas unidades mantiveram desempenho estável ou apresentaram retrocessos, sugerindo a necessidade de revisões estratégicas e investimentos mais direcionados. A combinação das abordagens DEA, *benchmarking* e Malmquist se mostrou eficiente no atendimento dos objetivos propostos para esse trabalho, visto que permitiu avaliar a eficiência atual, identificar oportunidades de melhoria e monitorar a evolução das eficiências ao longo do tempo. Esses resultados fornecem subsídios importantes para a formulação de políticas públicas voltadas à otimização dos recursos e à melhoria das práticas de gestão de riscos e desastres à nível estadual.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados; Avaliação de Eficiência; Gastos Públicos; Gestão de Riscos e Desastres.

ABSTRACT

Given existing budget constraints and the increase in both the number and intensity of disasters in Brazil in recent years, it is important to assess the relationship between public investments and their respective returns. Therefore, this study aims to assess the efficiency of Brazilian states in utilizing government resources allocated to risk and disaster management during the period from 2013 to 2023, using Data Envelopment Analysis (DEA). The DEA BCC output-oriented model was implemented in R Studio, considering the 26 Brazilian states as decision-making units. For comparison purposes, two scenarios were analyzed: one with inputs consisting of GDP and budget execution committed, and another considering GDP and budget execution paid. In both cases, the same output variables were defined: total human damages, total material damages, value of material damages, and the number of occurrences recorded. In the second scenario, Benchmarking and Malmquist analyses were applied, setting target payment values and observing the temporal evolution of state efficiencies. The analysis of the results revealed that in 2016, approximately 27% of the units achieved efficiency between 30% and 40%, whereas in 2015 and 2017, only 3.8% were within this range. Although the number of states achieving maximum efficiency doubled from 2021 to 2022, this number fell back to the 2021 level in 2023. Through the cartographic evaluation of the results, it was found that Rio Grande do Sul and Santa Catarina predominantly presented efficiencies below 0.6, while Goiás, Maranhão, and Piauí achieved maximum efficiency in nearly all periods. Furthermore, by comparing the amount effectively paid by the government to the projected amount by Benchmarking, it was identified that transferred resources were insufficient to meet the demands of most Brazilian states, highlighting budget constraints as limiting factors for achieving maximum efficiency, especially in areas requiring a higher capacity for disaster response. Using the Malmquist Index analysis, the temporal dynamics of efficiencies were evaluated by decomposing it into changes in technical efficiency and technological efficiency. It was observed that in certain periods, efficiency improvements were driven by more efficient use of available resources, while in other periods, these improvements resulted from technological advances or adaptations in the operational structure of the states. This distinction made it possible to identify that states with greater adaptability to new technologies demonstrated the highest productivity gains. In contrast, some units maintained stable performance or showed setbacks, suggesting the need for strategic revisions and more targeted investments. The combination of the DEA, Benchmarking, and Malmquist approaches proved effective in meeting the proposed objectives of this study, as it enabled an assessment of current efficiency, the identification of improvement opportunities, and the monitoring of efficiency evolution over time. These results provide important insights for formulating public policies aimed at resource optimization and improving risk and disaster management practices at the state level.

Keywords: Data Envelopment Analysis; Efficiency Evaluation; Public Expenditure; Risk and Disaster Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais Fatores Associados à Ocorrência dos Desastres	26
Figura 2 – Divisão dos Desastres Naturais	27
Figura 3 – Categorias dos Desastres Naturais	28
Figura 4 – Divisão dos Desastres Tecnológicos	29
Figura 5 – Categorias dos Desastres Tecnológicos no Brasil	29
Figura 6 – Decretos de Anormalidade - Geral.....	35
Figura 7 – Número de Decretações por Desastres ocorridos no Brasil.....	35
Figura 8 – Desastres mais frequentemente atendidos pela Defesa Civil	36
Figura 9 – Desabrigados e Desalojados pelos Desastres por Região.....	37
Figura 10 – Mortos Decorrentes dos Desastres por Região	38
Figura 11 – Valor dos Prejuízos Decorrentes dos Desastres, por Região	39
Figura 12 – Valor dos Prejuízos dos Desastres por Setor	39
Figura 13 – Comparativo Execução Orçamentária Autorizada e Paga	41
Figura 14 – Ciclo de Gerenciamento dos Desastres Naturais	42
Figura 15 – Etapas de Atuação da Defesa Civil	44
Figura 16 – Ciclo de Gestão de Proteção e Defesa Civil	44
Figura 17 – Diagrama de Funcionamento da DEA.....	46
Figura 18 – Fases de Aplicação da DEA	47
Figura 19 – Representação das Fronteiras para os Modelos BCC e CCR.....	49
Figura 20 – Eficiência Técnica e de Escala	54
Figura 21 – Comparativo da Eficiência Técnica entre Períodos	59
Figura 22 – Áreas de aplicação da DEA	61
Figura 23 – Esquemático da implementação da DEA	63
Figura 24 – Caracterização da pesquisa	66
Figura 25 – Etapas do Desenvolvimento da Pesquisa	66
Figura 26 – Representatividade das Regiões na Análise de Malmquist	70
Figura 27 – Esquemático para Modelagem da DEA.....	73
Figura 28 – Etapas da Implementação da DEA no R Studio.....	74
Figura 29 – Etapas de implementação do <i>Benchmarking</i> no R Studio	76
Figura 30 – Implementação estatística descritiva DEA	77
Figura 31 – Etapas de implementação do Índice de Malmquist	78
Figura 32 – Matriz de correlação média de 2013 a 2023.....	81

Figura 33 – Estatística descritiva eficiência orçamentária paga	85
Figura 34 – Representação cartográfica da eficiência orçamentária paga	86
Figura 35 – Protocolos por tipo de desastre	87
Figura 36 – Comparativo eficiência empenhada x paga	88
Figura 37 – Análise <i>boxplot</i> Comparativo Eficiências	89
Figura 38 – Distribuição das Eficiências por Faixa	90
Figura 39 – Comparativo Valor Pago e Projetado pelo <i>Benchmarking</i>	91
Figura 40 – Comparativo Valores Efetivos e Projetado pelo Benchmarking	92
Figura 41 – Categorização do Índice de Malmquist	94
Figura 42 – Variação do Índice de Malmquist de 2022 a 2023	95
Figura 43 – Categorização Eficiência Técnica	97
Figura 44 – Categorização Eficiência Tecnológica	99
Figura 45 – Comparativo Mudança Eficiência Técnica e Mudança Tecnológica	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Subgrupos dos Desastres Naturais	28
Quadro 2 – Classificação dos Desastres quanto à Intensidade (continua)	30
Quadro 3 – Classificação dos Desastres quanto à Evolução	31
Quadro 4 – Classificação dos Danos Decorrentes dos Desastres	32
Quadro 5 – Classificação dos Prejuízos Decorrentes dos Desastres.....	33
Quadro 6 – Principais Propriedades dos Modelos CCR e BCC	49
Quadro 7 – Coeficientes da Matriz de Correlação	55
Quadro 8 – Decomposição do Índice de Malmquist.....	58
Quadro 9 – Fatores de análise obtidos pelo Índice de Malmquist	60
Quadro 10 – Trabalhos relacionados	62
Quadro 11 – Tabulação dos Dados Obtidos	69
Quadro 12 – Especificação das Variáveis	71
Quadro 13 – Descrição das Variáveis de Entrada	71
Quadro 14 – Descrição das Variáveis de Saída	72
Quadro 15 – Principais Pacotes utilizados na Implementação	74
Quadro 16 – Percentual dos Valores Efetivos em relação ao Projetado	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência Orçamentária Paga	83
Tabela 2 – Número de DMUS por Faixa de Eficiência	83
Tabela 3 – Estatística Descritiva das Eficiências	84
Tabela 4 – Estatística Descritiva Comparativo de Eficiências.....	89
Tabela 5 – Índices de Malmquist.....	94
Tabela 6 – Eficiência Técnica	96
Tabela 7 – Mudança Tecnológica	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Acre
AL	Alagoas
AM	Amazonas
AP	Amapá
BA	Bahia
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CE	Ceará
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CEMADEN	Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CNM	Confederação Nacional dos Municípios
CRS	<i>Constant Return to Scale</i>
DC	Defesa Civil
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DF	Distrito Federal
DIRDN	Década Internacional para Redução dos Desastres Naturais
DMU	<i>Decision Making Units</i>
ECP	Estado de Calamidade Pública
ES	Espírito Santo
ET	Eficiência Técnica
ETG	Eficiência Técnica Global
GDN	Gerenciamento de Desastres Naturais
GO	Goiás
GRD	Gestão de Riscos e Desastres
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
IQR	Intervalo Interquartilico
FUNCAP	Fundo Especial para Calamidades Públicas
GEACAP	Grupo Especial para Assuntos de Calamidade Pública
OMM	Organização Meteorológica Mundial
MA	Maranhão
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MIDR	Ministério de Integração e Desenvolvimento Regional
MG	Minas Gerais
MT	Mato Grosso
MS	Mato Grosso do Sul
PA	Pará
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PIB	Produto Interno Bruto
PR	Paraná
PNDC	Política Nacional da Defesa Civil
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPNL	Problema de Programação Não Linear
PTF	Produtividade Total dos Fatores
REDEC	Coordenadorias Regionais da Defesa Civil
RJ	Rio de Janeiro
RO	Rondônia
RN	Rio Grande do Norte
RNC	Retornos Não Crescentes
RND	Retornos Não Decrescentes
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SE	Sergipe
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
S2ID	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SINDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
SP	São Paulo
TC	Mudança Tecnológica
TCU	Tribunal de Contas da União
TO	Tocantins
VRS	<i>Variable Return to Scale</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	19
1.2	PROBLEMA	20
1.3	OBJETIVOS	21
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos Específicos	21
1.4	JUSTIFICATIVA	22
1.5	ESTRUTURA	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	DESASTRES	25
2.1.1	Classificação dos desastres	27
2.1.1.1	<i>Classificação quanto a Origem</i>	27
2.1.1.2	<i>Classificação quanto à Intensidade</i>	30
2.1.1.3	<i>Classificação quanto à Evolução</i>	31
2.1.1.4	<i>Classificação quanto a Duração</i>	31
2.1.2	Impactos dos Desastres	32
2.1.3	Panorama dos Desastres no Cenário Brasileiro	34
2.2	GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL	42
2.2.1	Defesa Civil	43
2.3	EFICIÊNCIA DOS GASTOS PÚBLICOS	45
2.4	EFICIÊNCIA MEDIDA PELA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	45
2.4.1	Modelos DEA	50
2.4.1.1	<i>Modelo CCR</i>	50
2.4.1.2	<i>Modelo BCC</i>	52
2.4.2	Fronteira Eficiente DEA	54
2.4.3	Matriz de Correlação	55
2.4.4	Benchmarking	56
2.5	ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE DE MALMQUIST	56
2.6	PESQUISA SISTÊMICA	61
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	64
3	METODOLOGIA	65
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	65

3.2	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	66
3.2.1	Delimitações do Trabalho.....	67
4	MODELO DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA PROPOSTO.....	69
4.1	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS.....	69
4.2	ESPECIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	69
4.3	DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS.....	73
4.4	MODELAGEM DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS.....	73
4.4.1	Implementação da DEA e Experimentação dos Cenários.....	73
4.4.2	Avaliação dos Resultados e Análises Complementares.....	75
4.4.2.1	<i>Benchmarking.....</i>	76
4.4.2.2	<i>Estatística Descritiva DEA.....</i>	77
4.4.2.3	<i>Índice de Malmquist.....</i>	78
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	79
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
5.1	MATRIZ DE CORRELAÇÃO.....	81
5.2	EFICIÊNCIA DAS DMUS.....	82
5.2.1	Avaliação dos recursos pagos.....	82
5.2.2	Comparativo empenhado x pago.....	88
5.2.3	<i>Benchmarking.....</i>	90
5.2.4	Análise de Malmquist.....	94
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	101
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	103
6.1	CONCLUSÕES.....	103
6.2	TRABALHOS FUTUROS.....	105
	REFERÊNCIAS.....	107
	APÊNDICE A – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2013 - 2015.....	124
	APÊNDICE B – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2016 - 2018.....	125
	APÊNDICE C – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2019 - 2021.....	126
	APÊNDICE D – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2022 - 2023.....	127
	APÊNDICE E – EFICIÊNCIA ORÇAMENTÁRIA EMPENHADA.....	128
	APÊNDICE F – BENCHMARKING.....	129
	APÊNDICE G – EFICIÊNCIA TÉCNICA E TECNOLÓGICA.....	130

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas a contextualização e a justificativa do estudo, bem como as definições dos objetivos que orientam a pesquisa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com Marcelo Menna Barreto (2024), o número de cidades brasileiras com registros de mortes por desastres naturais mais do que dobrou nos últimos 12 anos, demonstrando que a pobreza, a urbanização acelerada, a governança frágil, a deterioração dos ecossistemas e as alterações climáticas acentuam seus riscos e afetam cada vez mais a população (Mello, 2018).

Levando em consideração apenas o ano de 2022, a cada desastre natural ocorrido no Brasil, aproximadamente 3,4 mil pessoas foram diretamente afetadas, totalizando cerca de 8 milhões de brasileiros afligidos apenas no primeiro trimestre, quando foram registradas 2,2 mil anormalidades ambientais (Janone, 2022). Entre 2013 e 2023, os desastres naturais atingiram 93,9% dos municípios brasileiros, totalizando prejuízos de R\$ 639,4 bilhões, ultrapassando os 9,5 bilhões destinados à prevenção. Foram mais de 2.667 mortos e mais de 2,2 milhões de moradias danificadas, sendo que 107.413 delas foram totalmente destruídas (CNM, 2024).

Por outro lado, de acordo com a plataforma Adapta Brasil, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC), pelo menos 3.679 municípios brasileiros possuem baixa capacidade de adaptação a desastres. Essa vulnerabilidade indica a necessidade de investimentos estratégicos em prevenção e mitigação, para fortalecer a resiliência das cidades e minimizar perdas futuras (Alfieri *et al.*, 2013; Monte *et al.*, 2021). Com base em eventos anteriores é possível gerar aprendizados e realizar previsão de novos desastres, tornando a mitigação e a preparação elementos chave para proteção da sociedade e para aumento da eficiência de resposta (Alfieri *et al.*, 2013; Monte *et al.*, 2021), reduzindo perdas e facilitando uma cultura de resiliência (Birkmann, 2006b; Cutter e Finch, 2008; Montz e Tobin, 2011).

Para Bal, Örkeu e Çelebioglu (2010 *apud* Silva *et al.*, 2011), o uso de metodologias quantitativas como a Análise Envoltória de Dados (DEA) desempenha um papel importante na avaliação e otimização da alocação de recursos públicos, promovendo maior eficiência e suporte para a tomada de decisão. Um de seus

principais benefícios consiste na identificação de unidades de referência, que podem ser utilizadas para auxiliar na melhoria do desempenho das unidades menos eficientes (Cavalcante e Faria, 2009).

Além de destacar os fatores que necessitam ser ajustados nas variáveis de entrada e saída, os *benchmarks* gerados pelo DEA também indicam como alterá-los, convertendo ineficiências em eficiências e fornecendo subsídios importantes para os gestores públicos (Cavalcante e Faria, 2009). Essa abordagem permite não somente identificar falhas nos processos existentes, mas também orientar ações específicas voltadas à maximização da eficiência técnica, replicando as melhores práticas em cenários semelhantes.

Por meio do Índice de Malmquist, é possível complementar a avaliação de eficiência, uma vez que ele “[...] surge como ferramenta para avaliação da produtividade e eficiência de maneira complementar aos resultados obtidos com a aplicação da DEA [...]” (Copper *et al.*, 2006; Kirchner, 2018; Silva *et al.*, 2011 *apud* Pereira, Borgert e Kistener, 2024). Enquanto a Análise Envoltória de Dados avalia estaticamente a eficiência da unidade produtiva, maximizando receitas ou minimizando custos, o Índice de Malmquist amplia essa análise ao mensurar sua evolução ao longo do tempo, decompondo-a em componentes que refletem tanto variações de eficiência técnica, quanto mudanças tecnológicas (Copper *et al.*, 2006; Kirchner, 2018; Silva *et al.*, 2011 *apud* Pereira, Borgert e Kistener, 2024).

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres, no período compreendido entre 2013 e 2023, por meio da Análise Envoltória de Dados. A investigação busca oferecer subsídios para o uso mais estratégico dos recursos, atendendo às necessidades de cada estado e fortalecendo sua resiliência frente aos desastres naturais.

1.2 PROBLEMA

Apesar do aumento tanto no número quanto na intensidade dos desastres ocorridos no Brasil nos últimos anos, os repasses governamentais destinados à Gestão de Riscos e Desastres (GRD) têm diminuído significativamente. Em 2014, foram repassados R\$ 2,8 bilhões, enquanto que em 2021 foram registrados os menores aportes, totalizando R\$ 914 milhões (Accioly, 2024). Embora os repasses

tenham aumentado nos anos subsequentes, alcançando R\$ 1,3 bilhão em 2023, o valor permaneceu abaixo da média observada nos períodos anteriores (Accioly, 2024).

Essa redução nos recursos financeiros é acompanhada pela ausência de critérios técnicos claros para sua alocação, bem como pela falta de diretrizes consistentes na seleção de projetos voltados à prevenção de desastres (TCU, 2020). Em um cenário em que mais de 3600 municípios brasileiros apresentam baixa capacidade de adaptação a esses eventos, e onde os impactos financeiros ultrapassam os investimentos preventivos, torna-se fundamental avaliar a eficiência na utilização dos recursos públicos (Ribbeiro, 2024b).

Diante desse cenário, tem-se o seguinte problema de pesquisa: Os recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres têm sido utilizados de forma eficiente pelos estados brasileiros no contexto dos desastres naturais?

1.3 OBJETIVOS

Nessa seção são apresentados os objetivos da pesquisa, estando eles divididos em objetivo geral e em objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em avaliar a eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à Gestão de Riscos e Desastres, por meio da aplicação da análise envoltória de dados (DEA).

1.3.2 Objetivos Específicos

O trabalho tem como objetivos específicos:

- I. Coletar, organizar e tratar os dados requeridos para o modelo DEA;
- II. Definir e avaliar as unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* - DMU) a serem utilizadas no modelo DEA;
- III. Mensurar a eficiência técnica dos estados brasileiros na utilização dos recursos federais destinados à GRD, no contexto de desastres naturais, por meio da aplicação da DEA;

- IV. Representar cartograficamente as DMUs de acordo com a performance atingida;
- V. Realizar análise de *benchmarking* para identificar unidades eficientes que possam servir de referência para as ineficientes;
- VI. Aplicar a análise de Malmquist para avaliar a variação da eficiência na utilização dos recursos ao longo do tempo.

1.4 JUSTIFICATIVA

A gestão de riscos e desastres é um campo estratégico para garantir a segurança e o bem-estar da população. Em um contexto de limitação orçamentária e aumento tanto no número quanto na intensidade dos desastres, a utilização eficiente dos recursos públicos torna-se uma prioridade para minimizar perdas humanas, econômicas e ambientais.

De acordo com estimativas internacionais, para cada dólar investido em prevenção, seriam necessários 7 dólares para reconstrução, destacando a importância de priorizar investimentos preventivos como estratégia para gestão de riscos e desastres (Mello, 2018). Além disso, estima-se que cerca de um terço dos impactos causados por deslizamentos de terra e metade dos prejuízos decorrentes de inundações poderiam ser evitados com mudanças nas práticas humanas relacionadas à ocupação do solo e a melhoria nas condições socioeconômicas das populações que vivem em áreas de risco (Mello, 2018).

Assim sendo, avaliar a eficiência no uso desses recursos é essencial para identificar falhas e oportunidades de melhorias nas políticas públicas, permitindo respostas mais rápidas e eficazes. De acordo com Clark (2015 *apud* Lima e Bezerra, 2022), é importante compreender a condição financeira dos governos locais para que gestores e servidores públicos possam manter as despesas alinhadas com as receitas, garantindo solvência financeira. Nesse contexto, Pace, Basso e Silva (2003 *apud* Lima e Bezerra, 2022) afirmam que um bom administrador controla o desempenho dos sistemas sob sua responsabilidade com ajuda de medidas de desempenho, permitindo aos responsáveis traçar metas na direção desejada.

Para Machado Junior, Iffi e Benegas (2011 *apud* Silva, 2021) e para Carrasco, Matias e Rebelo (2019), a Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma metodologia eficaz para avaliar a eficiência na alocação de recursos públicos, uma

vez que permite identificar fontes de ineficiência e oportunidades de melhoria, servindo de suporte às tomadas de decisão. Ademais, possibilita aos gestores a realização de análises quantitativas objetivas, auxiliando na criação e no monitoramento de políticas públicas mais equilibradas e direcionadas para a gestão de recursos. Em comparação com outros métodos, o DEA é um modelo de programação que acomoda múltiplas entradas e saídas, sem a necessidade de especificação explícita de relações funcionais entre elas, eliminando a necessidade de predefinição de peso, utilizada nos métodos tradicionais de análise (Wei *et al.*, 2004).

No âmbito nacional, a aplicação do DEA para avaliação da eficiência na alocação de recursos tem sido utilizada em diversos contextos, especialmente os relacionados à saúde e à educação, como demonstram os estudos de Lima e Bezerra (2022); Ferreira (2020); Firmino (2013); Santos e Rover (2019), entre tantos outros. No âmbito internacional, Fonchamnyo e Sama (2016 *apud* Lima e Bezerra, 2022) analisaram as instituições públicas e os fatores econômicos que influenciam a eficiência dos gastos, concluindo que ela é positivamente impactada pela qualidade da gestão orçamentária e financeira. Em termos de desastres, o DEA tem sido utilizado para mensurar a vulnerabilidade causada por esses eventos, destacando-se os estudos de Wu, Ma e Li (2023); Li, Lv, Chen e Jiang (2015); Gao, Yu, Xi e Zhao (2023). Além destes, Zou e Wei (2009) a utilizaram para avaliar os impactos dos perigos costeiros sobre a economia social no Sudeste Asiático.

A análise de *Benchmarking* associada ao DEA mostra-se relevante ao fornecer alvos de desempenho específicos, obtidos por meio da comparação entre unidades ineficientes e eficientes, e ao estimar os recursos financeiros adicionais necessários para o alcance de níveis ótimos de eficiência (Cavalcante e Faria, 2009). Esse enfoque possibilita o estabelecimento de metas de desempenho e a identificação de padrões de alocação, permitindo um direcionamento estratégico adaptado às particularidades de cada unidade.

O Índice de Malmquist, por sua vez, contribui para a compreensão da variação temporal da eficiência, ao fornecer uma análise dinâmica que pode ser decomposta em termos de mudanças nas eficiências técnicas e tecnológicas. Essa perspectiva temporal é importante de ser levada em consideração, no contexto de desastres naturais, uma vez que as necessidades e os desafios podem variar significativamente

ao longo dos períodos, e a eficiência das respostas pode depender tanto da adoção de práticas operacionais mais eficazes, quanto da incorporação de novas tecnologias.

Assim, a implementação conjunta do DEA, do *Benchmarking* e do Índice de Malmquist oferece uma abordagem abrangente, que não apenas identifica as áreas que demandam aprimoramento na alocação de recursos, mas também proporciona uma análise histórica e comparativa da evolução das eficiências. Por meio disso, são fornecidos subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes, voltadas para a redução de perdas materiais, econômicas e humanas, melhorando a resiliência das comunidades afetadas pelos desastres. Adicionalmente, gera-se enriquecimento da literatura acadêmica nacional, contribuindo com o tema abordado e incentivando seu aprofundamento.

1.5 ESTRUTURA

A monografia está dividida em seis capítulos, sendo eles: introdução; fundamentação teórica; metodologia; modelo de análise de eficiência proposto; resultados e discussões; e conclusões e trabalhos futuros.

No primeiro capítulo apresenta-se a contextualização e a justificativa do estudo, juntamente com o problema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos.

No segundo capítulo exploram-se conceitos, modelos e teorias que fundamentam o trabalho, fornecendo base teórica para sua compreensão e execução.

O terceiro capítulo destina-se aos procedimentos metodológicos adotados, incluindo a caracterização da pesquisa, suas delimitações e a descrição sucinta de suas etapas.

O quarto capítulo aborda o modelo de análise de eficiência proposto, detalhando as etapas de desenvolvimento e de implementação do DEA, da análise de *Benchmarking* e do Índice de Malmquist.

No quinto capítulo, os resultados são apresentados, analisados e discutidos em termos de suas implicações.

Por fim, o sexto capítulo contempla as conclusões obtidas por meio do estudo realizado, destacando as contribuições da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica que fundamenta a compreensão desse trabalho. A seção 2.1 é dedicada à conceitualização e classificação dos desastres, abordando a categorização de seus impactos e o panorama de ocorrências no Brasil. A seção 2.2 trata da gestão de riscos e desastres, com destaque para a atuação da Defesa Civil em suas etapas. Já a seção 2.3 explora a relevância da eficiência dos gastos públicos no contexto deste estudo. A seção 2.4 contempla a Análise Envoltória de Dados (DEA), explicando seus fundamentos, apresentando seus modelos matemáticos e a matriz de correlação para validação das suas variáveis, e explorando a aplicação do *Benchmarking*. A seção 2.5 é dedicada ao Índice de Malmquist e a sua categorização. A seção 2.6 aborda a pesquisa sistemática, reunindo trabalhos encontrados na literatura que aplicam a DEA para avaliação de eficiência e, por fim, a seção 2.7 apresenta as considerações finais deste capítulo.

2.1 DESASTRES

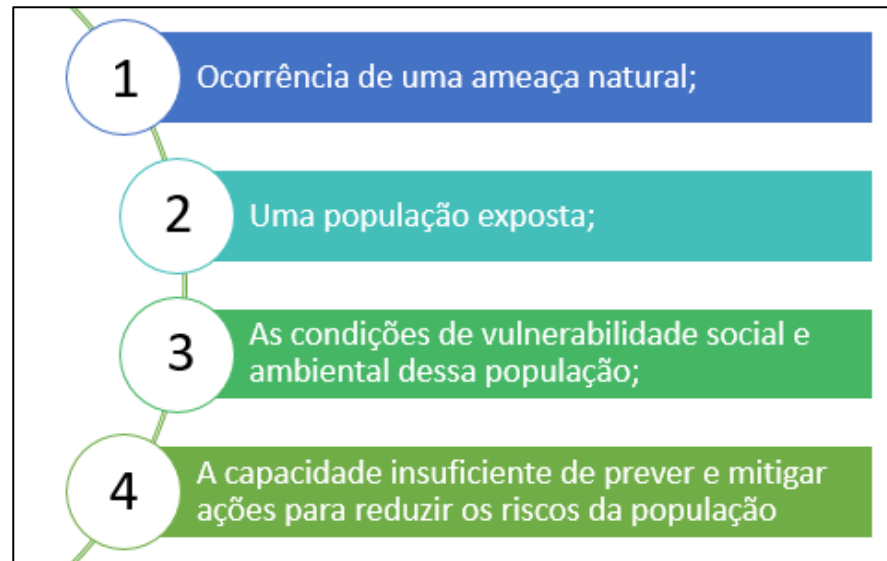
Quarantelli (1998) define desastre como um evento concentrado no tempo e no espaço, no qual uma comunidade experimenta severo perigo e destruição dos seus serviços essenciais, acompanhado por dispersão humana, perdas materiais e ambientais, que frequentemente excedem sua capacidade de lidar com as consequências sem necessitar de assistência externa. Tominaga (2009) o considera como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, envolvendo perdas materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, e cujos impactos ultrapassem a capacidade de arcar com seus próprios recursos.

Tanto para Castro (1998), quanto para a Defesa Civil Nacional, desastre é definido como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. Sua intensidade depende da interação entre a magnitude do evento adverso e do grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado.

Para Mello (2018), a exposição aos desastres é agravada por tanto pela ação humana quanto pela pobreza, pela ausência de aviso prévio, pela governança

inadequada de riscos e pela inexistência de mecanismos de proteção civil. Nesse sentido, Mello (2018) aponta que os desastres são resultantes da combinação de quatro fatores principais, representados por meio da Figura 1. Esses fatores envolvem processos naturais quanto sociais, que interajam entre si, gerando impactos significativos sobre a sociedade (Narváez *et al.* 2009 *apud* Mello, 2018).

Figura 1 – Principais Fatores Associados à Ocorrência dos Desastres



Fonte: Adaptado de Mello (2018)

De encontro a isso, Alcántara-Ayala (2002) considera que a ocorrência de desastres não está unicamente associada à susceptibilidade dos mesmos devido às características geoambientais, mas também à vulnerabilidade do sistema social sob impacto. Dessa forma, países em desenvolvimento tendem a sofrer muito mais com os desastres do que os países desenvolvidos, especialmente em relação ao número de vítimas (Mello, 2018).

Ademais, Vanacker *et al.* (2003, *apud* Mello, 2018) demonstram que o perigo relacionado a desastres tem aumentado ao longo do tempo em países em desenvolvimento, agravado por fatores como crescimento populacional desordenado, pobreza e ocupação inadequada de áreas de risco. As estatísticas evidenciam que as mortes resultantes de desastres são significativamente maiores em países pobres, enquanto, em contrapartida, as perdas econômicas são geralmente maiores em países ricos, devido ao elevado valor das infraestruturas e bens danificados (Mello, 2018). Esse contraste reflete as desigualdades na capacidade de mitigação e resposta a desastres, bem como nas políticas de proteção civil.

2.1.1 Classificação dos desastres

Conforme Alcântara-Ayala (2002 *apud* Tominaga, 2009, p. 14), as classificações mais utilizadas para distinguir desastres são a origem e a intensidade do fenômeno. Para Kobiyama *et al.* (2006) além das classificações já mencionadas, os desastres também podem ser diferenciados entre si quanto a evolução e a duração.

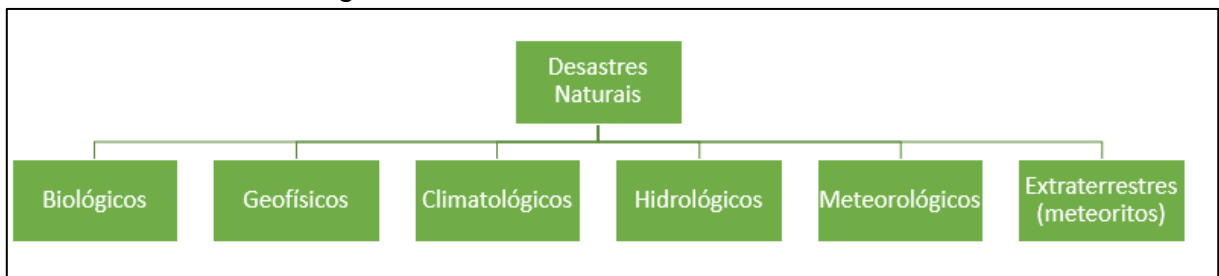
2.1.1.1 Classificação quanto a Origem

Com relação à origem, até 2008 os desastres eram classificados como naturais ou humanos (antropogênicos). Enquanto os desastres naturais eram causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza, originados pela dinâmica interna e externa da Terra, independentemente da ação humana, os desastres humanos (antropogênicos) estavam diretamente relacionados às atividades humanas, sendo resultantes de suas ações ou omissões (Dutra, 2011).

Em 2008, o EM-DAT (*The International Disaster Database* – Banco de Dados Internacional de Desastres, vinculado ao CRED - Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres, da Organização Mundial da Saúde) reclassificou os tipos de desastres em seu banco de dados (Scheuren *et al.*, 2008), dividindo-os em dois grandes grupos: naturais e tecnológicos (Corrêa, 2020).

Os desastres naturais foram divididos em seis subgrupos, conforme pode ser observado por meio da Figura 2.

Figura 2 – Divisão dos Desastres Naturais



Fonte: Adaptado de Corrêa (2020)

As causas e abrangências dos seis subgrupos de desastres naturais estão sintetizadas no Quadro 1.

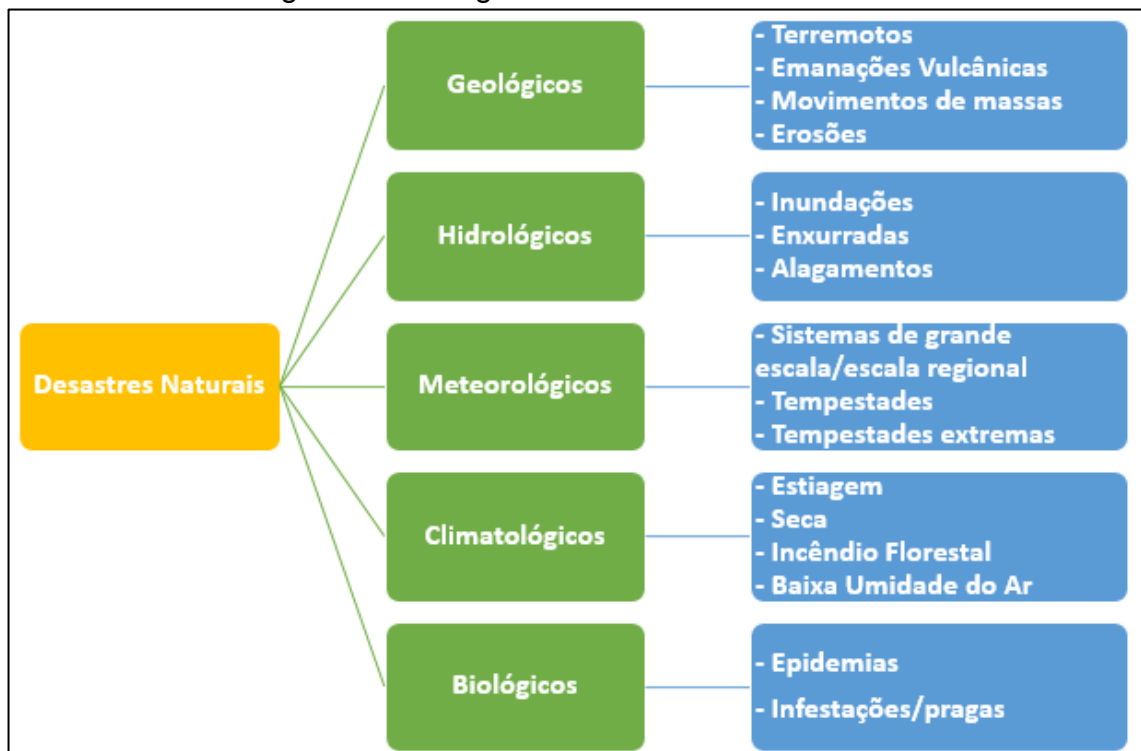
Quadro 1 – Subgrupos dos Desastres Naturais

Desastre	Causa	Abrangência
Biológico	Exposição dos organismos vivos a substâncias tóxicas ou a doenças transmitidas por vetores.	Contaminações Doenças (dengue, malária) Intoxicações
Geofísicos	Processos tectônicos ou vulcânicos.	Terremotos Atividades vulcânicas
Climatológicos	Processos atmosféricos de longo alcance	Incêndios Florestais Estiagens
Hidrológicos	Ocorrência, movimentação e distribuição de água doce ou salgada superficial ou subsuperficial	Escorregamentos Inundações Corridas de Massa
Meteorológicos	Condições climáticas e atmosféricas extremas de curta duração	Tempestades Temperaturas Extremas
Extraterrestres	Passagem de asteroides, meteoritos e cometas próximo à Terra, interceptando e/ou atingindo a atmosfera.	Asteroides Meteoros Cometas

Fonte: Adaptado de Corrêa (2020)

No Brasil, segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), há quatro categorias de desastres naturais, estando elas apresentadas na Figura 3.

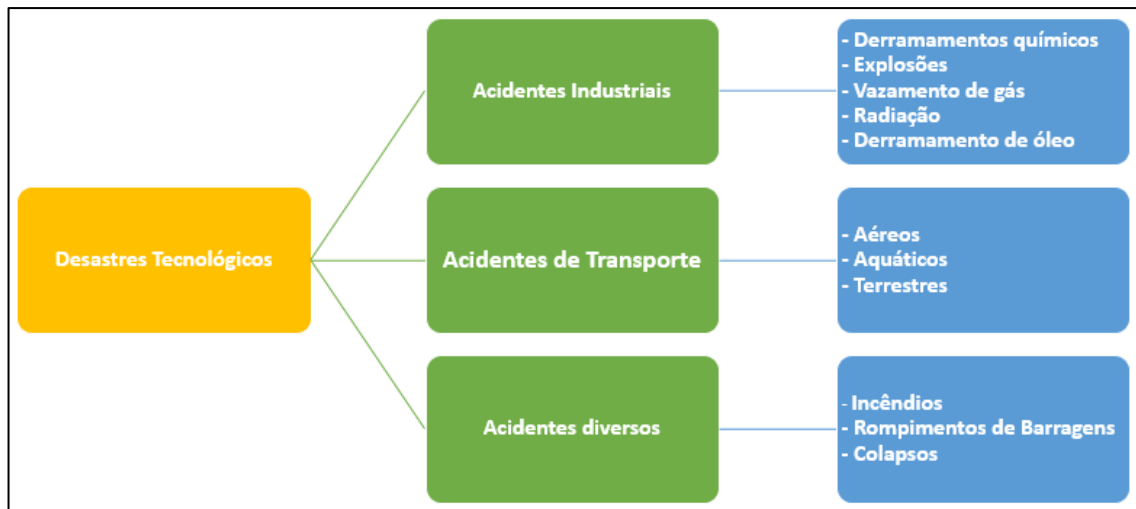
Figura 3 – Categorias dos Desastres Naturais



Fonte: Adaptado de Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2022)

Os desastres tecnológicos foram atribuídos, parcialmente ou em sua totalidade, a uma intenção humana, erro, negligência ou falha de um sistema humano, resultando em ferimentos, danos significativos ou morte (Zhour *et al.*, 2016). Sua divisão consiste em três grupos, conforme representado na Figura 4.

Figura 4 – Divisão dos Desastres Tecnológicos



Fonte: Adaptado de Corrêa (2020)

No Brasil, os desastres tecnológicos estão subdivididos em sete categorias, conforme pode representado na Figura 5.

Figura 5 – Categorias dos Desastres Tecnológicos no Brasil



Fonte: Adaptado de Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2022)

Os desastres relacionados à substância radioativa dividem-se em: desastres siderais com riscos radioativos; desastres com substâncias e equipamentos radioativos de uso em pesquisas, indústrias e usinas nucleares, e desastres relacionados à intensa poluição ambiental provocada por resíduos radioativos.

Já os relacionados a produtos perigosos subdividem-se em: desastres em plantas e distritos industriais, parques e armazenamentos com extravasamento de produtos perigosos; e desastres relacionados a contaminação da água.

Os desastres relacionados a conflitos bélicos estão associados à liberação de agentes considerados perigosos, de natureza nuclear/radiológica, química ou biológica, em atentados ou casos de guerra, gerando contaminações. Os relacionados ao transporte de produtos perigosos subdividem-se de acordo com o modal utilizado, podendo ser: rodoviário; ferroviário; aéreo; dutoviário; marítimo ou aquaviário.

Já os relativos a incêndios urbanos contemplam: incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos; e em aglomerados e residências de grande densidade. Os desastres relacionados a obras civis subdividem-se em: colapso de edificações, quando há queda de estrutura civil; e rompimento/colapso de barragens.

Por fim, os que estão associados ao transporte de passageiros e cargas não perigosas subdivide-se de acordo com o modal utilizado, podendo ser: rodoviário; ferroviário; aéreo; marítimo ou aquaviário.

2.1.1.2 *Classificação quanto à Intensidade*

Com base na intensidade, os desastres naturais podem ser classificados em quatro diferentes níveis, conforme exposto pelo Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação dos Desastres quanto à Intensidade (continua)

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastres de pequeno porte, também denominados de acidentes, cujos impactos causados são pouco importantes e os prejuízos são menores do que 5% do PIB municipal.	Facilmente superável com os recursos do município.
II	Desastres de média intensidade, cujos impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos, compreendendo entre 5% e 10% do PIB do município.	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e uma administração especial.

Quadro 2 – Classificação dos Desastres quanto à Intensidade (conclusão)

Nível	Intensidade	Situação
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos, compreendidos entre 10% e 30% do PIB municipal.	Situação de Emergência, na qual a situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais.
IV	De elevada intensidade, com impactos significativos e prejuízos muito vultosos, ultrapassando 30% do PIB do município.	Estado de Calamidade Pública (ECP), não sendo superável pelo município sem recebimento de ajuda externa e, eventualmente, de ajuda internacional.

Fonte: Adaptado de Tominaga (2009)

De acordo com Tominaga (2009), a avaliação da intensidade dos desastres é fundamental para o planejamento das respostas e de recuperação da área atingida, pois norteia as ações e os recursos necessários para socorrer as vítimas.

2.1.1.3 Classificação quanto à Evolução

Segundo Castro (1999 *apud* Kobiyama, 2006), há três tipos de desastres relacionados à evolução, estando eles descritos por meio do Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação dos Desastres quanto à Evolução

Desastre	Caracterização	Exemplo
Súbitos	Caracterizam-se pela rápida velocidade com que o processo evolui.	Inundações bruscas; Tornados
Graduais	Caracterizam-se por evoluírem em etapas de agravamento progressivo.	Inundações graduais; Secas.
Somação de Efeitos Parciais	Caracteriza-se pela ocorrência de numerosos acidentes semelhantes, cujos impactos, quando somados, definem um desastre de grandes proporções.	Acidentes de trânsito Acidentes de trabalho

Fonte: Adaptado de Kobiyama *et al.* (2006)

2.1.1.4 Classificação quanto a Duração

De acordo com Sidle *et al.* (2004), os desastres naturais podem ser classificados em episódios ou crônicos. Os episódios destacam-se por sua magnitude e seu impacto imediato, sendo exemplificados por terremotos, vulcanismos, tsunamis,

inundações e fluxos de detritos. Os crônicos, como erosão do solo, tendem a gerar sérios problemas, especialmente em longo prazo.

2.1.2 Impactos dos Desastres

Os desastres têm um impacto profundo e multidimensional sobre a sociedade, a economia e o meio ambiente, reforçando a importância de uma gestão eficiente dos riscos. Para sua mensuração, são considerados dois indicadores, sendo eles: danos e prejuízos.

Os danos se referem às consequências diretas do desastre e podem ser classificados em três categorias, conforme pode ser observado pelo Quadro 4.

Quadro 4 – Classificação dos Danos Decorrentes dos Desastres

Dano	Caracterização	Métricas
Humano	São dimensionados em relação ao número de pessoas e estão relacionados às perdas de vidas ou ao sofrimento humano.	Número de mortos
		Número de feridos
		Número de enfermos
		Número de desalojados
		Número de desabrigados
		Número de desaparecidos
		Número de outros afetados
Material	São medidos quantitativamente em função do número de edificações, instalações e outros bens danificados e/ou destruídos e do valor estimado para reconstrução ou recuperação dos mesmos.	Unidades habitacionais danificadas; destruídas; valor
		Instalações públicas de saúde danificadas; destruídas; valor
		Instalações públicas de ensino danificadas; destruídas; valor
		Instalações públicas prestadoras de outros serviços danificadas; destruídas; valor
		Instalações públicas de uso comunitário danificadas; destruídas; valor
		Obras de infraestrutura pública danificadas; destruídas; valor
Ambiental	Refletem a degradação do meio ambiente e são medidos em função do volume de recursos financeiros necessários à sua reabilitação.	Poluição ou contaminação da água
		Poluição ou contaminação do solo
		Poluição ou contaminação do ar
		Diminuição ou exaurimento hídrico
		Incêndios em parques, áreas de proteção ambiental (APA's) ou áreas de proteção permanente (APP's)

Fonte: Adaptado de Espírito Santo (2017)

Os prejuízos são uma medida das perdas econômicas associadas aos danos e representam o valor financeiro e patrimonial perdido em decorrência do desastre, incluindo impacto econômico sobre bens, infraestruturas e atividades sociais e produtivas. Conforme Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), eles são subdivididos em prejuízo econômico público e prejuízo econômico privado, conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação dos Prejuízos Decorrentes dos Desastres

Prejuízo	Caracterização	Métricas (R\$)
Público	Valor estimado dos prejuízos econômicos públicos relacionados com os serviços essenciais prejudicados.	Assistência médica, saúde pública e atendimento de emergências médicas
		Abastecimento de água potável
		Esgoto de águas pluviais e sistema de esgotos sanitários
		Sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação do lixo
		Sistema de desinfestação/desinfecção do habitat/control de pragas e vetores
		Geração e distribuição de energia elétrica
		Telecomunicações
		Transportes locais, regionais e de longo curso
		Distribuição de combustíveis, especialmente os de uso doméstico
		Segurança Pública
		Ensino
Privado	Valor estimado de perda nos diferentes setores, ocorrido em decorrência direta dos efeitos do desastre.	Agricultura
		Pecuária
		Indústria
		Comércio
		Serviços

Fonte: Adaptado de Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2024a)

Os impactos resultantes dos desastres acometem tanto a escala social, como a econômica e a ambiental. Ao atingir comunidades vulneráveis, além das perdas humanas, há deslocamento de pessoas desalojadas e desabrigadas; interrupção no acesso a serviços básicos, como saúde e educação, e o agravamento da pobreza, a exemplo da enchente de Pernambuco de 2022.

Em termos econômicos, os prejuízos são tanto imediatos, quanto de longo prazo. As secas, por exemplo, afetam diretamente a agricultura, prejudicando a produção de alimentos e causando perdas econômicas para os agricultores. Tais

perdas se refletem no aumento dos preços dos alimentos, na necessidade de políticas de subsídios e em auxílio governamental. Em um contexto mais amplo, como o desastre de Brumadinho em 2019, os custos estimados chegaram a bilhões de reais, incluindo reparos de infraestrutura, compensação financeira às vítimas, além de perdas na produção (G1, 2020).

Em termos ambientais, os desastres ocasionam degradação severa, com perda da biodiversidade e extinção de espécies; destruição de habitats e aumento de emissões de gases do efeito estufa. Em 2020, as queimadas devastaram aproximadamente 30% da área total do Pantanal, comprometendo não apenas a fauna e a flora, mas também o ciclo hidrológico (Agência Brasil, 2023).

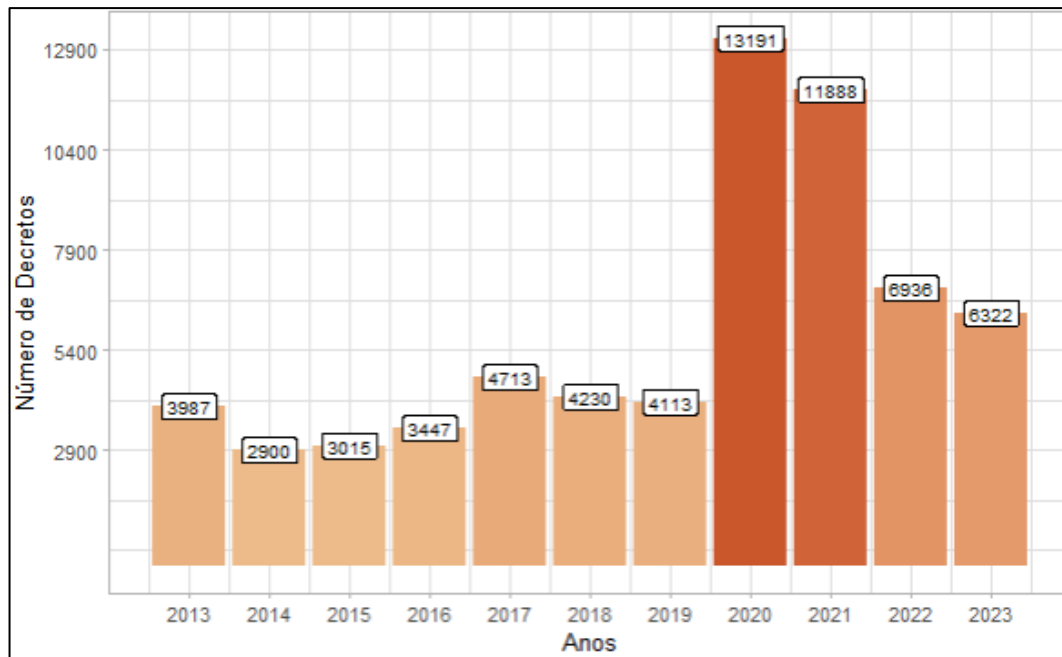
2.1.3 Panorama dos Desastres no Cenário Brasileiro

De acordo com dados da CNM (2024), entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023 foram contabilizados R\$ 639,4 bilhões de prejuízos causados por desastres em todo o Brasil. Além dos danos humanos, como mortos, feridos, desabrigados, desalojados e doentes, outros efeitos negativos ao bem-estar físico, mental e social da população atingida também são sentidos pelos municípios afetados. Em termos materiais, os danos são igualmente extensos, provocando destruição de bens, suspensão de serviços, prejuízos econômicos e degradação ambiental.

Estima-se que 94% dos municípios brasileiros tenham sido afetados pelo menos uma vez por algum tipo de desastre ao longo deste período, revelando a necessidade de ações mais assertivas em relação aos mesmos (CNM, 2024). Ademais, foram contabilizadas 64.742 decretações de Situações de Emergência e de Estado de Calamidade Pública (ECP), conforme pode ser observado pela Figura 6.

Entre 2013 e 2019, o número de decretos emitidos apresentou oscilação relativamente pequena, variando entre 2.900 e 4.700 por ano. No entanto, em 2020 houve um aumento significativo, com o número de decretos mais do que triplicando em relação ao ano anterior. Entre 2021 e 2022 nota-se um declínio considerável, com 11.888 decretos em 2021, 6.938 em 2022 e 6.322 em 2023. Apesar da redução, os valores permanecem superiores aos registrados antes de 2020, destacando a necessidade de investigar os fatores que impulsionaram esse aumento e de avaliar os decretos como uma ferramenta estratégica da gestão governamental.

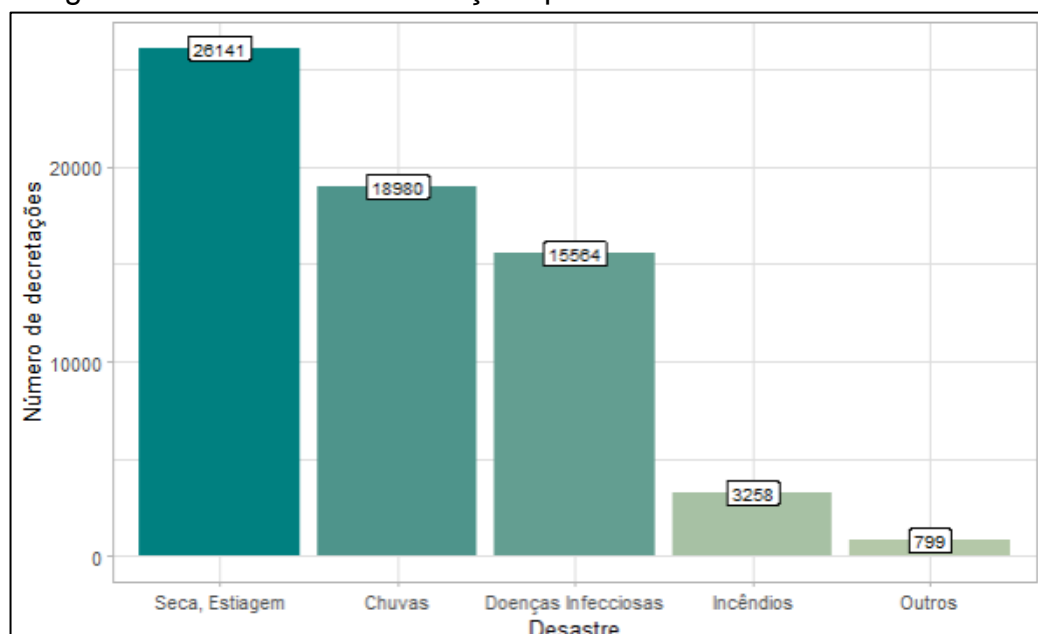
Figura 6 – Decretos de Anormalidade - Geral



Fonte: Adaptado de CNM (2024)

Observa-se que o número de decretos de anormalidades aumentou ao longo do tempo, com destaque para 2020 e para 2021, quando o crescimento se tornou sensível à pandemia do coronavírus, tornando a categoria “doenças infecciosas bacterianas, parasíticas e virais” responsável por aproximadamente 26% do total de anormalidades do período analisado, conforme pode ser observado pela Figura 7.

Figura 7 – Número de Decretações por Desastres ocorridos no Brasil



Fonte: Adaptado de CNM (2024)

Embora o coronavírus tenha elevado significativamente o número de decretos decorrentes de doenças infecciosas, principalmente entre 2020 e 2021, tal categoria não ultrapassou os decorrentes de secas/estiagem e de chuvas, que juntos corresponderam a cerca de 70% do total do período.

Assim, percebe-se por meio da Figura 7 que os desastres naturais são a principal causa de decretações de situações de emergência e de estado de calamidade pública no Brasil, bem como de atendimentos pela Defesa Civil. No que diz respeito às regiões, os tipos de desastres naturais frequentemente atendidos pela Defesa Civil podem ser observados por meio da Figura 8, evidenciando as particularidades climáticas e geográficas de cada área.

Figura 8 – Desastres mais frequentemente atendidos pela Defesa Civil



Fonte: Tominaga, Santoro e Amaral (2009)

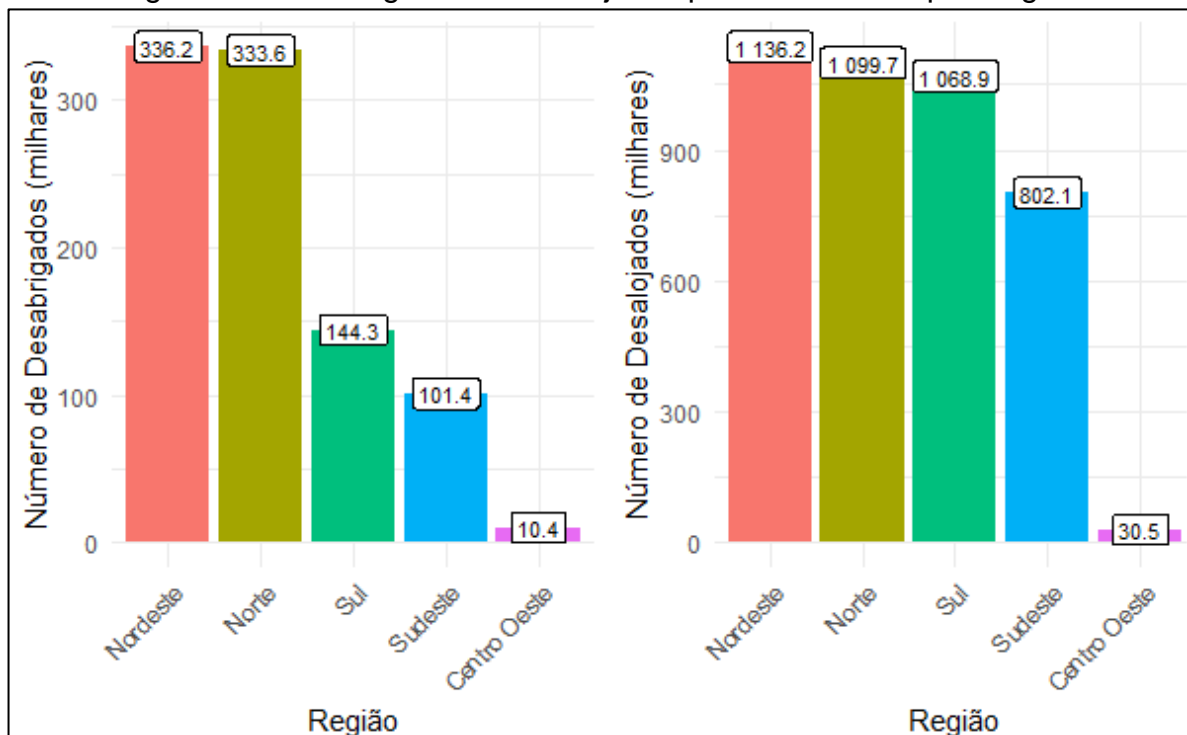
Observa-se que na Região Norte predominam incêndios florestais e inundações, refletindo os desafios associados à extensa cobertura florestal e aos altos índices de precipitação. No Nordeste, as secas são recorrentes, acompanhadas por inundações em determinadas áreas. Na Região Centro-Oeste, os incêndios florestais destacam-se, principalmente devido às características do Cerrado. A Região Sudeste apresenta maior frequência de deslizamentos de terra e inundações, associadas à topografia e ao regime de chuvas intensas, enquanto que a Região Sul é

recorrentemente afetada por inundações, vendavais e granizos, característicos do clima subtropical.

Em termos de danos humanos, os desastres naturais afetaram mais de 418,3 milhões de pessoas em todo Brasil dentre janeiro de 2013 e dezembro de 2023, totalizando 2.667 mortos, 925.836 desabrigados e 4.137.592 desalojados (CNM, 2024). O número de afetados é significativamente maior do que a população brasileira, visto que uma mesma pessoa pode ter sido afetada por desastres mais de uma vez ao longo dos anos (CNM, 2024).

Por meio da Figura 9, nota-se que a região com maior número de desabrigados e desalojados foi a Nordeste, seguida pelas regiões Norte, Sul, Sudeste e Centro Oeste. Ambas as condições estão associadas às pessoas que foram obrigadas a abandonar suas habitações, temporária ou definitivamente, em virtude de evacuações preventivas, destruição ou avarias graves causadas por acidentes ou desastres. O que as diferencia é que os desabrigados necessitam de abrigo provido pela administração pública, enquanto que os desalojados não necessariamente carecem do mesmo, encontrando acomodações por outros meios (CNM, 2024).

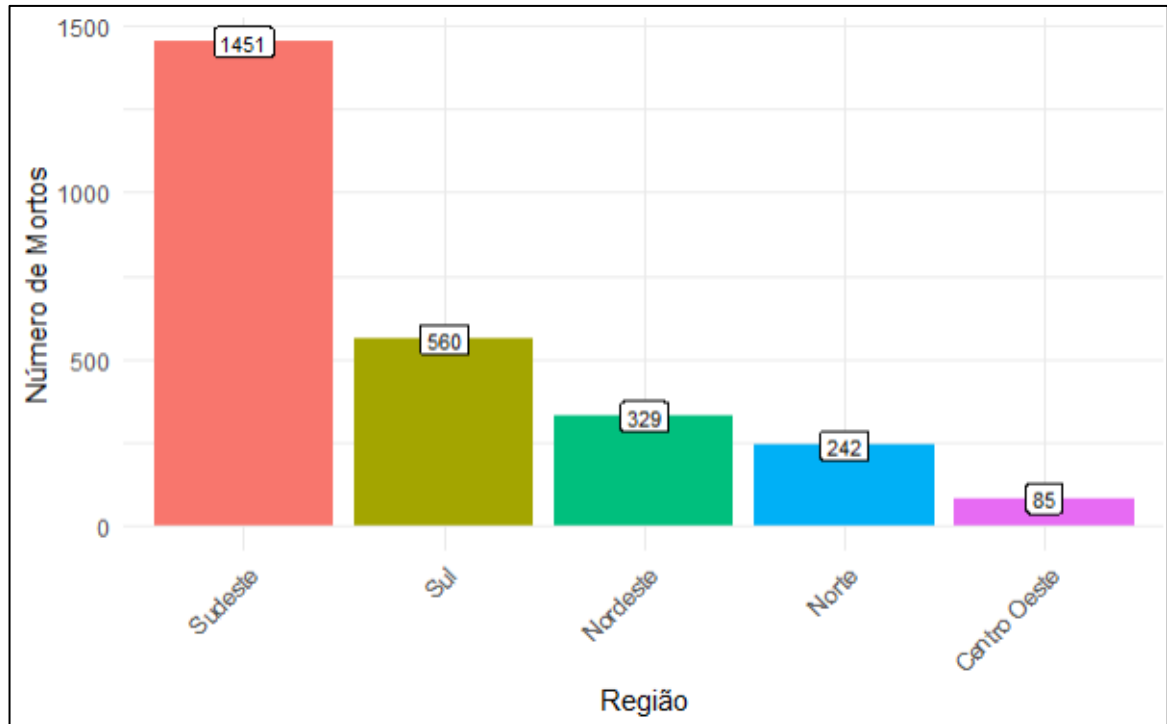
Figura 9 – Desabrigados e Desalojados pelos Desastres por Região



Fonte: Adaptado de CNM (2024)

Em termos de mortos (Figura 10), a região Sudeste foi a que apresentou maior número, correspondendo a 54,4% do total, seguida sucessivamente pelas regiões Sul (21%), Nordeste (12,3%), Norte (9,0%) e Centro Oeste (3,2%).

Figura 10 – Mortos Decorrentes dos Desastres por Região

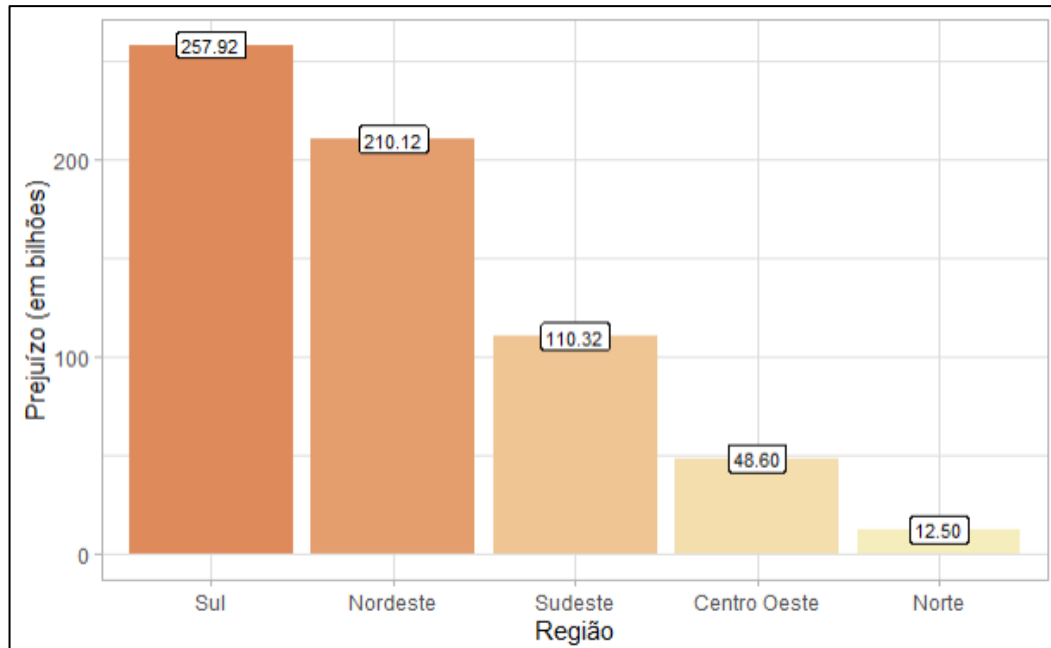


Fonte: Adaptado de CNM (2024)

Com base exclusivamente nos dados fornecidos pela CNM (2024) e apresentados tanto pela Figura 9 quanto pela Figura 10, percebe-se que a região Centro Oeste foi a que apresentou menor número de desabrigados, desalojados e de mortos, quando comparada com as demais regiões do Brasil. Embora a região Nordeste tenha apresentado maior número de desabrigados e de desalojados, a região Sudeste foi a que apresentou maior número de mortos, sugerindo que sua população pode estar mais exposta a desastres fatais.

Em termos de prejuízos, foram contabilizados R\$639,4 bilhões de reais em desastres, distribuídos regionalmente conforme representado pela Figura 11. Desse total, R\$ 392,68 bilhões foram prejuízos privados, R\$ 165,8 bilhões corresponderam a prejuízos materiais e R\$ 80,97 bilhões foram prejuízos públicos.

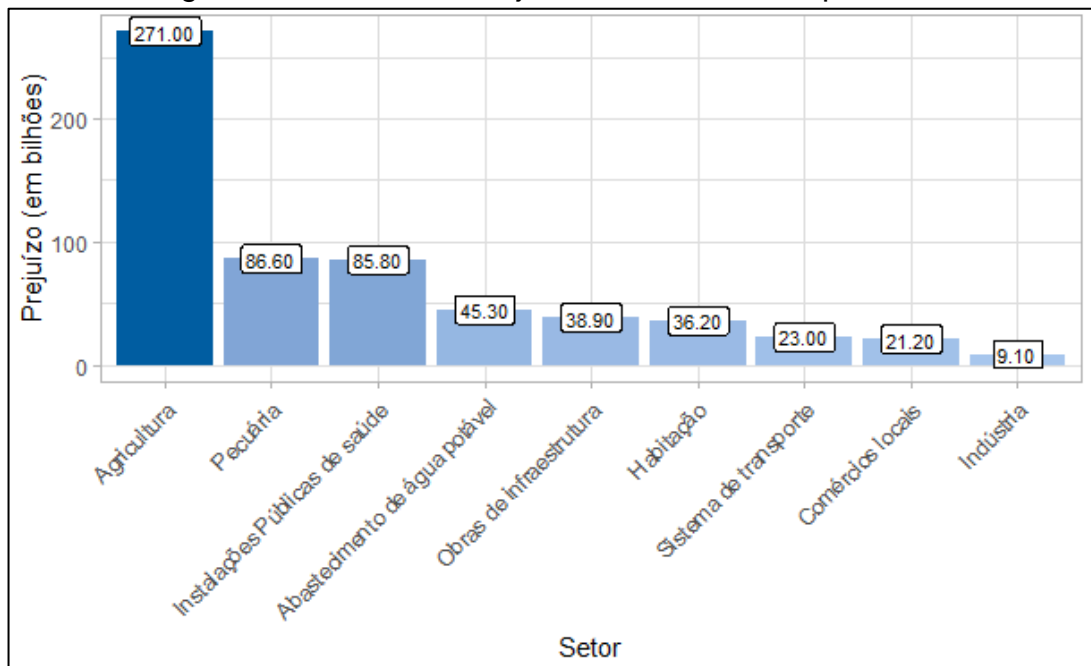
Figura 11 – Valor dos Prejuízos Decorrentes dos Desastres, por Região



Fonte: Adaptado de CNM (2024)

A Região Sul foi a que mais sofreu com os prejuízos, representando 40,3% do total, seguida pela Nordeste, com 32,8%; a Sudeste, com 17,2%; a Centro-Oeste com 7,6% e a região Norte, com apenas 1,95% do total (CNM, 2024). Em termos de setores, os valores dos prejuízos podem ser observados por meio da Figura 12.

Figura 12 – Valor dos Prejuízos dos Desastres por Setor



Fonte: Adaptado de CNM (2024)

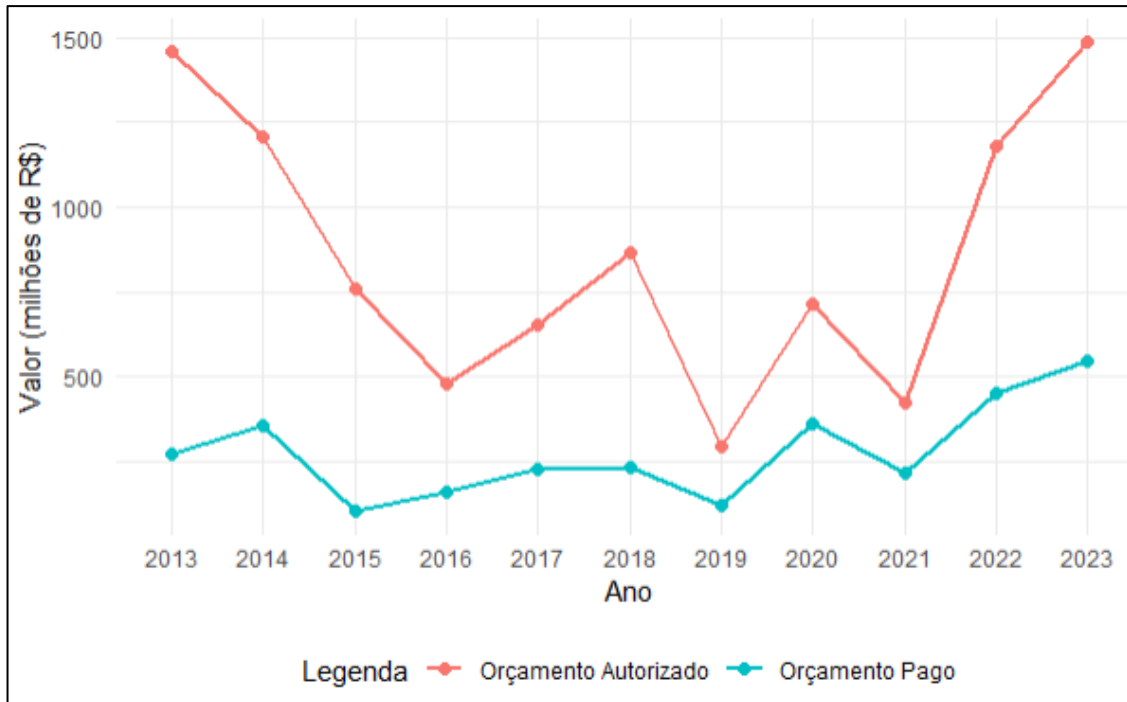
Observa-se que os setores mais impactados foram o da agricultura, contabilizando R\$ 271 bilhões de prejuízos (42,4% do total) e o da pecuária, contabilizando R\$ 86,6 bilhões de prejuízos (13,5% do total). Por consequência, ocorre elevação significativa nos preços dos alimentos, afetando diretamente o custo de vida da população, especialmente entre as camadas mais vulneráveis da sociedade. Além do impacto imediato, o governo também enfrenta sérias consequências. O aumento dos preços dos alimentos pode levar a um crescimento de demanda por assistência social e programas de segurança alimentar, onerando recursos públicos (World Bank, 2024). Ademais, a pressão inflacionária pode afetar a política econômica do governo, forçando-o a implementar medidas de controle de preços ou subsídios, que podem comprometer a sustentabilidade fiscal a longo prazo (World Bank, 2024).

Os desastres também provocam danos a moradias e dificultam o acesso a serviços de saúde, que se tornam ainda mais críticos em momentos de crise (World Bank 2024). A interrupção no abastecimento de água potável e a degradação da infraestrutura de transporte, elevam o risco de doenças, agravam a vulnerabilidade e aumentam a necessidade de recursos governamentais para mitigação (World Bank, 2024).

Diante desse contexto, de 2013 a 2023, o governo federal autorizou repasse de R\$ 9,5 bilhões aos municípios para ações voltadas à gestão de riscos, prevenção, preparação, respostas a desastres, reabilitação e reconstrução de áreas danificadas ou destruídas por calamidades. No entanto, apenas R\$ 3 bilhões desse montante foram efetivamente repassados, representando 32% do valor originalmente prometido (CNM, 2024).

Por meio da Figura 13 é possível comparar o valor da execução orçamentária autorizada e paga pelo governo federal ao longo dos últimos 11 anos. Observa-se que o valor efetivamente pago foi inferior ao autorizado para todos os períodos, apresentando menor discrepância entre 2019 e 2021. Nos dois últimos anos, tanto a execução orçamentária autorizada quanto a paga retornaram o crescimento, juntamente com a magnitude dessa diferença, indicando que, apesar do aumento nas autorizações e pagamentos, a capacidade de execução orçamentária ainda enfrenta desafios.

Figura 13 – Comparativo Execução Orçamentária Autorizada e Paga



Fonte: Adaptado de CNM (2024)

A tragédia climática ocorrida no Rio Grande do Sul, em 2024, reforça os desafios da execução orçamentária. Conforme Costa (2024), os recursos direcionados para prevenção e recuperação de desastres dependem de projetos técnicos de prefeituras e governos estaduais para serem efetivamente liberados. Para Úrsula Peres (2024 *apud* Costa, 2024), isso ocorre em virtude dos programas e das ações de prevenção e recuperação serem considerados despesas discricionárias e não obrigatórias, cuja disponibilidade anual de recurso depende da decisão do Poder Legislativo e do que for empenhado pelos órgãos públicos, gerando menos pressão em sua execução. Ademais, o fato da aplicação do dinheiro ser local, exige interação entre estados e municípios para elaboração e implementação de projetos técnicos para prevenção e recuperação de desastres. Contudo:

Os municípios no Brasil são muito heterogêneos. A maior parte tem estrutura menor e menos capacidade de desenvolvimento de projetos. Projetos em áreas de risco implicam em licitações complexas. São áreas com topografia complicada. Para além disso, é necessário retornar processos de contratação que é mais complicado, fazer medição e controle (Úrsula Peres, 2024 *apud* Costa, 2024).

Úrsula Peres (2024 *apud* Costa, 2024) também assinalou que o teto dos gastos públicos, criado pela Emenda Constitucional nº 95/2016, estabeleceu congelamento dos gastos das despesas primárias, comprimindo tudo o que não é

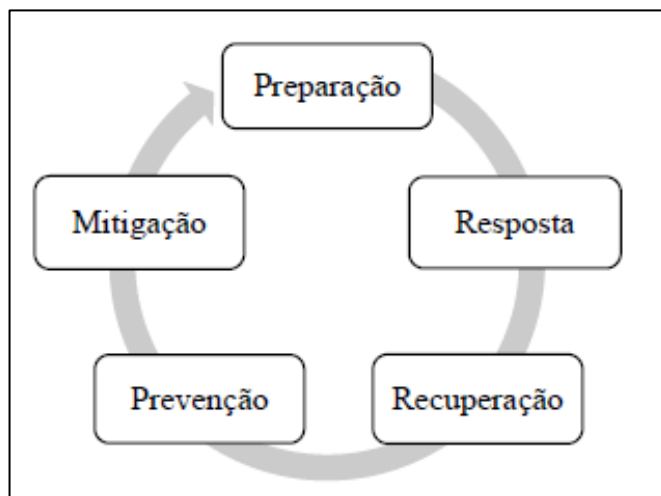
obrigatório. Isso significa que, mesmo com orçamento autorizado, a execução não é garantida, já que a disponibilidade de recursos depende tanto da aprovação pelo Poder Legislativo quanto do empenho pelos órgãos públicos.

Países como Japão e Estados Unidos, reconhecidos pela forte presença dos desastres naturais, adotam políticas mais estruturadas para alocação de recursos preventivos. No Japão, por exemplo, os investimentos em prevenção de desastres são prioritários e considerados gastos obrigatórios no orçamento nacional, reduzindo a dependência de processos complexos de liberação de recursos (Shaw et al., 2014). Nos Estados Unidos, programas como o FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) possuem fundos permanentes para resposta e recuperação, além de oferecerem suporte técnico direto para que estados e municípios desenvolvam projetos eficazes (FEMA, 2022). Essas abordagens contrastam com o modelo brasileiro, onde a execução de recursos depende de estruturas locais muitas vezes frágeis e processos burocráticos complexos.

2.2 GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

O Gerenciamento de Desastres Naturais (GDN) é um conjunto de ações organizadas em formato cíclico (Figura 14), cujo objetivo é fornecer à sociedade mecanismos capazes de minimizar os impactos causados, uma vez que não é possível eliminá-los completamente (Kobiyama e Goerl, 2007).

Figura 14 – Ciclo de Gerenciamento dos Desastres Naturais



Fonte: Adaptado de Carter (2008)

Na prevenção, busca-se impedir que os desastres ocorram, focando em ações que eliminem ou controlem diretamente os riscos existentes, tais como: investimentos em planejamento urbano; construção de barragens e projetos de reflorestamento (Carter, 2008).

Na etapa de mitigação busca-se minimizar as consequências dos desastres, reduzindo seus danos e seus impactos, por meio de ações focadas na redução da vulnerabilidade das áreas e das comunidades afetadas (Neto, 2000).

A fase de preparação envolve atividades de planejamento realizadas antes da ocorrência de um evento, como a aquisição de equipamentos, o treinamento de equipes e a realização de simulações. Essas ações têm como objetivo aprimorar a capacidade operacional durante emergências, reduzindo o tempo de resposta e salvando vidas (Neto, 2000).

A etapa de resposta ocorre quando um evento já está em curso e suas ações são rápidas e emergenciais, com foco em reduzir os impactos imediatos e em atender às necessidades básicas da população afetada, por meio de atendimento médico, alimentação e abrigo.

Na etapa de recuperação as ações são mais estruturadas e de longo prazo, com foco na restauração dos sistemas afetados e no retorno à normalidade (Neto, 2000). Isso envolve reconstrução, reabilitação de serviços e apoio econômico. Uma recuperação bem planejada pode gerar melhoras na infraestrutura da comunidade, reduzindo sua vulnerabilidade e evitando perdas futuras.

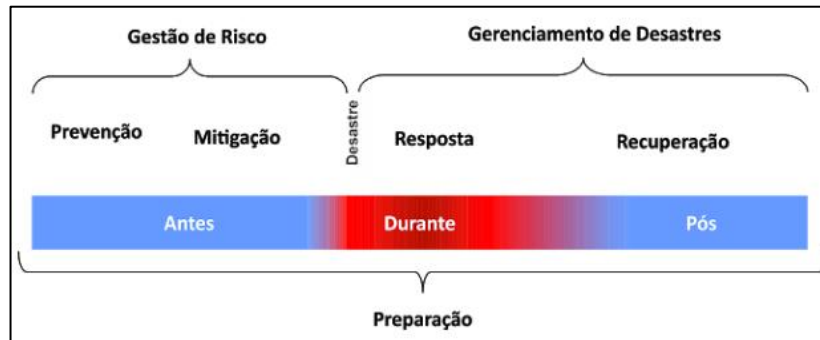
2.2.1 Defesa Civil

A Defesa Civil atua no monitoramento de desastres e na identificação de riscos existentes e de comunidades vulneráveis, providenciando documentos e meios para recuperação rápida e segura das estruturas afetadas. Por meio de ações de prevenção, mitigação, resposta e recuperação (Figura 15), a Defesa Civil atua antes, durante e após os eventos, de forma a minimizar seus impactos.

Embora as etapas estejam dispostas cronologicamente em relação ao desastre, Magro (2021) considera que, na prática, elas ocorrem de forma inter-relacionadas. Furtado (2014) corrobora com isso, afirmando que os processos relacionados à gestão de riscos e desastres são tecidos e articulados em todo o processo de gestão em Proteção e Defesa Civil, de tal forma que mesmo ao tratar dos

danos causados pelo desastre é necessário pensar preventivamente, com foco na redução dos riscos, para evitar desastres futuros.

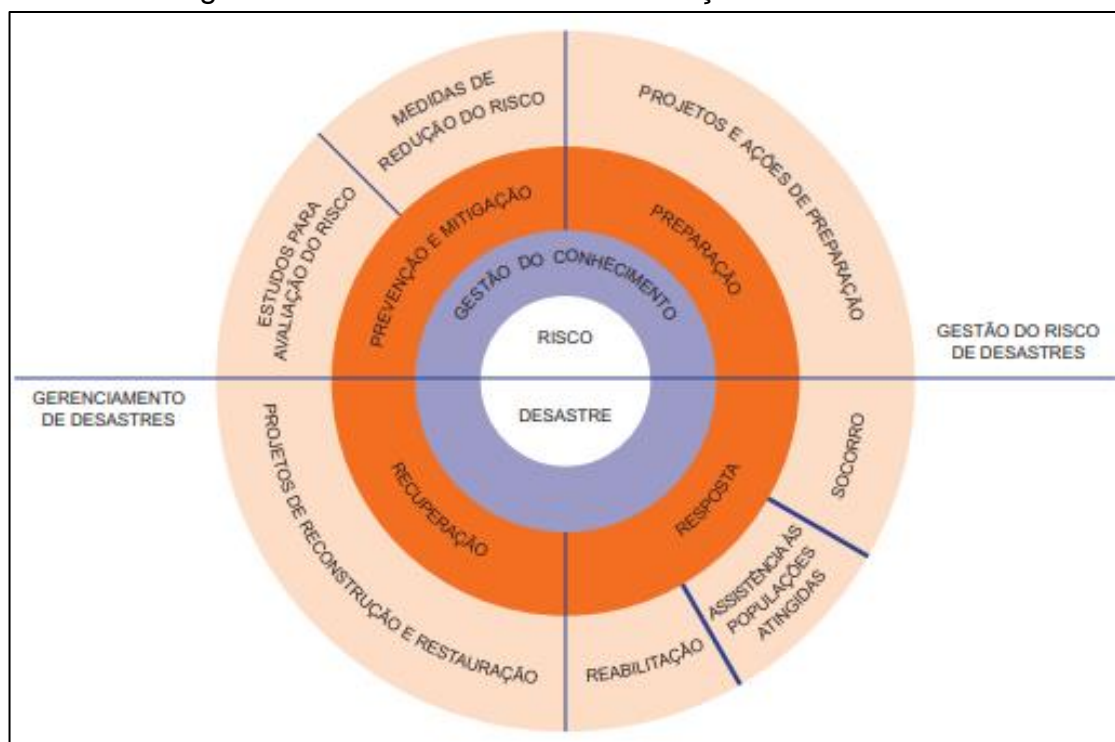
Figura 15 – Etapas de Atuação da Defesa Civil



Fonte: Defesa Civil do Mato Grosso

A defesa civil é a principal responsável por gerenciar o Ciclo de Gestão de Proteção e Defesa Civil (Figura 16). Além dela, outras entidades governamentais e não governamentais também o integram, atuando em colaboração para assegurar a proteção das populações e a mitigação dos impactos decorrentes dos desastres.

Figura 16 – Ciclo de Gestão de Proteção e Defesa Civil



Fonte: Furtado (2014)

Por meio desse ciclo é possível observar que a gestão de riscos e desastres atua de forma interligada e que as etapas se retroalimentam para melhorar a resiliência das comunidades. Dessa forma, lições aprendidas na fase de reposta, por exemplo, podem auxiliar na preparação e na prevenção de eventos futuros. Observa-se também que o processo é cíclico e que não tem fim, permitindo que as comunidades estejam sempre se aprimorando.

2.3 EFICIÊNCIA DOS GASTOS PÚBLICOS

De acordo com Silva *et al.* (2019 *apud* Viana e Boente, 2022) a eficiência é fundamental para o Estado pois tem a capacidade de medir o desempenho dos serviços públicos realizados pelo governo. Para Machado *et al.* (2018 *apud* Viana e Boente, 2022), não é a magnitude do gasto dos recursos financeiros que determina sua eficiência, mas sim a forma com que é executado. Enquanto um gestor público pode gastar muito recurso e não alcançar os resultados necessários, outro pode gastar menos e obter os mesmos ou melhores resultados. Segundo Mattos e Terra (2015), a forma de alocação dos recursos é estratégia ligada à qualidade do gasto. De encontro a isso, Mazon *et al.* (2021 *apud* Viana e Boente, 2022) afirmam que a eficiência está associada a maximização dos ganhos nas operações, com mínimo emprego de recursos consumidos, relacionando-a às grandezas insumo e produção de bem ou serviço. Viana e Boente (2022) ainda associam a eficiência à função de controle, que usualmente é realizada pela gestão financeira, considerando-a instrumento necessário para melhoria da administração pública.

2.4 EFICIÊNCIA MEDIDA PELA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

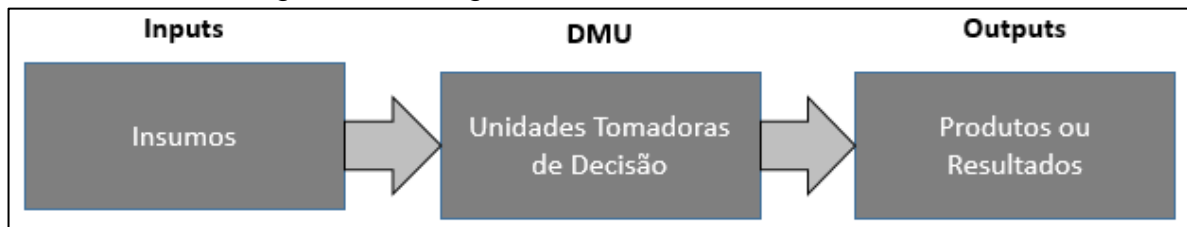
Para Penã (2008), eficiência é a combinação ótima dos insumos e métodos necessários no processo produtivo para resultar no máximo de produtos possíveis (*outputs*). Para Mello *et al.* (2005 *apud* Santos, Freitas e Flach, 2020) ela consiste na comparação entre o que foi produzido, com base nos resultados disponíveis, e o que poderia ter sido produzido utilizando os mesmos recursos. De acordo com Sander (1995, p.43) e Cantelli (2001), a eficiência é o critério econômico que revela a capacidade administrativa de produzir o máximo de resultados com o mínimo de recursos, energia e tempo. O ideal para determiná-la, segundo Farrell (1957), é

compará-la ao melhor nível de eficiência já observado, desconsiderando a busca pelo ideal teórico. Essa eficiência pode ser analisada sob a perspectiva econômica (eficiência alocativa) ou da produção (eficiência técnica) por múltiplas ferramentas, dentre elas, a DEA (Bastos, 2020).

Tal método foi proposto originalmente por Farrell, mas foi operacionalizado e popularizado por Charnes, Cooper e Rhode, levando ao estabelecimento do DEA como uma ferramenta metodológica proeminente para avaliação de eficiência. Sua metodologia não paramétrica, cujo diagrama de funcionamento está representado por meio da Figura 17, emprega programação matemática para determinar a eficiência de um conjunto de unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* - DMU), considerando a existência de múltiplas entradas e de múltiplas saídas, também denominadas, respectivamente, de *inputs* e *outputs* (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978), sem fazer suposições sobre a forma funcional de suas relações.

Para tal, as unidades tomadoras de decisão podem ser constituídas das mais diversas formas e naturezas, desde que pertençam a um conjunto homogêneo, isto é, de que operem em ambientes similares, utilizando recursos semelhantes para produzir os mesmos tipos de resultados (Vilela, Nagano e Merlo, 2007).

Figura 17 – Diagrama de Funcionamento da DEA



Fonte: O Autor (2024)

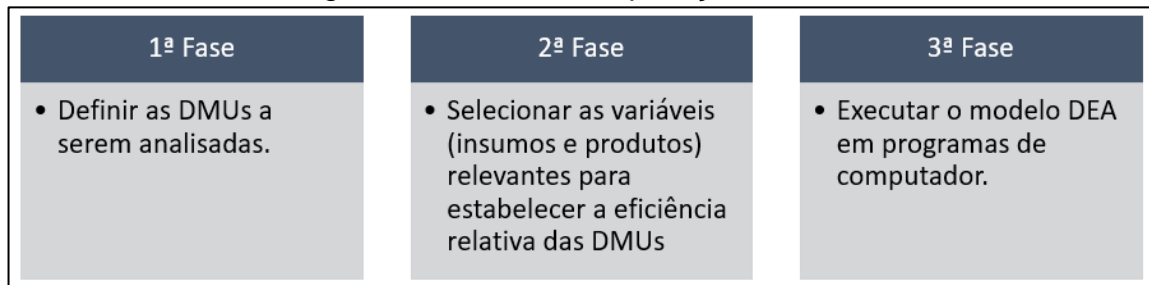
Conforme Gomes *et al.* (2001), os principais objetivos da DEA podem ser resumidos em:

- a) Comparar DMUs que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de *inputs* que consomem e de *outputs* que produzem;
- b) Identificar unidades consideradas eficientes, que podem servir como *benchmark* (referência) para DMUs menos eficientes;
- c) Determinar a eficiência relativa das DMUs, comparando-as entre si e possibilitando uso desse método em problemáticas de ordenação, servindo como ferramenta multicritério de apoio à tomada de decisão;

- d) Subsidiar estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUs avaliadas, corrigindo as ineficiências através da determinação de alvos;
- e) Estabelecer taxas de substituição entre as entradas, entre as saídas e entre entradas e saídas, permitindo a tomada de decisão gerencial;
- f) Considerar a possibilidade dos *outliers* não representarem apenas desvios em relação ao comportamento médio, mas possíveis *benchmarks* a serem analisados pelas demais DMUs, uma vez que possam representar as melhores práticas dentro do cenário investigado.

De acordo com Justen (2019), a aplicação deste método pode ser dividida em três fases, estando representadas por meio da Figura 18:

Figura 18 – Fases de Aplicação da DEA



Fonte: Adaptado de Justen (2019)

Através da implementação desse método, elementos são comparados entre si, de modo a obter suas respectivas eficiências técnicas, no que diz respeito à transformação de um conjunto de recursos ou fatores de produção (*inputs*) em um conjunto de produtos (*outputs*). Para tal, é importante que as unidades tomadoras de decisão sejam homogêneas entre si, em termos de suas funções, operações e objetivos (Lins e Ângulo-Meza, 2000; Sollero e Lins, 2004). Dessa forma, as DMUs devem desempenhar atividades semelhantes para transformar os mesmos insumos em recursos e produtos similares, diferenciando-se quanto ao consumo de insumos e recursos, e quanto a geração de produtos.

Além disso, Banker, Charnes, Cooper, Swarts e Thomas (1989) recomendam que o número de DMUs seja pelo menos três vezes o número dos fatores de *input* e *output* de forma a garantir robustez, discriminação/ sensibilidade do modelo e estabilidade dos resultados. Se o número de DMUs for muito pequeno em relação ao número de variáveis, o modelo pode ocasionar erros de classificação, identificando DMU's como eficientes, mesmo que na prática não sejam. Ademais, pequenas

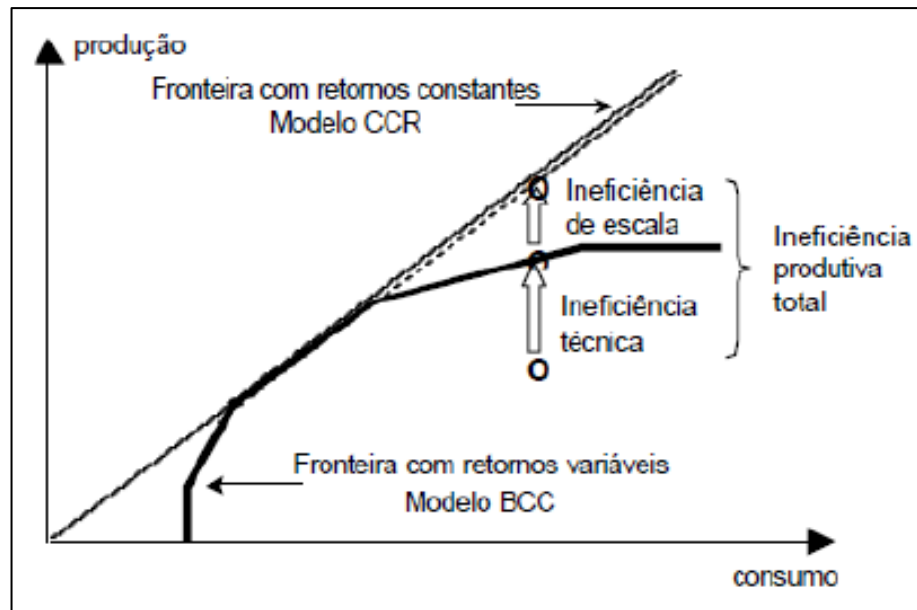
variações nos dados podem ocasionar grandes mudanças nas eficiências calculadas. Assim, um número maior de DMUs também auxilia na estabilização das respostas, tornando as avaliações mais confiáveis.

O resultado obtido por meio da implementação do DEA indica a capacidade de produzir o máximo rendimento a partir de um determinado número de entradas (Farrell, 1957), estando compreendido entre 0 e 1, sendo 1 o mais eficiente do grupo (Justen, 2019). Assim, a eficiência é definida a partir do desempenho observado das DMUs nas variáveis analisadas, sendo uma medida empírica, e não uma referência teórica ou conceitual. Tal medida pode ser considerada como um índice de aproveitamento de recursos, podendo servir de base para suas alocações e realocações. A quantificação dos recursos para cada unidade pode ser feita de forma proporcional ao índice de eficiência, desde que os recursos possam ser expressos como variável contínua. No caso de a variável ser discreta, a proporcionalidade não se aplica, já que quantidades fracionárias podem ser atribuídas às unidades em avaliação (Mello *et al.*, 2005).

Ao identificar uma unidade como eficiente, pressupõem-se que empregue uma certa quantidade de insumos para gerar certa quantidade de produtos, esperando-se que toda unidade eficiente produza a mesma quantidade de produtos para o mesmo nível de insumos empregados (Gomes, 2010). Unidades tidas como eficiente compõem a fronteira de eficiência, servindo de referência para redução de ineficiência das demais unidades, num processo denominado de *benchmarking* (Bogeroft e Nilsen, 2003). Tal redução pode ser realizada tanto na perspectiva dos *inputs*, por meio da redução do consumo das entradas e da manutenção do nível de saída (orientação *input*), quanto na perspectiva dos *outputs*, avaliando a possibilidade de aumentar o nível de saída, mantendo o nível das entradas (orientação *output*) (Thanassoulis, 2001). Nesse sentido, a utilização do DEA é versátil, pois sua orientação depende dos objetivos almejados.

Dentre os modelos de DEA mais encontrados na literatura estão o modelo CCR e o modelo BCC, cujas fronteiras podem ser visualizadas por meio a Figura 19.

Figura 19 – Representação das Fronteiras para os Modelos BCC e CCR



Fonte: Belloni (2000)

Embora os vários modelos de DEA procurem estabelecer quais subconjuntos de DMUs determinam partes de uma superfície envoltória, sendo a geometria desta superfície prescrita pelo modelo específico empregado, suas diferenciações consistem no tipo de orientação (direção de projeção da fronteira) e na suposição sobre o retorno de escala exibido pela tecnologia de produção (Oliveira, 2012, p.29). As principais propriedades desses modelos podem ser observadas por meio do Quadro 6.

Quadro 6 – Principais Propriedades dos Modelos CCR e BCC

Técnica	Modelo	Hipóteses	Eficiência	Forma da Fronteira	Informações Adicionais
DEA	CCR	Retornos Constante	Total	Reta 45°	Utilidades Metas e <i>Benchmarks</i>
	BCC	Retorno Variável	Técnica	Linear por partes	Utilidades Metas e <i>Benchmarks</i>

Fonte: Adaptado de Bezerra, Souza e Ribeiro (2021)

Tanto o modelo CCR quanto o BCC podem utilizar duas formas para maximizar a eficiência: orientação *input* ou orientação *output* (Penã, 2008). Se o foco for nos *inputs*, o objetivo é minimizar as entradas, conservando os mesmos níveis de resultado. Já se o foco for nos *outputs*, pressupõem-se que a partir dos mesmos níveis de entrada obtenham-se resultados otimizados (Bastos, 2020).

No que tange suas diferenças, enquanto o modelo CCR assume retornos de escala constantes, resultando em proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, o modelo BCC constitui uma extensão do modelo CCR, considerando que as unidades avaliadas apresentam retornos variáveis de escala, não assumindo proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* (Mello, 2005). Assim, tais rendimentos podem ser crescentes, caso as variáveis nos *outputs* sejam mais do que proporcionais às variações nos *inputs*, ou decrescentes, caso as variações nos *outputs* sejam menos que proporcionais às variações nos *inputs*.

Em virtude dos diferentes retornos de escala obtidos, os modelos CCR e BCC calculam diferentes tipos de eficiência. Enquanto o CCR calcula a eficiência total, comparando uma DMU com todas as suas concorrentes, o modelo BCC calcula a eficiência técnica, comparando uma DMU apenas com outras que operam em escalas semelhantes (Mariano, Almeida e Rebelatto, 2006).

2.4.1 Modelos DEA

Nesta seção são apresentados os modelos DEA CCR (*Constant Returns to Scale*) e BCC (*Variable Returns to Scale*), levando em consideração diferentes suposições sobre os retornos de escala e a forma com que cada modelo avalia a eficiência das unidades tomadoras de decisão.

2.4.1.1 Modelo CCR

O modelo CCR originalmente apresentado por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978, foi concebido inicialmente como um modelo orientado à entrada e que trabalhava com retorno constante de escala, isto é, qualquer variação nas entradas (*inputs*) produziria variação proporcional nas saídas (*outputs*). Segundo Charnes *et al.* (1996 *apud* Biondi Neto, 2001):

A característica essencial do modelo CCR é a redução de múltiplos produtos e múltiplos insumos (para cada DMU) para um único produto 'virtual' e um único insumo 'virtual'. Para uma DMU, a razão entre esse produto virtual e o insumo virtual fornece uma medida de eficiência que é função dos multiplicadores. Essa proporção, que será maximizada, forma a função-objetivo para a DMU "O" sendo avaliada.

A obtenção da eficiência técnica da DMU observada (DMU O) se dá por meio de um Problema de Programação Não Linear (PPNL) apresentado abaixo:

$$\text{Máx } h_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{i0}} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{ik}} \leq 1, k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$u_i v_j \geq \forall j, i \quad (3)$$

Onde:

h_0 = eficiência da DMU O (zero)

r = quantidade total de *inputs*

s = quantidade total de *outputs*

n = quantidade total de DMU

Y_{jk} = quantidade de *output* j para DMUk

X_{ik} = quantidade de *input* i para DMUk

u_j = peso referente ao *output* j

v_i = peso referente ao *input* i

Y_{j0} = quantidade de *output* j para DMU0 (DMU observada)

X_{i0} = quantidade de *input* i para DMU0 (DMU observada)

Devido a necessidade de determinar os valores dos pesos u_j e v_i de forma a maximizar a soma ponderada dos *outputs* (*output* "virtual") dividida pela soma ponderada dos *inputs* (*input* "virtual") da DMU em estudo (Lins e Ângulo-Meza, 2000, p.11), o modelo CCR sofreu variação, dando origem ao modelo de Programação Linear conhecido como Modelo dos Multiplicadores:

$$\text{Máx } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j Y_{j0} \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\text{Máx} h_0 = \sum_{j=1}^s u_j Y_{j0} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i X_{ik} \leq 0, k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i \quad (7)$$

Segundo Biondi Neto (2001, p. 58):

É possível derivar o dual do modelo dos multiplicadores (primal). Assim, o dual apresentará uma menor quantidade de restrições ($s + r < n + 1$), pois o modelo DEA exige que o número de DMUs seja maior que o número de variáveis. Pelas razões expostas e por ter solução computacional mais simples, o modelo dual, denominado Envelope, tem preferência sobre o dos Multiplicadores.

Assim o modelo do Envelope tem a seguinte formulação:

$$\text{Min} \theta \quad (8)$$

Sujeito a:

$$-Y_{j0} + \sum_{k=1}^n Y_{jk} \lambda_k \geq 0, j = 1, 2, \dots, s \quad (9)$$

$$\theta X_{j0} - \sum_{k=1}^n X_{ik} \lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r \quad (10)$$

$$\lambda_{kj} \geq 0, \forall k \quad (11)$$

2.4.1.2 Modelo BCC

O modelo BCC, elaborado por Banker, Charnes e Cooper em 1984, busca eliminar problemas existentes em situações de competição imperfeita, utilizando o retorno variável de escala. Por meio desse modelo é possível detectar a eficiência das DMUs, construindo a fronteira de produção com as unidades que atingirem o máximo da produtividade (*benchmarks*).

Neste modelo, os escores de eficiência dependem da orientação escolhida. Caso pretenda-se maximizar h_0 , a formulação do modelo segue o apresentado abaixo:

$$\text{Maximize } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + w \quad (12)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} \leq 1 \quad (13)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + w \leq 0, \text{ para todo } j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$-u_r \leq -e, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (15)$$

$$-v_i \leq -e, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

Caso o objetivo seja minimizar h_0 , utiliza-se a forma dual do BCC:

$$\text{Minimize } h_0 = \theta - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r - \varepsilon \sum_{i=1}^m e_i \quad (17)$$

Sujeito a:

$$X_{i0}\theta - e_i - \sum_{j=1}^n X_{ij}\lambda_j = 0, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

$$-s_r + \varepsilon \sum_{j=1}^n Y_{rj}\lambda_j = Y_{r0}, \text{ para todo } r = 1, 2, \dots, s \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (20)$$

$$\lambda_j \geq 0, \text{ para todo } j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

$$s_r \geq 0, \text{ para todo } r = 1, 2, \dots, s \quad (22)$$

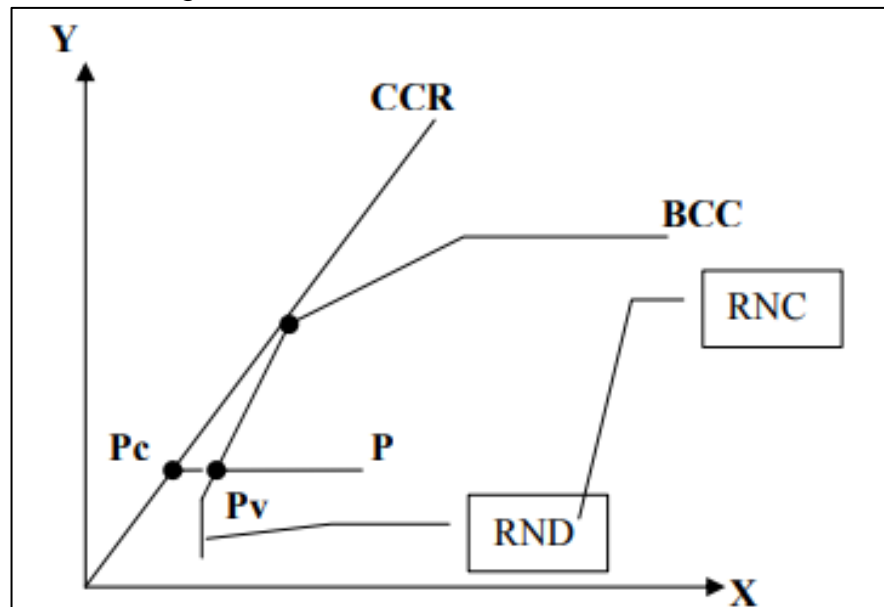
$$e_i \geq 0, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

2.4.2 Fronteira Eficiente DEA

Por meio da Figura 20 é possível observar a fronteira obtida com retornos constantes (CCR) e a obtida com retornos variáveis (BCC) para uma situação que envolve um insumo e um produto.

Enquanto a ineficiência técnica do modelo CCR é determinada pela distância PP_c , no modelo BCC ela é calculada pela distância PP_v . A diferença entre essas duas medidas ($PP_c - PP_v$) representa a ineficiência de escala (Casado e Souza).

Figura 20 – Eficiência Técnica e de Escala



Fonte: Casado e Souza

Além de identificar DMUs eficientes, os modelos DEA permitem medir e localizar ineficiências, além de estimar uma função de produção linear por partes, que serve como *benchmark* para as DMUs ineficientes, projetando-as na fronteira de eficiência. A forma como a projeção é realizada define a orientação do modelo, que pode ser orientado a *inputs*, quando o objetivo é minimizar os insumos mantendo as saídas constantes, ou orientado a *outputs*, quando se busca maximizar os resultados sem reduzir os recursos.

Caso a medida de eficiência de escala for igual a 1, se tratará de uma operação a retornos constantes de escala. Caso seja menor que 1, poderão ocorrer retornos crescentes ou decrescentes de escala, sendo necessário formular outro problema de programação, impondo restrições específicas para cada tipo de retorno.

2.4.3 Matriz de Correlação

Antes de aplicar a Análise Envoltória de Dados é importante verificar se os *inputs* e os *outputs* selecionados não são redundantes, pois a redundância pode distorcer os resultados da análise e comprometer a identificação das unidades eficientes (Kassai, 2002; Zhu, 2010; Correa *et al.* 2016; Rempel *et al.* 2017; Bastos *et al.*, 2020). Uma das abordagens para realizar essa verificação é por meio da matriz de correlação (Bastos *et al.*, 2020).

A matriz de correlação é uma ferramenta estatística que mostra a relação entre variáveis, medindo o grau de associação entre elas. Seus coeficientes variam de -1 a 1 (Gomes, 2024), conforme pode ser observado pelo Quadro 7.

Quadro 7 – Coeficientes da Matriz de Correlação

Coeficiente	Correlação	Significado
-1	Negativa perfeita	À medida que uma variável aumenta, a outra diminui.
0	Não há correlação	Variáveis não estão relacionadas
1	Positiva perfeita	À medida que uma variável aumenta, a outra também aumenta.

Fonte: Adaptado de Gomes (2024)

As variáveis estão dispostas tanto nas linhas quanto nas colunas da matriz e cada célula contém o valor do coeficiente de correlação referente ao seu respectivo par de variáveis. Valores próximos a 1 indicam correlação positiva forte (variáveis aumentam ou diminuem juntas); valores próximos de -1 representam correlação negativa forte (enquanto uma variável aumenta, a outra diminui) e valores próximos de zero indicam pouca ou nenhuma relação linear entre as variáveis (Gomes, 2024).

Uma forte correlação entre *inputs* sugere que eles possivelmente estejam medindo aspectos semelhantes de desempenho, enquanto que *outputs* redundantes indicam que os resultados estão altamente relacionados, podendo influenciar indevidamente a avaliação de eficiência (Adler e Golany, 2001; Cooper, Seiford e Tone, 2007). Para ambos os casos, faz-se necessário reavaliar as variáveis utilizadas, excluindo ou combinando as redundantes, de forma a garantir que sejam mantidas apenas as que fornecem informações distintas e úteis para avaliação da eficiência (Adler e Golany, 2001; Cooper, Seiford e Tone, 2007).

2.4.4 Benchmarking

A determinação de *benchmarks* é uma das características gerenciais mais importantes dos modelos DEA clássicos (Mello *et al.*, 2003), pois fornece uma referência de comparação para as unidades de decisão. De acordo com Spendolini (1994 *apud* Vasconcellos, Canen e Lins, 2004), o *benchmarking* envolve um conjunto de ações voltadas para atingir metas quantitativas ou mensuráveis utilizando dados coletados de empresas ou unidades que apresentam melhor desempenho em determinada atividade.

Dessa forma, o *benchmarking* pode ser entendido como um processo sistemático para a identificação de melhores práticas, tanto no ambiente interno quanto externo, e para ajustar o conhecimento existente, de modo a alcançar desempenho superior (Cavalcante e Faria, 2009). Para Camp (1996 *apud* Cavalcante e Faria, 2009), tal processo é contínuo e sistemático, convertendo-se em medidas operacionais que indicam as mudanças necessárias nos insumos e/ou nos produtos para transformar unidades ineficientes em eficientes.

2.5 ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE DE MALMQUIST

A Análise de Malmquist permite realizar uma avaliação dinâmica do desempenho das unidades tomadoras de decisão ao longo do tempo, de modo a compreender sua evolução e identificar fontes de variação entre períodos.

Diferentemente do DEA, cujo foco é na eficiência relativa entre as DMUs ao longo de um único período, o Índice de Malmquist contribui para a compreensão da variação temporal da eficiência, ao fornecer uma análise dinâmica que pode ser decomposta em termos de mudanças nas eficiências técnicas e tecnológicas (Ray, 2004; Cook e Zhu, 2008; Ferreira e Gomes, 2009; Costa, 2012 *apud* Oliveira, 2014).

Esse índice foi inicialmente proposto por Sten Malmquist na análise do comportamento do consumidor (Malmquist, 1953; Lovell, 1996 *apud* Oliveira, 2014). Nesse estudo, comparou-se a quantidade de insumos utilizados por uma firma entre dois períodos de tempo, mantendo-se a mesma quantidade de produto (Oliveira, 2014). Caves, Christensen e Diewert, em 1982, introduziram o conceito de índice de Malmquist na análise de produção e, em 1994, Färe e colaboradores reconheceram que a função de distância implícita em tal índice, era recíproca à avaliação da

eficiência técnica proposta por Farrel em 1957, desenvolvendo o “índice de produtividade de Malmquist” para avaliar a produtividade de DMUs ao longo do tempo (Oliveira, 2014).

Nesse contexto:

O Índice de Malmquist mostra o crescimento da produtividade total dos fatores de produção (PTF) ou *total fator productivity* (TFP) das DMUs, na medida em que reflete as alterações em termos de eficiência técnica aliadas às mudanças no progresso tecnológico entre períodos de tempos distintos, admitindo-se o emprego de múltiplos *inputs* que geram múltiplos *outputs* (Cooper; Seiford; Tone, 2007; Cook; Zhu, 2008; Costa, 2012 *apud* Oliveira, 2014).

Seu cálculo é realizado por meio da média geométrica de dois índices. No primeiro, usa-se como referência a fronteira do período base “t-1” (anterior), enquanto no segundo usa-se a fronteira do período “t” (atual). Assim, um valor de $M_0 > 1$ indica evolução da produtividade total dos fatores (PTF) entre os períodos “t” e “t-1”, ao passo que $M_0 < 1$ indica declínio de produtividade (Lobo *et al.* 2008 *apud* Oliveira, 2014).

Conforme Lobo *et al.* (2008 *apud* Oliveira, 2014), o Índice de Malmquist orientado a insumo é dado por:

$$M_0 = \left\{ \frac{d_0^{t-1}(X_0^t, Y_0^t)}{d_0^{t-1}(X_0^{t-1}, Y_0^{t-1})} * \frac{d_0^t(X_0^t, Y_0^t)}{d_0^t(X_0^{t-1}, Y_0^{t-1})} \right\}^{1/2} \quad (24)$$

Onde:

$d_0^{t-1}(X_0^t, Y_0^t)$ corresponde à medida de avaliação da eficiência técnica da DMU_0 no período “t-1”, obtida pelas observações de todas as DMUs no período “t-1”, de forma que $d_0^{t-1}(X_0^t, Y_0^t) = \theta_0^{t-1}$;

$d_0^t(X_0^t, Y_0^t)$ corresponde à medida de avaliação da eficiência técnica da DMU_0 no período “t”, obtida pelas observações de todas as DMUs no período “t”, de forma que $d_0^t(X_0^t, Y_0^t) = \theta_0^t$;

$d_0^{t-1}(X_0^{t-1}, Y_0^{t-1})$ corresponde à medida de avaliação da eficiência técnica da DMU_0 obtida ao substituir os dados da DMU_0 no período “t-1” por aqueles do período “t”, desde que as observações das demais DMUs tenham sido realizadas em “t-1”;

$d_0^t(X_0^{t-1}, Y_0^{t-1})$ corresponde à medida de avaliação da eficiência técnica da DMU_0 obtida ao substituir os dados da DMU_0 no período “t” por aqueles do período “t-1”, desde que as observações das demais DMUs tenham sido realizadas no período “t”.

Por meio da forma decomposta do Índice de Malmquist é possível separar as fontes de variação de produtividade em mudança técnica e mudança tecnológica (Lobo *et al.*, 2008 *apud* Oliveira, 2014):

$$M_0(X_t, Y_t, X_{t-1}, Y_{t-1}) = \frac{d_0^t(x_t, y_t)}{d_0^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})} * \left[\frac{d_0^{t-1}(x_t, y_t)}{d_0^t(x_t, y_t)} * \frac{d_0^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})}{d_0^t(x_{t-1}, y_{t-1})} \right]^{1/2} \quad (25)$$

As denominações das parcelas decompostas do Índice de Malmquist, juntamente com a descrição de suas respectivas funções podem ser observadas por meio do Quadro 8

Quadro 8 – Decomposição do Índice de Malmquist

Expressão	Denominação	Função
$\frac{d_0^t(x_t, y_t)}{d_0^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})}$	Varição na eficiência técnica (<i>Catch-up</i>)	Avaliar a mudança na eficiência relativa da unidade observada.
$\left[\frac{d_0^{t-1}(x_t, y_t)}{d_0^t(x_t, y_t)} * \frac{d_0^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})}{d_0^t(x_{t-1}, y_{t-1})} \right]^{1/2}$	Varição na eficiência tecnológica (<i>Frontier Shift</i>)	Medir a variação da fronteira tecnológica entre dois períodos ("t" e "t-1")

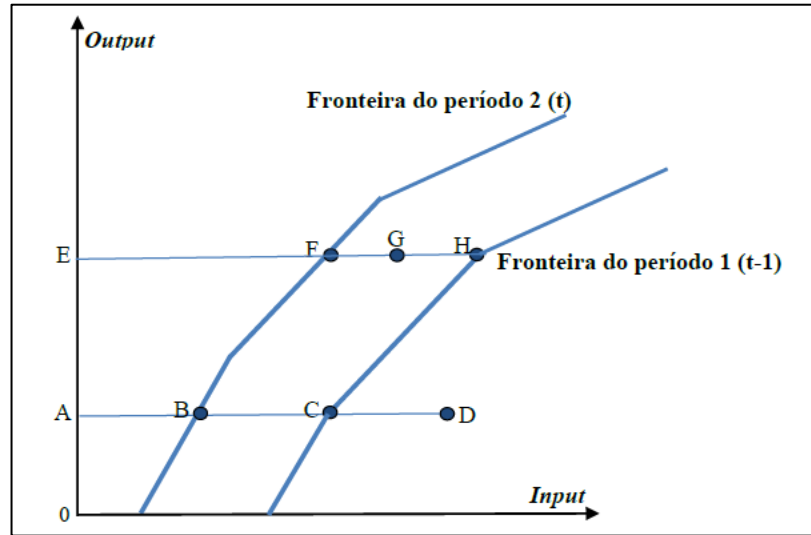
Fonte: Adaptado Oliveira (2014)

Assim, observa-se que o Índice de Malmquist é obtido por meio da multiplicação entre a variação da eficiência técnica global (ETG) e a variação da eficiência tecnológica (ET). Enquanto a eficiência técnica está associada ao incremento da produção fixando *inputs*, ou a minimização dos *inputs* fixando a produção, a eficiência tecnológica está associada a combinação de diferentes insumos para transformá-los em produtos, isto é, ao processo de produção (Oliveira, 2014). Avaliar essas parcelas de eficiência é importante, pois permitir identificar se uma eventual mudança de eficiência relativa entre períodos é resultante do aumento da produtividade da unidade observada ou da contração da fronteira de produção (Lobo *et al.*, 2008 *apud* Oliveira, 2014).

A comparação das eficiências técnicas entre dois períodos de tempo, também denominada de emparelhamento ou de *catch-up effect*, pode ser visualizada por meio da Figura 21. Os deslocamentos no sentido da fronteira tecnológica (*frontier-shift*) entre "t" e "t-1" indicam ganhos de eficiência no Índice de Malmquist, permitindo às

DMUs ganho na produtividade total dos fatores (PTF), caso não tenha ocorrido regressão tecnológica (Ferreira e Gomes, 2009 *apud* Oliveira, 2014).

Figura 21 – Comparativo da Eficiência Técnica entre Períodos



Observa-se que o efeito de emparelhamento é determinado pelos escores de eficiência técnica medidos pelas distâncias das DMUs em relação às respectivas fronteiras eficientes (Ferreira e Gomes, 2009 *apud* Oliveira, 2014). Dessa forma, de acordo com Färe *et al.* (1994 *apud* Oliveira, 2014) a melhora na produtividade está associada ao índice de Malmquist ser maior do que uma unidade; já regressão no desempenho está associada ao índice ser inferior a uma unidade e caso o índice seja igual a 1, há permanência da eficiência técnica.

Os avanços na produtividade de uma DMU podem ser decorrentes de inovações tecnológicas, ocasionando deslocamento da fronteira resultante da introdução de novas tecnologias (Ferreira e Gomes, 2009). Na Figura 21, a ET pode ser descrita como $ET = (AC/AD)/(AB/AD)$, onde resultado >1 indica progresso da tecnologia; resultado <1 indica regresso tecnológico e resultado $=1$ indica permanência da tecnologia.

De acordo com Ferreira e Gomes (2009 *apud* Oliveira, 2014), três condições são necessárias para identificar quais DMUs estão deslocando a fronteira tecnológica (efeito *frontier shift*) entre dois períodos de tempo (“t-1” e “t”), sendo elas:

$$\left[\frac{d_0^{t-1}(x_t, y_t)}{d_0^t(x_t, y_t)} * \frac{d_0^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})}{d_0^t(x_{t-1}, y_{t-1})} \right]^{1/2} > 1 \quad (26)$$

$$d_0^{t-1}(x_t, y_t) > 1 \quad (27)$$

$$d_0^t(x_t, y_t) = 1 \quad (28)$$

A primeira condição, representada pela equação (26), é que haja mudança tecnológica. A segunda condição, equação (27), é que o produto da unidade de produção do período “t” seja superior ao máximo produto potencial obtido no período “t-1”, utilizando as mesmas quantidades de fatores de produção. A terceira condição, representada pela equação (28), indica que caso haja deslocamento da fronteira de produção, a unidade de produção deve estar situada sobre ela.

De uma forma geral, por meio de sua implementação, é possível analisar os fatores descritos por meio do Quadro 9.

Quadro 9 – Fatores de análise obtidos pelo Índice de Malmquist

Fator de análise	Descrição
Índice de Produtividade Total dos Fatores (TFP)	Mede as mudanças na produtividade (TFP) total dos fatores ao longo do tempo: Índice >1 = aumento da produtividade Índice <1 = redução da produtividade.
Mudanças de eficiência técnica (Effch)	Reflete como a eficiência de uma DMU mudou entre dois períodos, sem levar em consideração as mudanças tecnológicas. Isso indica se a DMU se tornou mais ou menos eficiente em relação à sua fronteira de eficiência ao longo do tempo.
Mudanças tecnológicas (Techch)	Avalia as mudanças na fronteira tecnológica, indicando se a tecnologia disponível melhorou ou piorou. Uma fronteira tecnológica com valor maior do que 1 sugere inovação/ avanços tecnológicos.
Mudanças de eficiência pura (Pure Efficiency Change)	Mede a eficiência relacionada a habilidade da DMU em converter insumos em produtos, independentemente da escala em que opera.
Mudança de eficiência de escala (scale efficiency change)	Avalia a variação na eficiência devido ao tamanho da operação, indicando se a unidade está operando em escala ideal ou se poderia melhorar sua eficiência alterando seu tamanho.

Fonte: Adaptado Oliveira (2014)

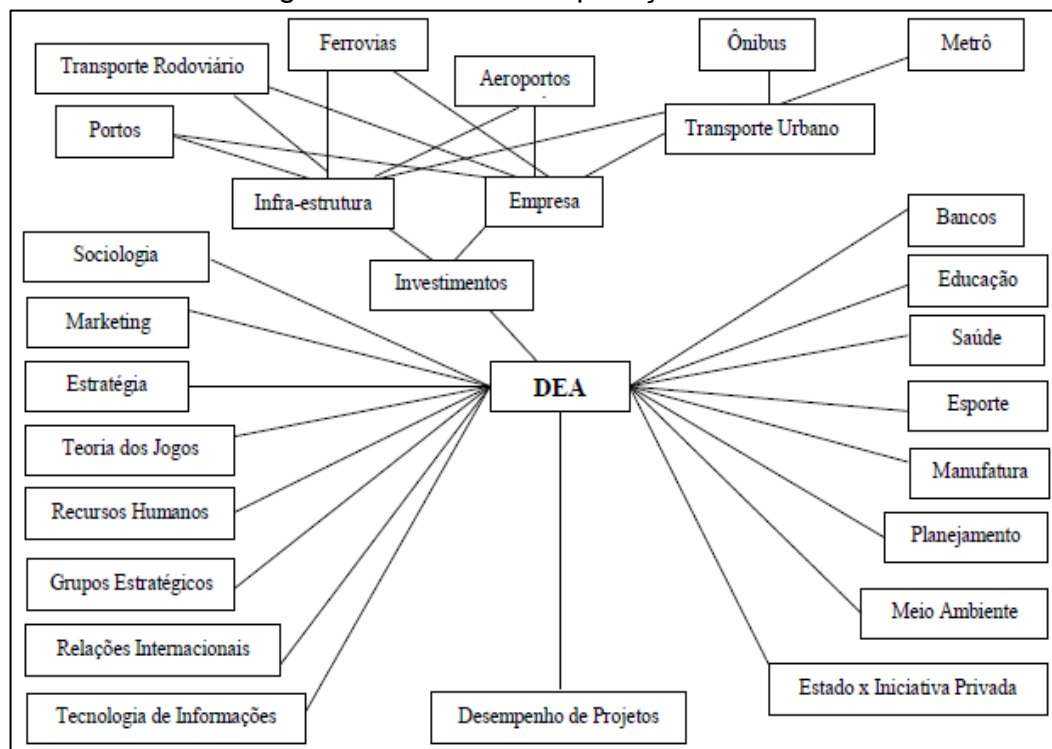
Enquanto a Eficiência Técnica indica se as unidades estão utilizando seus recursos de maneira mais eficiente de um ano para o outro, considerando a mesma fronteira de produção, a Eficiência Tecnológica reflete a mudança nessa fronteira,

entre períodos, avaliando se houve avanços tecnológicos ou inovações que permitiram o uso dos mesmos recursos, mas de uma forma mais produtiva.

2.6 PESQUISA SISTÊMICA

Dentre as modelagens quantitativas para tomada de decisão, a que mais vem se destacando é a Análise Envoltória de Dados (Bal, Örkeu e Çelebioglu, 2010 *apud* Silva *et al.*, 2011). Seu uso em diversos setores econômicos, conforme demonstrado pela Figura 22, se justifica por possibilitar a classificação das unidades, a identificação de fontes de ineficiência, a avaliação da eficácia de programas políticos e de gestão, e por fornecer base quantitativa para distribuição de recursos (Liu, Lu, Lu e Lin, 2013).

Figura 22 – Áreas de aplicação da DEA



Fonte: Mariano, Almeida, Rebelatto (2006)

Por viabilizar análises que podem ser utilizadas pelos gestores, possibilitando criação e monitoramento de políticas públicas, Machado Junior, Irffi e Benegas (2011 *apud* Silva, 2021) defenderam seu uso na avaliação da eficiência da alocação de recursos públicos. Ademais, outros autores também contribuíram para o estudo, conforme pode ser observado por meio do Quadro 10.

Quadro 10 – Trabalhos relacionados

Autor, Ano	Objetivos, <i>Inputs</i> , <i>Outputs</i> e Metodologia
AGASISTI, (2011)	Utilizar DEA para medir a eficiência do ensino superior em países europeus. <i>Inputs</i> : Gastos com educação em percentual do PIB, ingressos anuais de alunos e número de professores por estudante. <i>Outputs</i> : Porcentagem da população entre 25 e 34 anos com ensino superior de qualidade e a quantidade de matrículas de graduação.
FERREIRA (2020)	Aplicar DEA BCC orientado a <i>output</i> para avaliar a eficiência dos gastos públicos em educação nos municípios do estado de Pernambuco entre 2011 e 2017. <i>Inputs</i> : repasse do FUNDEB para o município com educação fundamental (1º ao 5º); quantidade de alunos matriculados neste mesmo nível da rede municipal de ensino. <i>Outputs</i> : notas do IDEB para os anos iniciais.
FIRMINO (2013)	Aplicar DEA para avaliar a eficiência dos gastos públicos nos municípios paraibanos entre 2007 e 2009. <i>Inputs</i> : Receitas das transferências do FUNDEB e outras fontes de recursos para educação básica. <i>Outputs</i> : Resultado dos Índices de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEBS).
SANTOS; ROVER (2019)	Identificar a influência de práticas de governanças públicas na eficiência da aplicação de recursos públicos em educação e saúde nos municípios brasileiros, utilizando DEA BCC orientado a <i>output</i> . <u><i>Inputs</i> educação</u> : Gasto por aluno com educação; produto interno bruto municipal per capita. <u><i>Outputs</i> educação</u> : IDEB dos alunos do 5º ano; IDEB dos alunos do 9º ano; inverso da taxa de alunos de 6 a 14 anos no ensino fundamental com 2 anos ou mais de atraso; taxa de atendimento de crianças e 6 a 14 anos na escola. <u><i>Inputs</i> saúde</u> : Gasto per capita com saúde e saneamento; PIBM per capita. <u><i>Outputs</i> saúde</u> : % da população atendida pelo programa saúde da família; inverso da taxa de mortalidade infantil; % nascidos vivos cujas mães realizaram 7 ou mais consultas de pré-natal; proporção de domicílios particulares permanentes com saneamento adequado.
SANTOS; FREITAS; FLACH (2015)	Avaliar a eficiência da alocação dos recursos nos municípios de Santa Catarina, em 2010. <i>Inputs</i> : Gasto per capita com educação e cultura dos municípios; rendimento médio mensal dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes de cada município. <i>Outputs</i> : Taxa de atendimento as crianças em diferentes faixas etárias.
SILVA; SOUZA; ARAUJO (2013)	Avaliar a eficiência da alocação de recursos públicos em educação nas capitais brasileiras, nos anos de 2007 a 2009. <i>Inputs</i> : Despesa com ensino fundamental; número de alunos matriculados; número de professores; número de escolas. <i>Outputs</i> : IDEB

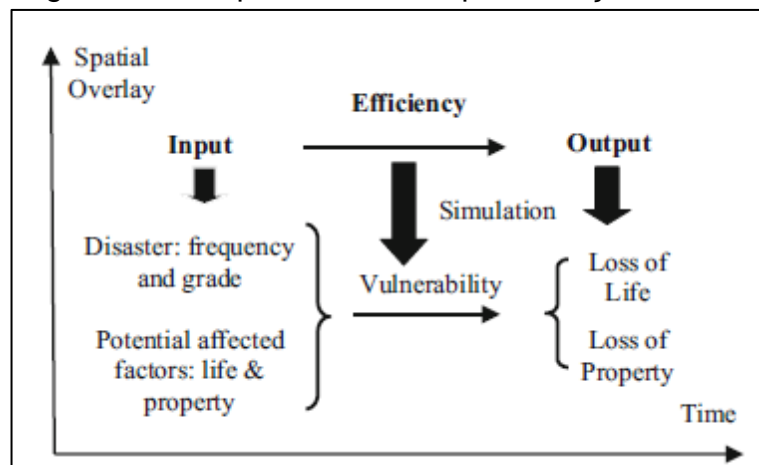
Fonte: O Autor (2024)

No contexto dos desastres, Zou e Wei avaliaram os impactos dos perigos costeiros sobre a economia social no Sudeste Asiático. Para tal, aplicaram o modelo DEA CCR, utilizando variáveis de entrada que representavam o desenvolvimento econômico e variáveis de saída que refletiam as perdas geradas pelos desastres, como o número de mortos, o número de pessoas afetadas e os prejuízos estimados em dólares.

Wu, Ma e Li (2023) utilizaram o modelo BCC da Análise Envoltória de Dados para avaliar a vulnerabilidade de 31 provinciais regionais chinesas e refletir a sensibilidade das regiões aos desastres naturais, durante o período de 2006 a 2021. O modelo foi implementado por meio do software DEAP versão 2.1, levando em consideração 5 *inputs*, sendo eles: a população total regional; o PIB per capita; a densidade populacional, o PIB por quilômetro quadrado e o total de investimento fixo na região em termos de conservação de água, do meio ambiente e da gestão das instalações públicas. Os *outputs* definidos foram as pessoas afetadas e as perdas econômicas diretas.

Li, Lv, Chen e Jiang (2015) aplicaram a análise DEA em três estágios para avaliar a evolução da vulnerabilidade das 31 províncias chinesas entre 2005 e 2011. O modelo foi implementado no software EMS, estando representado por meio da Figura 23. Foram considerando como fatores de entrada a frequência e a gravidade dos desastres, além de elementos potencialmente afetados, como a média da densidade populacional e a média do PIB acumulado em cada província ao longo dos anos. Como fatores de saída, foram utilizadas a média das pessoas mortas e feridas, bem como a média das perdas econômicas em cada província no mesmo período.

Figura 23 – Esquemático da implementação da DEA



Fonte: Li, Lv, Chen e Jiang (2015)

Gao, Yu, Xi e Zhao (2023) utilizaram o DEA para avaliar a vulnerabilidade causada por desastres sísmicos ocorridos entre 2013 e 2020 em unidades de condado na China, com intuito de decompor os resultados obtidos em vulnerabilidade puramente tecnológica e vulnerabilidade de escala, avaliando-os sob aspectos quantitativos e qualitativos, de forma a obter *insights*. As variáveis de entrada utilizadas foram: energia relacionada ao desastre sísmico; densidade populacional e a densidade do PIB (PIB médio por km²). Como saída, foram consideradas as perdas econômicas diretas, relacionadas aos danos materiais gerados pelos desastres; e o número de vítimas.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os conceitos base para compreensão do trabalho, no que tange desastres e suas respectivas classificações. Explorou-se as atividades desempenhadas pela defesa civil mediante tais ocorrências. Abordou-se Análise Envoltória de Dados, explicando e apresentando seus modelos matemáticos, bem como seu uso na literatura, em áreas similares às deste trabalho.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a caracterização da pesquisa em termos de sua natureza, da forma de abordagem do problema, dos propósitos e dos procedimentos utilizados. Também está definido o método de pesquisa, bem como a descrição sucinta de suas etapas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres, por meio da Análise Envoltória de Dados. Em termos de sua natureza, pode ser caracterizada como aplicada, pois busca gerar conhecimento para solução de problemas específicos e aplicados (Silva e Menezes, 2005), além de coletar e analisar os dados seguindo uma metodologia estruturada (Afonso *et al.*, 2011 *apud* Oliveira, 2014).

Quanto à forma de abordagem do problema, classifica-se como quantitativa, pois utiliza modelos matemáticos e vale-se de recursos e técnicas estatísticas para análise de dados (Richardson, 1999 *apud* Oliveira, 2011). Do ponto de vista do seu propósito, caracteriza-se como exploratório, pois busca fornecer critérios sobre a situação problema enfrentada pelo pesquisador e sua compreensão (Malhotra, 2001), além de objetivar conhecer as variáveis de estudo para obter maiores informações sobre um determinado assunto (Kassai, 2002; Afonso *et al.*, 2011).

No que se refere aos procedimentos técnicos utilizados, pode ser classificado como estudo de caso, por permitir investigar um fenômeno em profundidade, em seu contexto real, tentando esclarecer o motivo pelo qual uma decisão ou um conjunto de decisões foram tomados, como foram implementados e quais foram os resultados alcançados (Miguel, 2006).

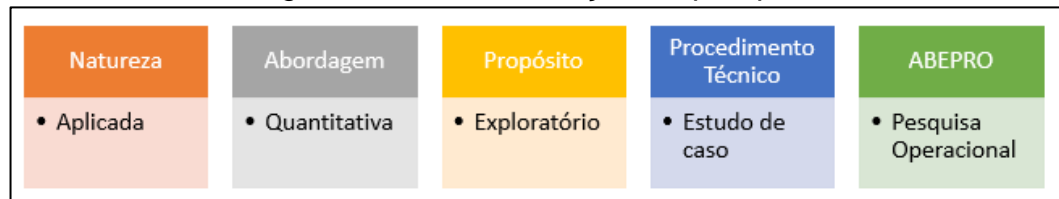
Com relação aos dados coletados, os mesmos podem ser classificados como secundários, pois referem-se a informações que não possuem relação direta com o acontecimento registrado e foram reunidos para finalidades diferentes do objetivo imediato deste estudo (Richardson, 1999 *apud* Mello, 2018).

Em relação às áreas da Engenharia de Produção definidas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), define-se que o presente estudo se

enquadra na área de Pesquisa Operacional, com foco na modelagem, simulação e otimização.

Diante disso, a caracterização da presente pesquisa pode ser resumida em termos de sua natureza, de sua abordagem, de seu propósito, dos procedimentos técnicos adotados e da área ABEPRO, conforme representado por meio da Figura 24.

Figura 24 – Caracterização da pesquisa

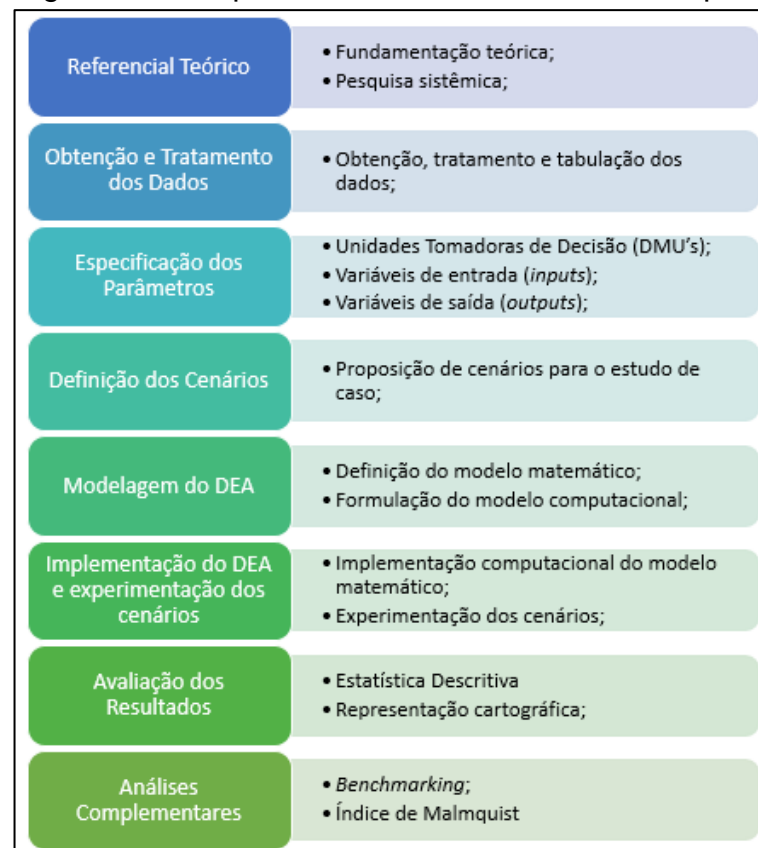


Fonte: O Autor (2024)

3.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para atender o objetivo proposto nesse trabalho, foram estabelecidas as etapas representadas pela Figura 25.

Figura 25 – Etapas do Desenvolvimento da Pesquisa



Fonte: O Autor (2024)

Inicialmente realizou-se a pesquisa bibliográfica dos principais conceitos relacionados ao tema proposto e, a partir disso, elaborou-se a fundamentação teórica, abordando: definição, classificação, impacto e gestão dos desastres; eficiência dos gastos públicos; análise envoltória de dados e seus respectivos modelos; matriz de correlação, *Benchmarking* e Índice de Malmquist. Adicionalmente, conduziu-se uma pesquisa sistêmica, buscando estudos relacionados que ilustrassem a aplicação prática do DEA no contexto de alocação de recurso, da avaliação de eficiência e dos desastres naturais.

Posteriormente, coletaram-se dados relacionados ao tema em sites públicos de domínio governamental, tratando-os e organizando-os em tabelas, de forma a facilitar o manuseio e a análise. Com os dados estruturados, definiram-se os parâmetros requeridos pelo modelo DEA, em termos de unidades tomadoras de decisão e das variáveis de entrada e saída. Também foram propostos cenários para a realização do estudo de caso.

Na etapa seguinte, definiu-se o modelo matemático a ser utilizado e formulou-se o modelo computacional, implementando-o no *software* R, por meio da interface R Studio. Os cenários propostos foram testados e os resultados obtidos foram apresentados sob a forma de tabelas e gráficos, bem como representados cartograficamente quando aplicável.

Por fim, foram realizadas análises de *Benchmarking* do Índice de Malmquist, identificando alvos específicos de desempenho para as unidades analisadas e proporcionando uma visão mais abrangente sobre a eficiência na alocação de recursos ao longo do tempo.

3.2.1 Delimitações do Trabalho

A presente pesquisa se delimita à avaliação da eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres. O estudo abrange o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2023 e desconsidera fatores exógenos, tais como políticas regionais e condições econômicas específicas.

Os dados utilizados foram, em sua totalidade, extraídos de fontes públicas e obtidos por meio de sites de domínio governamental. Assim sendo, o estudo está

limitado e sujeito à qualidade e precisão das informações disponibilizadas publicamente, que podem influenciar nos resultados da análise.

Em virtude da ausência de informações sobre repasses orçamentários para determinados estados, em determinados períodos, a análise de Malmquist será limitada aos estados para os quais as informações estavam disponíveis em todos os períodos, garantindo consistência dos dados utilizados. Como consequência, as conclusões obtidas por meio dessa análise deverão estar associadas aos respectivos estados e não às regiões, visto que estas não estão representadas em sua totalidade.

Adicionalmente, ressalta-se que a ausência de informações sobre os repasses orçamentários podem estar associadas a falhas no preenchimento dos registros (houve repasse, mas não foram registrados), ou à inexistência efetiva dos mesmos durante determinados períodos. Compreender suas causas requer estudo mais aprofundado acerca das origens da indisponibilidade dos valores, o que não será abordado neste trabalho.

Em relação à implementação tanto do DEA, quanto do *Benchmarking* e do Índice de Malmquist, ressalta-se que não foram desenvolvidos modelos matemáticos para o contexto em questão, mas sim utilizados os já preexistentes, que foram adaptados para atender as particularidades requeridas. Dessa forma, suas formulações matemáticas não são abordadas em profundidade no presente estudo.

4 MODELO DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA PROPOSTO

Este capítulo detalha as etapas requeridas para implementação da DEA, para avaliar a eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres. Também são descritos os procedimentos adotados para realização das análises de *Benchmarking* e do Índice de Malmquist.

4.1 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

O estudo utilizou dados do tipo secundário para realização das análises, extraíndo-os de fontes oficiais do governo, incluindo sites como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Tribunal de Contas da União (TCU); Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) e Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Os mesmos foram obtidos em formato de planilha eletrônica e organizados conforme Quadro 11, abrangendo o período de 2013 a 2023 e contemplando os 26 estados brasileiros.

Quadro 11 – Tabulação dos Dados Obtidos

Planilha	Descrição	Fonte
dados_orcamentos	Contempla os valores globais, empenhado e pago pelo governo para Gestão de Riscos e Desastres, para cada UF, em cada ano.	TCU (s.d)
população_ano	Abrange a população residente em cada estado brasileiro, em cada ano.	IBGE (a)
pib_2013_2023	Abrange o PIB per capita em bilhões de reais, por UF, por ano.	IBGE (b)
mdr_sedec_dados_informados_ano	Contempla o relatório gerencial dos danos informados por município, por ano.	MIDR(a)

Fonte: O Autor (2024)

4.2 ESPECIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS

Os parâmetros de análise para o presente estudo (Quadro 12) compreendem a definição das DMUs, das variáveis de entrada e saída, e do modelo DEA aplicável. Para tal, foram considerados dois critérios, sendo eles:

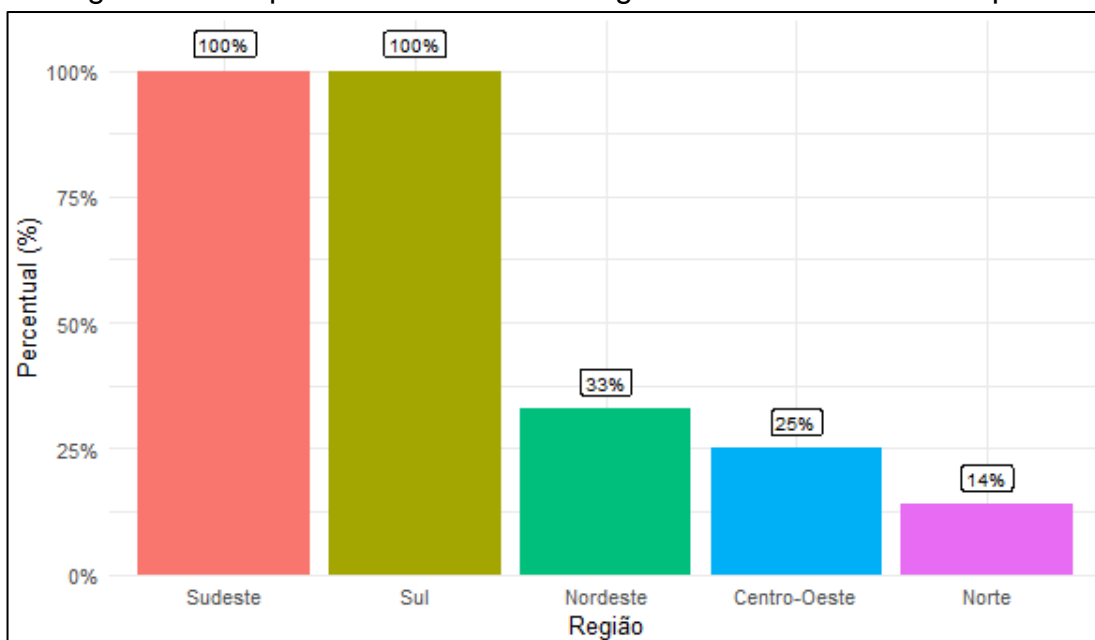
- (a) variáveis e modelo utilizados em estudos similares, resumidos na seção 2.6 deste trabalho;

(b) disponibilidade dos dados.

Diante dos critérios mencionados, definiram-se como DMUs os 26 estados brasileiros, com exclusão do Distrito Federal devido à indisponibilidade de dados referentes aos danos causados pelos desastres. Para cálculo do Índice de Malmquist, consideraram-se para análise os 12 estados brasileiros, cujos dados estavam disponíveis para todos os períodos, sendo eles: AM, BA, CE, ES, MG, MT, PE, PR, RJ, RS, SC e SP.

Observa-se, conforme Figura 26, que embora as regiões Sul e Sudeste estejam contempladas em sua totalidade na análise de Malmquist, menos da metade dos estados das regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte foram considerados. Isso se deve à indisponibilidade de informações sobre repasses orçamentários, em determinados anos, para os estados desconsiderados. Essa ausência de informações pode estar associada tanto a inconsistências nas informações disponibilizadas, resultantes de falhas nos processos de preenchimento dos dados (como repasses realizados, mas não devidamente registrados), quanto à real ausência de repasses, requerendo análises aprofundadas para compreensão, que não serão contempladas nesse trabalho. Como consequência, as conclusões obtidas devem estar associadas exclusivamente aos estados considerados, não sendo possível expandi-la em termos de regiões, uma vez que estas não estão representadas em sua totalidade.

Figura 26 – Representatividade das Regiões na Análise de Malmquist



Fonte: O Autor (2024)

No que diz respeito à escolha dos fatores, definiu-se que as entradas representariam os recursos disponíveis, bem como as características demográficas e econômicas que influenciam a capacidade de resposta diante dos desastres. As saídas representariam as consequências geradas por esses eventos, as quais se pretende minimizar por meio da aplicação do DEA.

Quadro 12 – Especificação das Variáveis

Fatores	Indicador	Unidade	Variável	Fonte
Execução orçamentária empenhada/paga	- Gestão Pública	Monetária (R\$)	<i>Input</i>	TCU
PIB per capita	- Econômico	Monetária (R\$)	<i>Input</i>	IBGE
Total de Danos Humanos	- Risco - Impacto Social	Número de Afligidos	<i>Output</i>	MIDR
Total de Danos Materiais	- Risco - Vulnerabilidade	Quantidade de danos materiais	<i>Output</i>	MIDR
Valor Total Danos Materiais	- Econômico	Monetária (R\$)	<i>Output</i>	MIDR
Registros de desastres	- Risco - Vulnerabilidade	Número de Registros de desastres	<i>Output</i>	MIDR

Fonte: O Autor (2024)

Por meio do Quadro 13 é possível observar as variáveis de entrada definidas.

Quadro 13 – Descrição das Variáveis de Entrada

	Fatores	Descrição
<i>Inputs</i>	PIB per capita	Reflete a média de riqueza ou produção econômica por pessoa em uma determinada área.
	Execução orçamentária empenhada /paga	Valor do orçamento empenhado/pago pelo governo federal para repasse aos Municípios, para pagamento de ações destinadas à gestão de riscos, prevenção, preparação, resposta a desastres, reabilitação e reconstrução de áreas danificadas/ destruídas por calamidades.

Fonte: O Autor (2024)

Por meio do Quadro 14 é possível observar as variáveis de saída definidas, bem como suas respectivas descrições.

Quadro 14 – Descrição das Variáveis de Saída

	Fatores	Descrição
<i>Outputs</i>	Danos Humanos	Contempla o somatório do número de mortos, feridos, enfermos, desalojados, desabrigados, desaparecidos e outros afetados.
	Danos Materiais	Compreende o somatório do número de unidades habitacionais, de instalações públicas de saúde, de instalações públicas de ensino, de instalações públicas prestadoras de outros serviços, de instalações públicas de uso comunitário e de obras de infraestrutura pública que tenham sido danificadas ou destruídas
	Valor dos danos materiais	Compreende o somatório do valor monetário das unidades habitacionais, das instalações públicas de saúde, das instalações públicas de ensino, das instalações públicas prestadoras de outros serviços, das instalações públicas de uso comunitário e das obras de infraestrutura pública que tenham sido danificadas ou destruídas
	Registros de ocorrências	Somatório das ocorrências registradas para cada estado ao longo do ano.

Fonte: O Autor (2024)

Para escolha do modelo DEA aplicável, levou-se em consideração tanto o abordado pela literatura em trabalhos anteriores, como mencionado no capítulo 2.6, quanto a relação entre as variáveis. Dadas as diferenças de escala entre os estados analisados, tanto em termos de tamanho quanto de capacidade econômica, optou-se pela adoção do modelo DEA BCC, por considerar retornos variáveis de escala e não assumir proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* (Banker, Charnes e Cooper, 1984 *apud* Santos, Freitas e Flach, 2020). Além de possibilitar a avaliação da eficiência técnica, esse modelo permite identificar retornos crescentes ou decrescentes na escala de alocação de recursos, considerando as particularidades de cada estado (Meza *et al.*, 2005 *apud* Tiscoski, 2016). Ademais, ao comparar apenas DMUs que operam em escalas semelhantes no cálculo da eficiência técnica (Mariano *et al.*, 2006), o DEA BCC assegura uma análise mais justa e adequada ao contexto do estudo proposto.

Em relação à forma de maximização das eficiências, optou-se pela orientação às saídas (*output*), dado o objetivo de maximizá-las considerando determinado nível de insumos alocados (Fonseca *et al.*, 2018; Tshaffon e Meza, 2014).

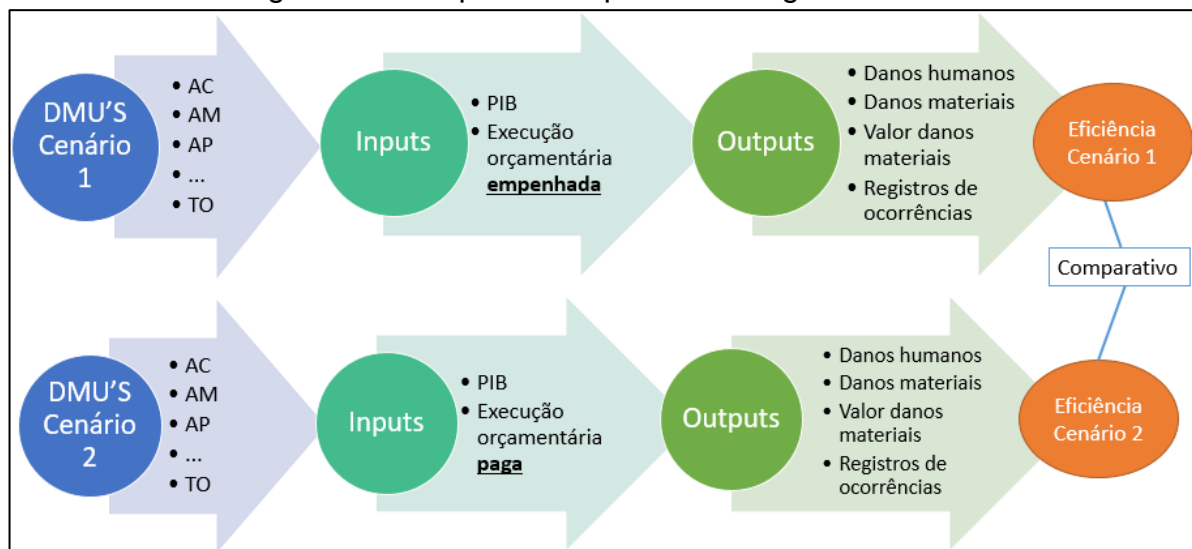
4.3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Com base nos dados disponíveis, foram definidos dois cenários de análise: um no qual uma das entradas consiste na execução orçamentária empenhada e outro que consiste na execução orçamentária paga. O objetivo é compreender se há falta de recursos para gestão de riscos e desastres ou se há uma má alocação dos recursos existentes por parte dos estados brasileiros.

4.4 MODELAGEM DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Por meio da Figura 27 é possível observar o esquemático para aplicação da DEA em ambos os cenários. Para cada um deles, definiram-se como DMUs os 26 estados brasileiros e atribuíram-se 2 variáveis de entrada (*inputs*) e 4 variáveis de saída (*outputs*)

Figura 27 – Esquemático para Modelagem da DEA



Fonte: O Autor (2024)

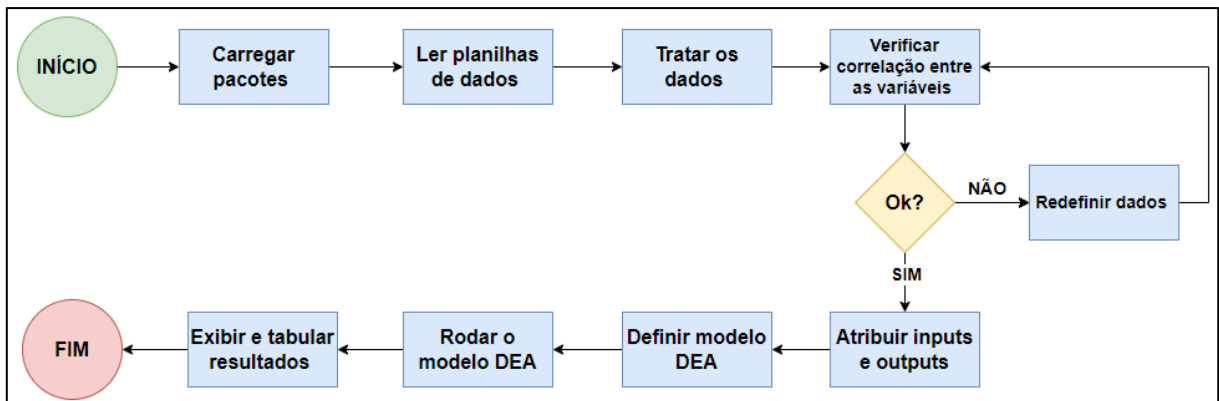
4.4.1 Implementação da DEA e Experimentação dos Cenários

Uma vez definidos os parâmetros e os cenários, os dados foram submetidos à análise envoltória por meio do *software* R e da interface R Studio. A escolha por eles se deve principalmente pela familiaridade com a linguagem e com a sua interface; pela gratuidade dos recursos e pela facilidade de implementação dos algoritmos, já

que além de contar com uma vasta gama de pacotes e bibliotecas especializadas, também possui ampla comunidade e documentação.

Para realizar a implementação, foram seguidas algumas etapas, conforme pode ser observado por meio da Figura 28.

Figura 28 – Etapas da Implementação da DEA no R Studio



Fonte: O Autor (2024)

Inicialmente, realizou-se o carregamento dos pacotes necessários para implementação do modelo, estando eles descritos por meio do Quadro 15.

Quadro 15 – Principais Pacotes utilizados na Implementação

Pacote	Função
readr	Leitura de arquivos de texto, como csv e tsv
readxl	Leitura de arquivos Excel (xls e xlsx)
ggplot2	Elaboração e visualização de gráficos
dplyr	Manipulação de transformação de dados, tais como: seleção, filtragem, agrupamento e resumo dos dados.
scales	Padronização e ajuste de escalas dos gráficos
stats	Análises estatísticas básicas
tidyr	Organização de dados para análise
openxlsx	Exportação de tabelas para Excel
corrplot	Visualização da matriz de correlação
<i>Benchmarking</i>	Implementação da DEA e do Índice de Malmquist

Fonte: O Autor (2024)

Em seguida, realizou-se a leitura e o tratamento dos dados: por serem advindos de diferentes fontes e estarem em arquivos separados, foi necessário agrupá-los em planilhas categorizadas pelo ano. Ademais, em virtude da diferença populacional existente entre os estados, optou-se por dividir os parâmetros de entrada e de saída pelas populações residentes em cada estado, tornando-os *per capita* e permitindo uma análise equitativa entre unidades de diferentes dimensões (Schulz *et*

al., 2014 *apud* Viana e Boente, 2022). Posterior a isso, dado o objetivo do estudo consistir na avaliação da eficiência na alocação de recursos visando a minimização dos desastres e de suas consequências, e do modelo DEA, por padrão, trabalha com a maximização das variáveis de saída, foi necessário inverter os valores dos parâmetros de saída indesejados (1/parâmetros de saída), tornando-os passíveis de maximização (Politelo, Rigo e Hein, 2014; Miranda, 2023).

Após a definição das variáveis, procedeu-se à verificação de sua adequação por meio da matriz de correlação, com o objetivo de avaliar a presença de multicolinearidade e evitar redundâncias que poderiam comprometer as análises subsequentes.

Caso houvesse sido identificado algum problema de multicolinearidade durante essa etapa, seria necessário reavaliar as variáveis, repetindo o processo até cessar o problema. Como não foi constatada correlação forte entre as variáveis selecionadas, as mesmas foram mantidas, procedendo para a atribuição das entradas e saídas requeridas pelo modelo.

Assim, definiu-se como entrada para o primeiro cenário o PIB e a execução orçamentária empenhada e, para o segundo cenário, o PIB e a execução orçamentária paga. Para ambos, definiram-se como saídas o inverso da quantidade de danos humanos, o inverso da quantidade de danos materiais, o inverso do valor dos danos materiais e o inverso do número de registros de ocorrências de desastres. Ressalta-se que todas as variáveis definidas, sejam elas de entrada ou de saída, antes de serem invertidas, foram expressas em valores *per capita*, uma vez que foram divididas pela população residente em cada estado, na etapa de obtenção e tratamento dos dados,

Posterior a isso, definiu-se e implementou-se o modelo DEA BCC orientado a *outputs* no *software* R, utilizando a interface R Studio, visualizando e exportando os resultados para planilhas compatíveis com o *software* Excel.

4.4.2 Avaliação dos Resultados e Análises Complementares

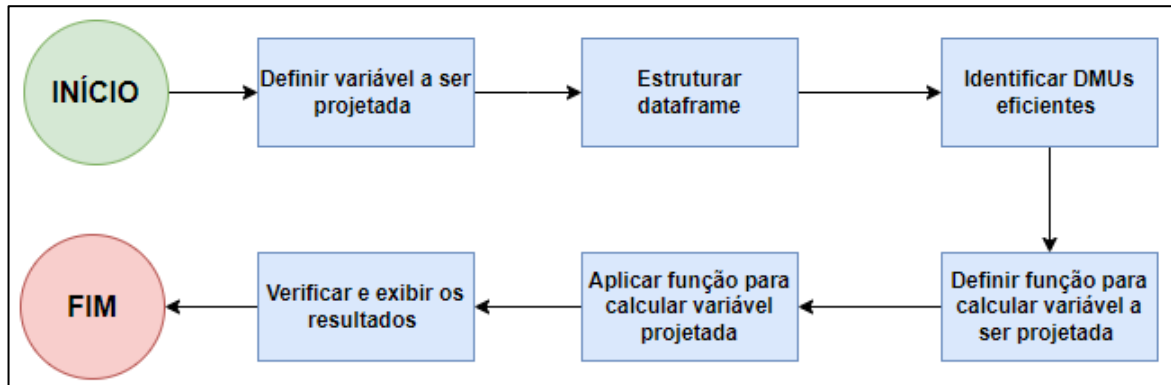
Obtidos os resultados, os mesmos foram avaliados em termos de consistência, utilizando como referência a literatura existente. Verificou-se que os valores obtidos estavam dentro de intervalos esperados para o DEA e que apresentavam coerência com os cenários reais, não sendo necessário realizar ajustes

no modelo. Para complementar os resultados obtidos por meio do DEA, foram implementadas as análises de *Benchmarking* e do índice de Malmquist, cujas etapas serão detalhadas nessa seção.

4.4.2.1 *Benchmarking*

Para implementação da análise de *Benchmarking* seguiram-se as etapas representadas por meio da Figura 29.

Figura 29 – Etapas de implementação do *Benchmarking* no R Studio



Fonte: O Autor (2024)

Inicialmente definiu-se, dentre as variáveis de entrada e de saída utilizadas na implementação do modelo DEA, aquela para a qual se objetivava realizar a projeção. Diferente de danos humanos, danos materiais, valor dos danos materiais, número de registros de ocorrências dos desastres e PIB, que são influenciadas por fatores externos e frequentemente imprevisíveis, a execução orçamentária paga é controlável e ajustável pelas autoridades governamentais, tendo sido escolhida como variável alvo para projeção.

Com base nos resultados obtidos por meio da implementação da DEA, identificaram-se as unidades eficientes, cujo valor de eficiência foi igual a 1. Em seguida, definiu-se uma função capaz de estimar o valor financeiro necessário para tornar eficientes as unidades federativas ineficientes. Para tal, utilizou-se a lógica da análise de *Benchmarking*, dividindo a execução orçamentária paga pelo governo pela eficiência obtida através do DEA, conforme representado matematicamente pela Equação 29.

$$\text{Valor Projetado} = \frac{\text{Execução Orçamentária Paga}}{\text{Eficiência proveniente da DEA}} \quad (29)$$

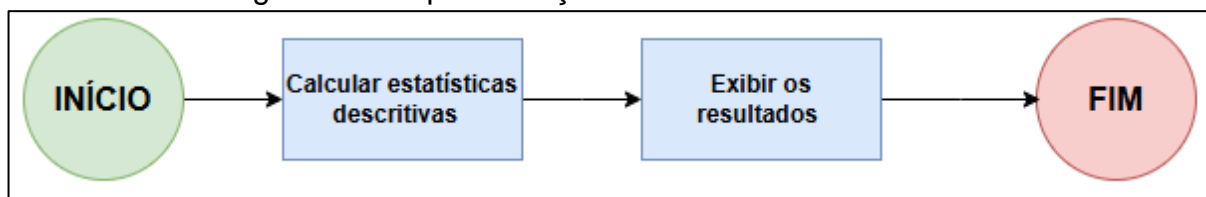
Por meio dessa expressão, estimou-se o valor mínimo necessário para que as unidades ineficientes pudessem atingir o mesmo nível de eficiência das unidades de referência (*benchmarks*), identificadas pelo modelo DEA. Dado que o modelo DEA implementado foi do tipo BCC (orientado a *outputs*), as análises consideraram retornos variáveis de escala, ajustando os cálculos de eficiência às particularidades de cada unidade federativa. Assim sendo, a projeção do valor necessário para atingir a eficiência máxima reflete não apenas os *outputs*, mas também a escala de operação das DMUs.

Uma vez que as variáveis de saída foram incorporadas no cálculo da eficiência no DEA, o *benchmarking* focou-se exclusivamente na execução orçamentária paga como variável controlável a ser ajustada, já que as saídas refletem os efeitos dos fatores externos previamente analisados. Como a eficiência obtida pelo modelo DEA reflete tanto o uso dos recursos disponíveis quanto a capacidade de gestão das unidades, o cálculo do valor projetado não implica que a ineficiência das unidades federativas seja resultante, exclusivamente, da falta de recursos financeiros. Assim sendo, os resultados devem ser interpretados levando em consideração outros potenciais de melhoria, como planejamento estratégico e gestão dos recursos.

4.4.2.2 Estatística Descritiva DEA

A implementação da estatística descritiva DEA pode ser visualizada por meio da Figura 30.

Figura 30 – Implementação estatística descritiva DEA

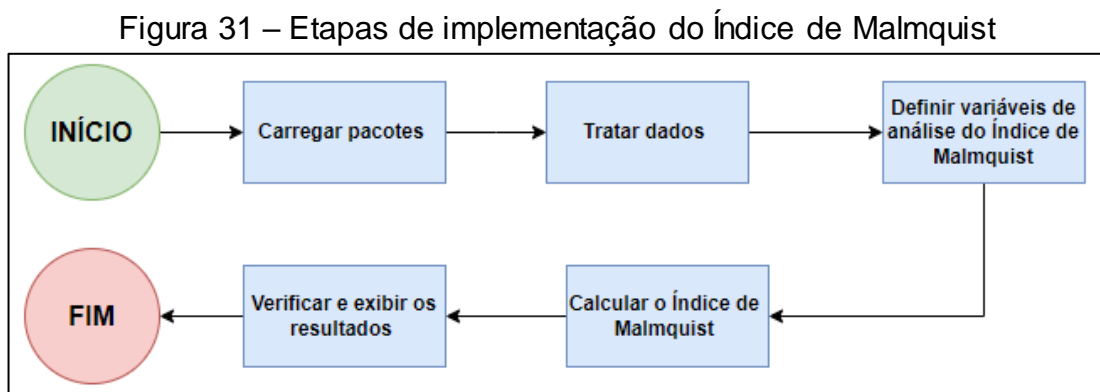


Fonte: O Autor (2024)

Para execução desta análise, calcularam-se os valores máximo e mínimo; a média; a mediana; o desvio padrão; os valores de cada quartil e a distância interquartilica das eficiências obtidas para cada ano, dentre 2013 e 2023. Os resultados foram plotados em gráfico *boxplot* de forma a facilitar a visualização do desempenho médio anual e a permitir comparação entre eles.

4.4.2.3 Índice de Malmquist

A implementação do Índice de Malmquist seguiu as etapas representadas na Figura 31, com intuito de comparar dinamicamente as eficiências das unidades cujos dados estavam disponíveis para todos períodos de interesse.



Fonte: O Autor (2024)

Inicialmente realizou-se o carregamento dos pacotes *dplyr* e *Benchmarking*, sequencialmente, combinaram-se os dados anuais em uma única tabela. Em virtude do Índice de Malmquist analisar a variação da eficiência das DMUs ao longo do tempo e da ausência de determinados valores nos dados disponibilizados para consulta, foi necessário selecionar apenas os estados que possuíam registros para todas as variáveis em todos os períodos, restando apenas 12 dos 26 estados, sendo eles: AM, BA, CE, ES, MG, MT, PE, PR, RJ, RS, SC e SP.

Ao alterar o cenário de análise, utilizando apenas 12 dos 26 estados, fez-se necessário implementar novamente o DEA para avaliar a eficiência dos mesmos em cada ano. Obtidas as eficiências, calcularam-se as Mudanças na Eficiência Técnica, Mudanças na Eficiência Teórica e o Índice de Malmquist. Os valores foram agrupados e exibidos tanto por meio de tabelas, quanto de gráficos.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram detalhadas as etapas necessárias para aplicação da análise envoltória de dados para avaliação da eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres.

A primeira etapa abordou a obtenção dos dados secundários e sua tabulação. Na segunda etapa foram definidas as variáveis utilizadas para análise, considerando como *input* os recursos e características demográficas e econômicas que influenciam na capacidade de resposta perante os desastres naturais. Como saída, foram consideradas as consequências dos desastres, tais como: registros de ocorrência; danos humanos e danos materiais.

Para garantir a homogeneidade da análise e permitir a comparação entre as DMUs, todas as variáveis foram ajustadas para valores *per capita* com base na população residente em cada estado. Posteriormente, em virtude do modelo DEA, por padrão, trabalhar com maximização de saídas e o objetivo do estudo consistir na minimização dos impactos decorrentes dos desastres e de suas consequências, as saídas foram invertidas, tornando-as passíveis de maximização (Politelo, Rigo e Hein, 2014; Miranda, 2023).

Com base nesses ajustes, foram definidos dois cenários para análise, ambos considerando os 26 estados brasileiros como DMUs. Para o primeiro cenário, considerou-se como *input* o PIB e a execução orçamentária empenhada, enquanto que para o segundo cenário, foram considerados PIB e execução orçamentária paga. Para ambos os cenários, as variáveis de saída definidas foram: inverso dos danos humanos, inverso dos danos materiais, inverso do valor dos danos materiais e inverso do número de registros de ocorrências. Ressalta-se que todas as variáveis utilizadas, tanto de entrada quanto de saída, foram ajustadas para valores *per capita*.

A implementação da análise foi realizada no *software* R e na interface R Studio, em virtude da ampla gama de pacotes dedicados à análise envoltória de dados e à familiaridade com a ferramenta e seus recursos. Por meio deles, os cenários mencionados foram implementados utilizando o DEA BCC orientado a *outputs*.

Além disso, a metodologia foi complementada pela implementação do *Benchmarking*, do Índice de Malmquist e da estatística descritiva, que ampliaram a análise, ao possibilitar a comparação entre as DMUs, a identificação da evolução

temporal da eficiência e ao fornecer uma visão geral dos resultados obtidos, os quais serão discutidos no próximo capítulo.

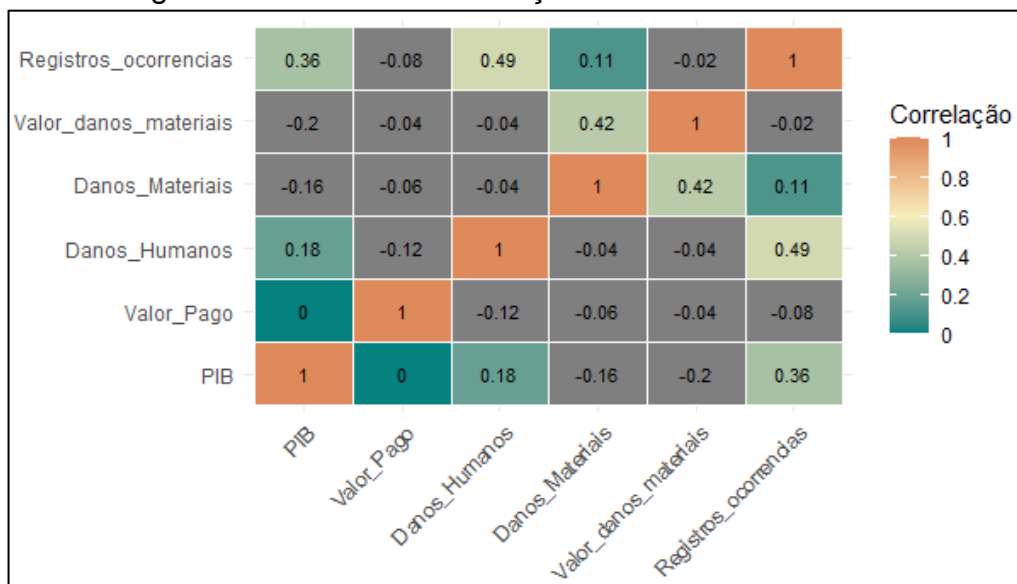
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da implementação da metodologia descrita. Inicialmente, apresenta-se a matriz de correlação utilizada para validação das variáveis do modelo. Na sequência, são apresentados os resultados obtidos por meio da implementação da análise envoltória de dados, juntamente com a representação cartográfica dos estados, de acordo com suas faixas de eficiência. Além disso, este capítulo detalha os resultados provenientes das análises de Benchmarking, da estatística descritiva e do Índice de Malmquist, apresentando-os sob a forma de gráficos e tabelas.

5.1 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Para realizar a validação das variáveis atribuídas como *inputs* e *outputs* no modelo, utilizou-se a matriz de correlação de Pearson cuja representação pode ser observada por meio da Figura 32.

Figura 32 – Matriz de correlação média de 2013 a 2023



Fonte: O Autor (2024)

Observa-se que as variáveis não apresentam uma forte correlação entre si, o que minimiza problemas de multicolinearidade e reduz o risco de distorções nos resultados obtidos com a implementação da DEA. Em relação ao PIB, nota-se correlação negativa com danos materiais e com o valor dos danos materiais,

sugerindo que seu aumento leve à redução tanto da quantidade quanto do valor dos danos causados pelos desastres. Isso é consistente com a expectativa de que quanto maior o PIB, maior a capacidade de mitigação dos impactos dos desastres pelas unidades tomadoras de decisão e por suas respectivas populações.

A correlação positiva entre danos humanos e PIB pode estar associada à intensificação das desigualdades sociais em áreas cujo PIB é maior, tornando a população de menor renda mais exposta e suscetível aos riscos e desastres. Já a correlação positiva entre registros de ocorrência e PIB pode indicar melhor preparação das unidades em relação à documentação dos eventos. A ausência de correlação linear entre PIB e valor pago sugere independência entre essas duas variáveis. Ao analisar as matrizes obtidas para cada período, houve alternância entre correlação positiva e negativa para essas variáveis, de modo que, na média, seu valor foi nulo.

A correlação positiva entre registros de ocorrências, danos humanos e danos materiais e a correlação negativa com o valor dos danos materiais sugere que os desastres estejam afetando comunidades mais vulneráveis, onde há grande concentração de pessoas e menor valor material, em virtude da falta ou da precariedade da infraestrutura existente.

Conforme esperado, valor pago apresenta correlação negativa com danos humanos, danos materiais, valor dos danos materiais e registros de ocorrências, indicando que seu aumento acarreta na redução destes fatores e reforçando a importância de investimentos para prevenção e mitigação dos desastres e para atenuação de seus impactos.

5.2 EFICIÊNCIA DAS DMUS

Nesta seção são apresentados os resultados da eficiência das DMUs em relação aos cenários propostos.

5.2.1 Avaliação dos recursos pagos

Por meio da implementação da Análise Envoltória de Dados para avaliar a eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres, ao longo de janeiro de 2013 a dezembro de 2023, obtiveram-se os valores apresentados por meio da Tabela 1.

Tabela 1 – Eficiência Orçamentária Paga¹

DMU	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
AC	1,000	0,581	0,702	-	0,989	-	0,753	1,000	0,874	0,891	0,793
AL	-	1,000	0,818	-	0,995	1,000	0,762	0,728	-	-	0,763
AM	0,535	0,493	0,560	0,515	0,843	0,763	0,557	1,000	0,865	0,916	0,567
AP	1,000	-	-	-	-	1,000	1,000	1,000	0,826	0,724	0,769
BA	0,797	1,000	1,000	0,630	0,708	0,733	0,659	0,612	0,615	0,631	0,747
CE	1,000	0,693	0,752	1,000	0,891	0,880	1,000	0,829	0,943	1,000	0,921
ES	0,423	0,574	0,509	0,370	0,571	0,509	0,558	0,370	0,354	0,677	0,475
GO	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	1,000	-	0,729	1,000
MA	1,000	1,000	-	1,000	-	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MG	0,563	0,513	0,764	0,544	0,978	0,714	1,000	0,506	0,488	0,509	0,480
MS	0,368	1,000	-	1,000	0,548	0,389	0,351	0,320	0,307	0,385	-
MT	0,428	0,532	0,574	0,320	0,385	0,407	0,288	0,258	0,234	1,000	0,638
PA	1,000	0,738	-	1,000	0,893	0,773	0,644	0,964	1,000	1,000	0,588
PB	0,790	0,867	-	-	0,888	1,000	-	1,000	1,000	1,000	1,000
PE	0,621	0,710	1,000	0,652	0,938	0,898	0,721	0,679	0,666	0,676	0,855
PI	1,000	-	1,000	0,926	1,000	1,000	0,947	0,927	0,912	0,921	1,000
PR	0,462	0,344	0,590	0,354	0,692	1,000	1,000	1,000	0,703	0,750	0,432
RJ	0,326	1,000	1,000	0,305	1,000	0,631	0,324	0,990	0,838	0,836	0,407
RN	0,885	-	1,000	-	1,000	-	1,000	1,000	0,751	0,736	0,778
RO	1,000	0,538	1,000	1,000	-	-	0,557	-	-	1,000	0,878
RR	-	-	1,000	0,976	1,000	0,816	-	-	0,875	-	0,784
RS	0,484	0,350	0,660	0,365	0,575	0,434	0,326	0,334	0,322	0,324	0,340
SC	0,325	0,330	0,362	0,345	0,427	0,369	0,309	0,316	0,305	0,431	0,327
SE	0,631	1,000	-	-	1,000	1,000	1,000	-	1,000	0,992	1,000
SP	0,401	0,610	1,000	0,346	1,000	1,000	0,637	0,842	1,000	1,000	0,411
TO	1,000	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	1,000

Fonte: O Autor (2024)

Em termos de frequência, os valores de eficiência relacionados à execução orçamentária paga foram categorizados em intervalos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Número de DMUS por Faixa de Eficiência

Faixa de Eficiência (%)	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
$0 \leq Ef < 10$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 \leq Ef < 20$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$20 \leq Ef < 30$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
$30 \leq Ef < 40$	3	3	1	7	1	2	4	4	4	2	2
$40 \leq Ef < 50$	5	1	0	0	1	2	0	0	1	1	5
$50 \leq Ef < 60$	2	5	4	2	3	1	3	1	0	1	2
$60 \leq Ef < 70$	2	2	1	2	1	1	3	2	3	5	1
$70 \leq Ef < 80$	2	2	3	0	1	4	3	1	1	3	6
$80 \leq Ef < 90$	1	1	1	0	4	3	0	2	4	3	2
$90 \leq Ef < 100$	0	0	0	2	3	0	1	3	2	0	1
$Ef = 100$	9	7	9	6	8	9	7	8	6	9	6
NA	2	5	7	7	4	4	4	4	4	2	1
Total	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26

Fonte: O Autor (2024)

¹ Nota: Os campos com "-" na tabela indicam a ausência de dados suficientes para o cálculo da eficiência usando a Análise Envoltória de Dados (DEA).

Por meio da Tabela 2 observa-se que, anualmente, pelo menos 6 estados obtiveram eficiência máxima, correspondendo a 23% do total avaliado. Em 2016 aproximadamente 27% das unidades obtiveram eficiência entre 30 e 40%, enquanto que em 2015 e em 2017 apenas 3,8% se situaram nessa faixa. De 2021 para 2022 houve aumento de 50% no número de UFs que obtiveram eficiência igual a 1, enquanto que de 2022 para 2023 esse número retrocedeu, igualando-se ao observado em 2021. Em 2023, duplicou-se o número de unidades situadas na faixa de eficiência de 70 a 80%, quintuplicou-se as situadas entre 40 e 50% e houve uma redução de 20% nas situadas entre 60 e 70% quando comparado ao ano anterior.

Através da análise da estatística descritiva (Tabela 3) referente às eficiências obtidas por meio do DEA, é possível compreender a eficiência relativa dos estados ao longo dos anos, no uso dos recursos alocados para minimização dos danos.

Tabela 3 – Estatística Descritiva das Eficiências

Ano	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	1° Quartil	2° Quartil	3° Quartil	Distância Interquartilica
2013	0,710	0,325	1,000	0,268	0,454	0,711	1,000	0,547
2014	0,708	0,330	1,000	0,246	0,532	0,693	1,000	0,468
2015	0,805	0,362	1,000	0,214	0,625	0,818	1,000	0,375
2016	0,666	0,305	1,000	0,298	0,360	0,630	1,000	0,641
2017	0,833	0,385	1,000	0,208	0,696	0,916	1,000	0,304
2018	0,787	0,369	1,000	0,233	0,652	0,848	1,000	0,348
2019	0,700	0,288	1,000	0,267	0,557	0,690	1,000	0,443
2020	0,758	0,258	1,000	0,282	0,533	0,885	1,000	0,468
2021	0,730	0,235	1,000	0,274	0,520	0,833	0,993	0,473
2022	0,781	0,324	1,000	0,218	0,666	0,787	1,000	0,335
2023	0,720	0,327	1,000	0,233	0,485	0,769	0,924	0,439

Fonte: O Autor (2024)

A média das eficiências reflete o nível médio de desempenho dos estados na utilização dos recursos e quanto mais próximo de 1 seu valor estiver, em média, melhor sua eficiência. Por meio da Tabela 3 observa-se a variação dessa métrica ao longo do tempo, atingindo maior valor em 2017 (0,833) e menor valor em 2016 (0,666).

Através do desvio padrão, é possível observar a dispersão das eficiências em relação à média. Desvios menores, como em 2017 (0,208), sugerem maior homogeneidade entre as eficiências obtidas, enquanto que desvios maiores, como em 2016 (0,298), sugerem maior variabilidade.

Analisando a distância interquartilica (QI) é possível compreender a variabilidade dos estados que estão entre os 25 e os 75% mais eficientes, uma vez

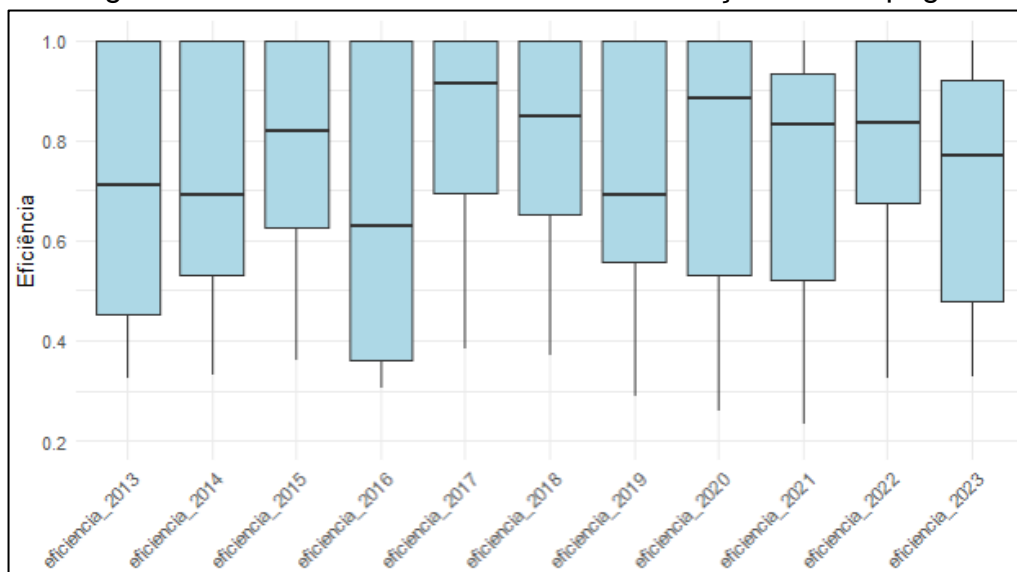
que seu valor é obtido por meio da diferença entre o primeiro e o terceiro quartil. Valores maiores, como em 2016 (0,641), indicam maior disparidade nas eficiências estaduais, enquanto que valores menores, como em 2017 (0,304) sugerem maior uniformidade.

O valor da mediana (2º quartil) representa o ponto central da distribuição das eficiências dos estados. Quanto mais próximo estiver do 3º quartil, como em 2017 (0,916), menor a dispersão dos valores de eficiência na metade superior da distribuição, indicando que os estados estão com desempenho mais homogêneo e mais próximo da eficiência máxima. Os anos em que a mediana está mais distante do 3º quartil, como em 2016 (0,630), são indicativos da maior variação da eficiência entre os estados mais eficientes, sugerindo que apenas alguns estados estavam realmente próximos da eficiência máxima, enquanto que a maioria ficou abaixo, refletindo maior desigualdade na utilização de recursos.

Nota-se, através do valor máximo, que em todos os anos há estados que obtiveram eficiência igual a 1, estando situados na fronteira de eficiência. Quanto ao mínimo, observa-se que o mesmo variou ao longo do tempo, atingindo menor valor em 2021 (0,235) e indicando a alocação menos eficiente de recursos por alguns estados em relação a outros.

Complementarmente, pode-se observar a representação da estatística descritiva referente às eficiências obtidas em termos de orçamento pago através da Figura 33.

Figura 33 – Estatística descritiva eficiência orçamentária paga

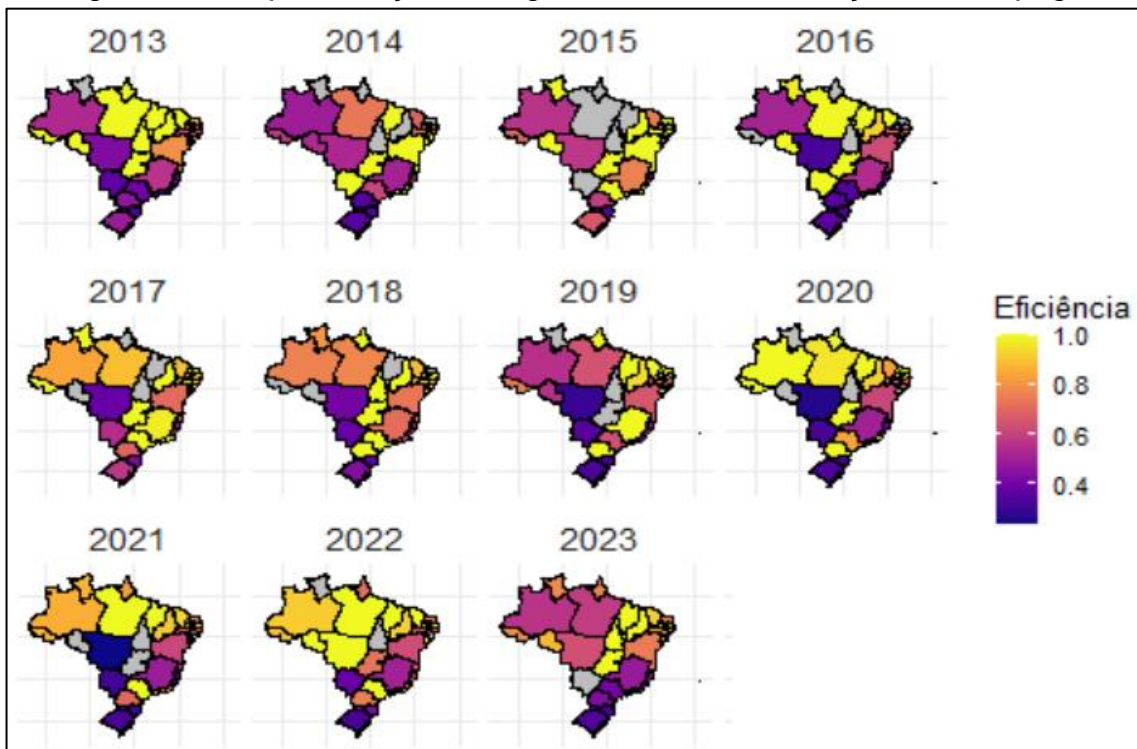


Fonte: O Autor (2024)

Observa-se que não houve *outlier* para o valor de eficiência. Pela amplitude do *boxplot*, confirma-se que o ano de 2016 foi o que apresentou maior variabilidade nos valores de eficiência, enquanto que 2017 apresentou maior homogeneidade. Os anos de 2020 e 2021 apresentaram comportamentos semelhantes, com diferença para a mediana de 2020 que foi levemente superior à de 2021. Observa-se que em 2022 os valores de eficiência ficaram mais próximos uns dos outros do que em relação ao ano anterior, ficando concentrados entre 0,6 a 1,0. Em 2023 os valores foram mais dispersos entre si, concentrando-se predominantemente entre 0,5 e 0,9, mostrando piora com relação ao ano anterior.

Por meio da Figura 34 pode-se comparar as eficiências obtidas entre 2013 e 2023, para os estados brasileiros, considerando a execução orçamentária paga como uma das variáveis de entrada. As representações cartográficas ampliadas podem ser visualizadas por meio dos Apêndices A, B, C e D deste trabalho.

Figura 34 – Representação cartográfica da eficiência orçamentária paga



Fonte: O Autor (2024)

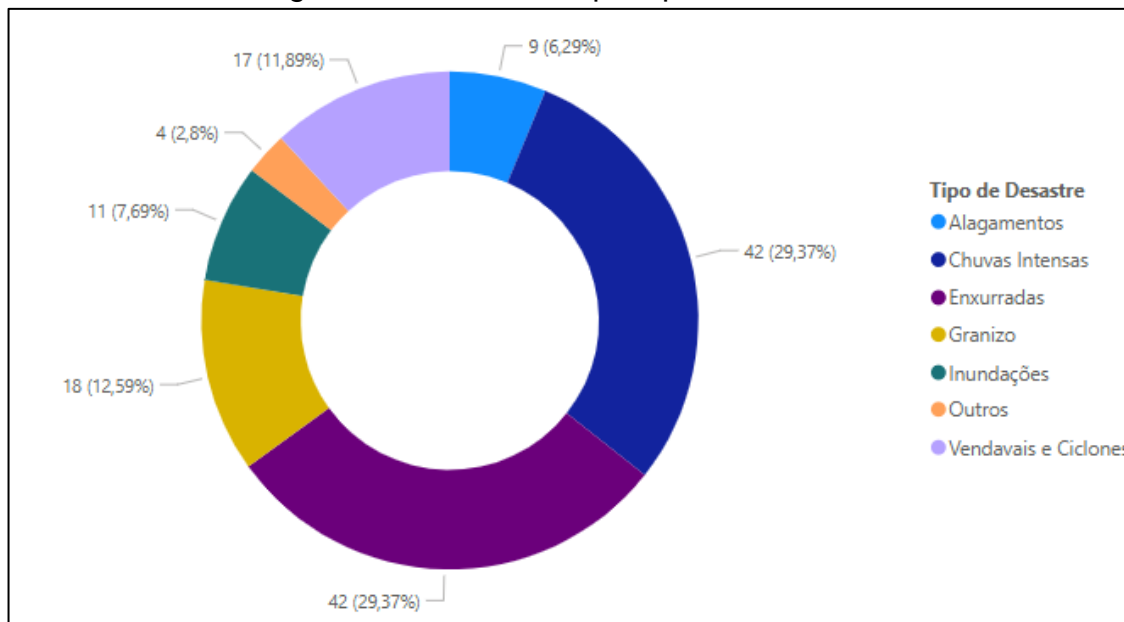
Os estados representados em cinza correspondem aqueles cujos dados não estavam disponíveis para o período analisado. Nota-se que em 2016 houve menor número de registros, comprometendo 5 dentre os 26 estados. Já 2013 e 2023 foram

os anos que apresentaram registros mais completos, com apenas 1 estado comprometido em cada período.

Rio Grande do Sul e Santa Catarina predominantemente obtiveram eficiências inferiores a 0,6 dentre 2013 e 2023. Nesse período, foram registradas, respectivamente, 4.004 e 4.495 ocorrências de desastres decorrentes, principalmente, de eventos hidrológicos como chuvas intensas, vendavais e ciclones, enxurradas e inundações (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023).

Paraná apresentou variação significativa na eficiência, uma vez que entre 2013 e 2016 seu valor esteve abaixo de 0,6; em 2017 esteve entre 0,6 e 0,8; entre 2018 e 2020 atingiu valor máximo, decrescendo nos anos seguintes até situar-se entre 0,4 e 0,6 em 2023, quando registrou 143 ocorrências, das quais cerca de 73% foram decorrentes de desastres meteorológicos, provocados principalmente por chuvas intensas, enxurradas e granizo (Figura 35).

Figura 35 – Protocolos por tipo de desastre



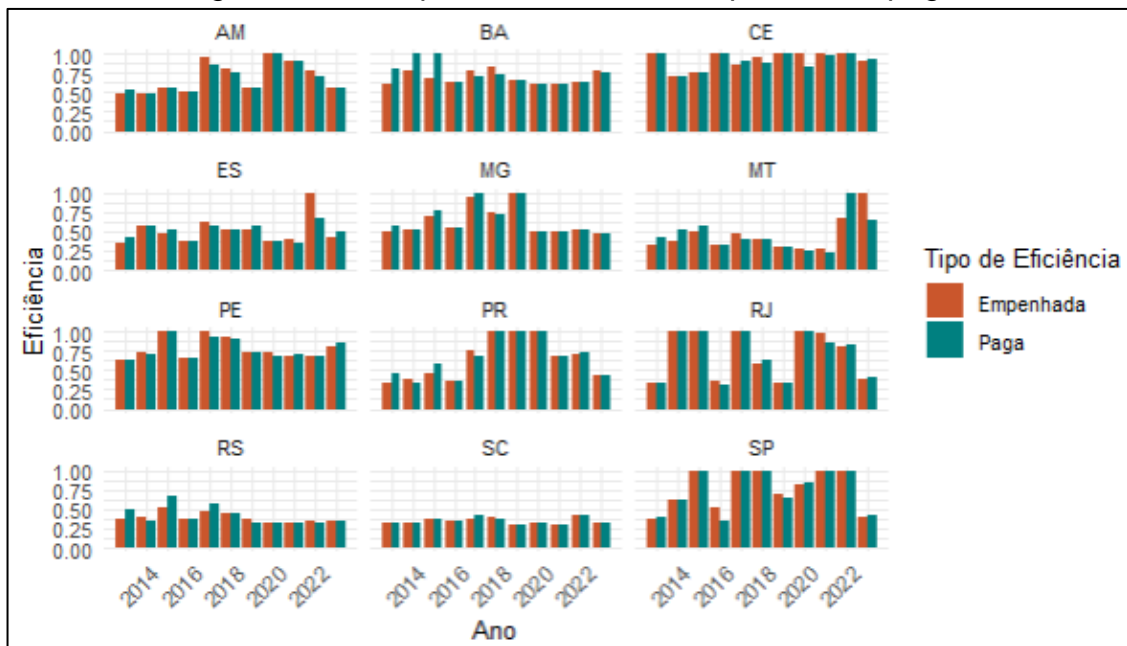
Fonte: Adaptado de (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023)

Dentre os 11 anos analisados, São Paulo permaneceu com eficiência máxima em 5 deles, indicando que apesar de apresentar problemas decorrentes de chuvas intensas e alagamentos, o estado conseguiu utilizar os recursos de forma eficiente. Além dele, Goiás e Maranhão também mantiveram eficiência máxima ao longo da maior parte do período analisado, indicando maximização da eficiência da alocação dos recursos pagos.

5.2.2 Comparativo empenhado x pago

Por meio da Figura 36 é possível visualizar a comparação entre a eficiência obtida por meio da execução orçamentária empenhada e a obtida pela execução orçamentária paga, para os estados cujos dados estavam disponíveis para todos os períodos analisados. As eficiências obtidas com base na execução orçamentária empenhada estão detalhadas na Tabela E.1, do Apêndice E deste trabalho.

Figura 36 – Comparativo eficiência empenhada x paga



Fonte: O Autor (2024)

Nota-se que Ceará foi o que apresentou valores mais elevados de eficiência, tanto em termos de orçamento pago quanto de empenhado, enquanto Santa Catarina foi o que obteve menores valores de eficiência. Ao comparar as amplitudes das eficiências paga e empenhada, percebe-se que os valores obtidos são, predominantemente, muito próximos um do outro.

Pode-se analisar as eficiências em termos de orçamento empenhado e pago valendo-se da estatística descritiva, conforme apresentado pela Tabela 4. Observa-se que, para o cenário analisado, as eficiências obtidas tanto em termos de orçamento empenhado quanto de orçamento pago são próximas umas das outras, indicando que os valores efetivamente pagos são próximos dos reservados. Percebe-se que o 1º quartil, o 2º quartil, o 3º quartil e a média das eficiências resultantes da análise

efetuada com orçamento pago foram superiores as obtidas pela análise do orçamento empenhado.

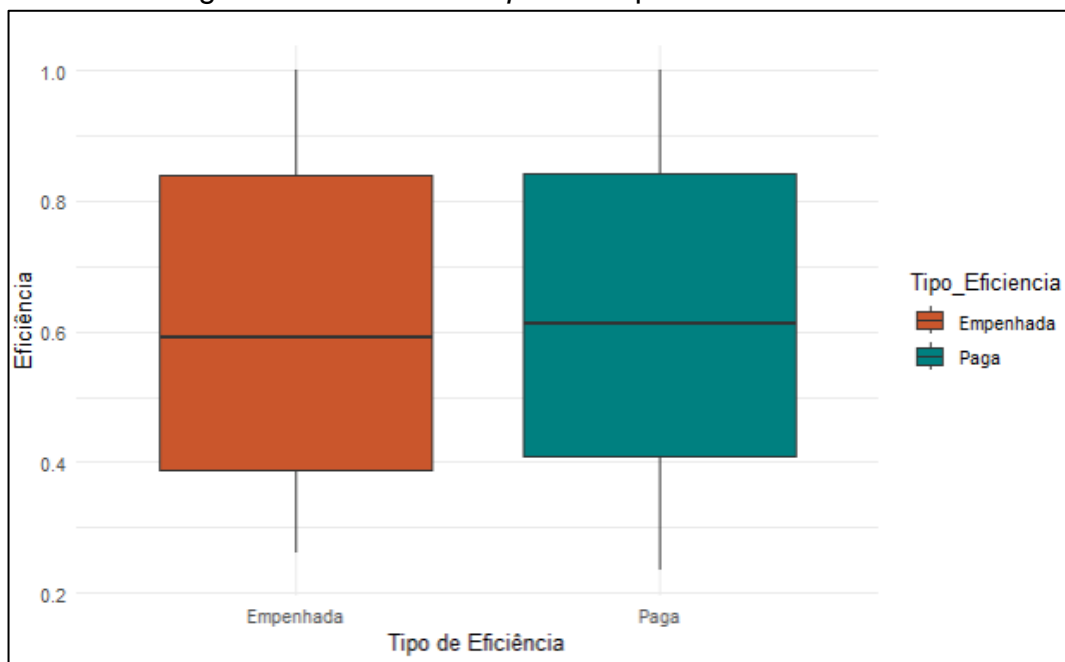
Tabela 4 – Estatística Descritiva Comparativo de Eficiências

Estatística	Orçamento Empenhado	Orçamento Pago
1° Quartil	0,387	0,410
2° Quartil	0,592	0,611
3° Quartil	0,839	0,842
Média	0,626	0,630
Mínimo	0,261	0,234
Máximo	1,000	1,000
Desvio Padrão	0,247	0,241
Distância Interquartílica	0,452	0,432

Fonte: O Autor (2024)

Por meio do desvio padrão e da distância interquartílica, infere-se que há maior heterogeneidade nos valores obtidos por meio do orçamento empenhado em relação ao orçamento pago, podendo ser corroborado por meio da Figura 37.

Figura 37 – Análise *boxplot* Comparativo Eficiências

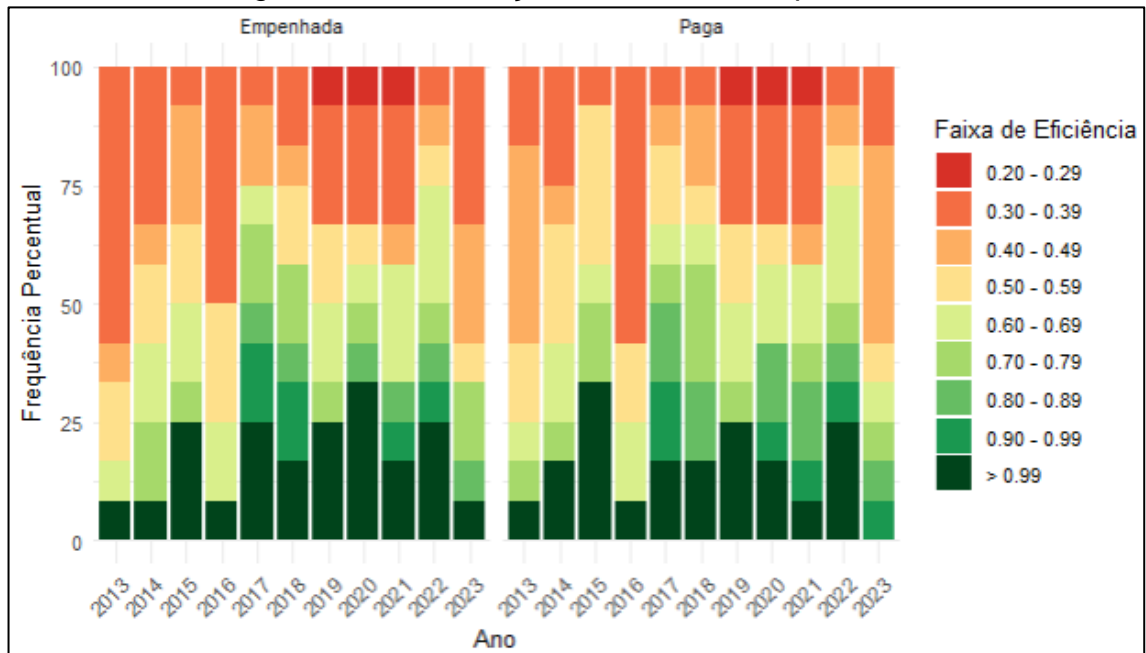


Fonte: O Autor (2024)

A distribuição das eficiências em termos de orçamento empenhado e pago, para os onze estados analisados, podem ser comparadas por meio da Figura 38. Observa-se que 2015 foi o ano que apresentou melhor eficiência em termos de orçamento pago e que ela foi significativamente maior do que a obtida por meio do

orçamento empenhado. Em 2022 os resultados obtidos tanto pelo orçamento empenhado quanto pelo pago foram similares. Em 2023 houve piora de eficiência quando comparados aos anos anteriores, em termos de execução paga, visto que não há valores compreendidos na faixa $>0,99$ e o intervalo de 0,40 a 0,49 foi o preponderante.

Figura 38 – Distribuição das Eficiências por Faixa



Fonte: O Autor (2024)

5.2.3 Benchmarking

Por meio da Figura 39 é possível observar os valores projetados para execução orçamentária paga, necessários para tornar eficientes as unidades que não obtiveram eficiência máxima na análise realizada pelo método DEA, para os últimos cinco anos. Foram selecionados para análise os estados cujos dados estavam disponíveis para todo o período compreendido entre 2013 e 2023, sendo eles: AM, BA, CE, ES, MG, MT, PE, PR, RJ, RS, SC e SP. Essa amostra contempla 46% dos estados brasileiros e abrange todas as regiões do país².

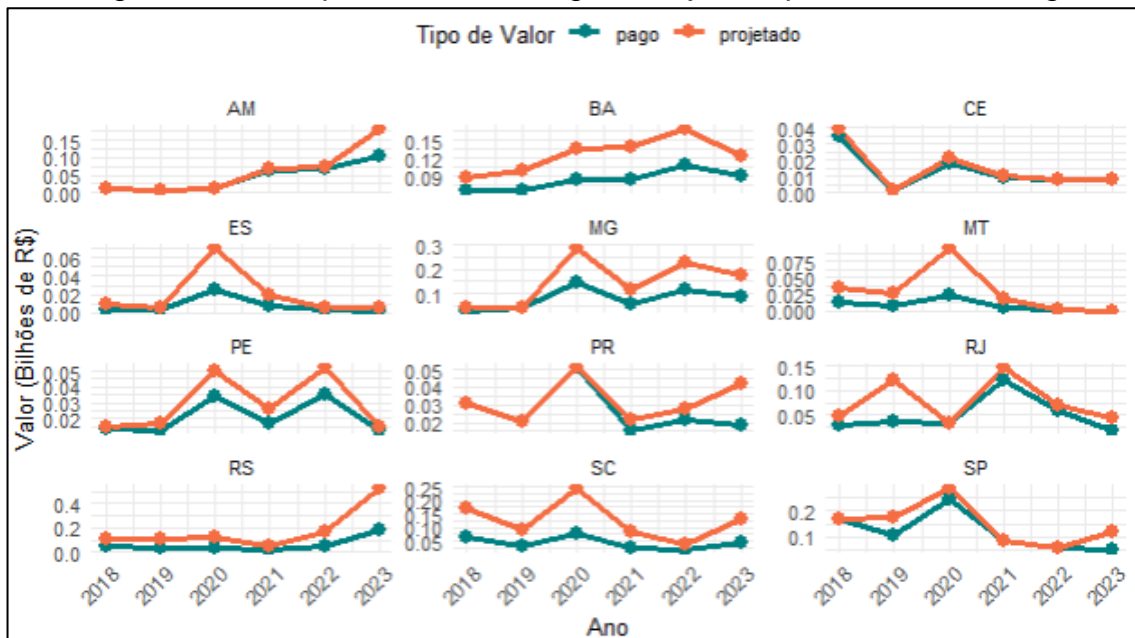
Observa-se que em diversos períodos o valor projetado tende a ser maior do que o valor pago, sugerindo que houve insuficiência de recursos para obtenção de

² A tabela completa com os valores projetados por UF, de 2013 a 2023, encontra-se no Apêndice F deste trabalho.

eficiência máxima. Dessa forma, para que houvesse uma alocação mais eficiente de recursos, seria necessário realizar maiores investimentos financeiros.

Estados como AM, CE e PR apresentaram, em alguns períodos, proximidade entre valores pagos e projetados, podendo indicar que os recursos alocados pelo governo foram bem direcionados em relação às demandas do estado. Grandes variações nos valores projetados, como em ES, RJ, SC, RS, podem estar relacionadas às mudanças significativas nas variáveis de entrada e saída, como elevação significativa na quantidade de danos humanos e de danos materiais, decorrentes dos desastres. Estados onde os valores pagos são consistentemente menores do que os projetados, como SC e BA, sugerem uma possível subalocação de recursos. Essa discrepância pode estar relacionada a fatores como uma menor prioridade atribuída a essas regiões em relação aos demais estados, ou até mesmo à menor quantidade de solicitações de recursos realizadas por essas unidades federativas. Outra hipótese é que esses estados apresentem um número reduzido de projetos elegíveis ou adequados para captação de recursos, o que poderia limitar a execução orçamentária.

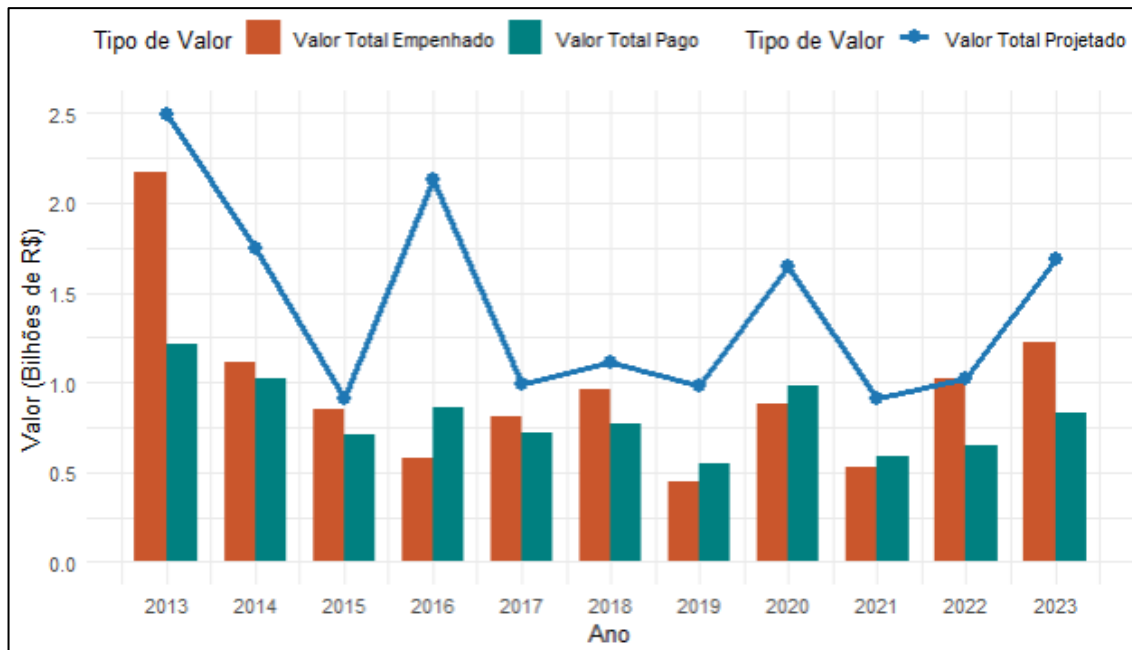
Figura 39 – Comparativo Valor Pago e Projetado pelo *Benchmarking*



Fonte: O Autor (2024)

À nível geral, o comparativo entre os valores empenhados e pagos pelo governo, juntamente com o projetado pelo *Benchmarking* pode ser visualizado por meio da Figura 40.

Figura 40 – Comparativo Valores Efetivos e Projetado pelo Benchmarking



Fonte: O Autor (2024)

Observa-se que em 2022 o valor total empenhado é próximo ao valor total projetado, indicando que, caso houvesse sido totalmente transferido, teria sido suficiente para tornar as DMUs eficientes naquele período. Nos demais anos, tanto o valor empenhado quanto o valor pago situam-se abaixo do projetado, sugerindo falta de recurso. A maior discrepância entre valor pago e projetado pode ser observada nos anos de 2013 e 2016, enquanto que a menor ocorreu em 2015. Com relação ao empenhado (prometido) e ao pago (efetivamente transferido), observa-se que a maior diferença de amplitude ocorreu em 2013, indicando falta de repasse de parte do recurso. Nos demais anos, o comportamento se repete com menor discrepância, com exceção de 2016, 2019 e 2021, quando o valor pago ultrapassou o empenhado em virtude de eventos que demandaram ações de resposta e recuperação.

Por meio do Quadro 16, pode-se observar o valor total empenhado e o valor total pago pelo governo, assim como o projetado por meio da análise de Benchmarking, para o período compreendido entre 2013 e 2023. Foram calculadas as proporções do valor pago e do valor empenhado em relação ao valor projetado pelo Benchmarking, com o objetivo de extrair insights sobre a eficiência na execução orçamentária e identificar discrepâncias entre os recursos disponibilizados, efetivamente pagos e aqueles necessários para alcançar a eficiência máxima.

Quadro 16 – Percentual dos Valores Efetivos em relação ao Projetado

Ano	Valor Total Empenhado	Valor Total Pago	Valor Projetado	% Valor Pago/Projetado	% Valor Empenhado/Projetado
2013	2.170.843.871	1.209.260.001	2.494.864.547	48,5%	87,0%
2014	1.116.580.420	1.018.903.511	1.750.836.507	58,2%	63,8%
2015	851.541.199	704.797.640	909.566.952	77,5%	93,6%
2016	575.696.826	859.340.689	2.131.067.714	40,3%	27,0%
2017	808.018.913	722.909.990	988.936.459	73,1%	81,7%
2018	964.724.213	767.664.028	1.110.415.659	69,1%	86,9%
2019	450.646.768	545.302.930	983.029.883	55,5%	45,8%
2020	877.977.741	979.701.310	1.647.611.729	59,5%	53,3%
2021	530.996.345	588.670.459	907.153.588	64,9%	58,5%
2022	1.019.405.902	646.982.727	1.023.825.419	63,2%	99,6%
2023	1.220.840.584	832.612.978	1.689.670.063	49,3%	72,3%

Fonte: O Autor (2024)

Nota-se uma variação significativa tanto no valor empenhado, quanto no pago ao longo dos anos. Em 2013 o valor total empenhado foi de aproximadamente R\$ 2,17 bilhões, enquanto que em 2019 foi cerca de R\$ 450,6 milhões, demonstrando queda expressiva no valor. Em termos de execução orçamentária paga, observa-se variações na alocação efetiva de recursos, ao passo que o maior repasse ocorreu em 2020 (R\$ 979,7 milhões) e o menor ocorreu em 2015 (R\$ 704,8 milhões).

Ao comparar valor pago com o projetado, verifica-se que o primeiro ficou abaixo do segundo em todos os períodos analisados, indicando ineficiência na alocação dos recursos. Em 2016, apenas 40,3% do valor projetado foi efetivamente pago, representando o menor percentual do período. Em 2015, esse percentual atingiu 77,5%, correspondendo a maior proximidade entre valor pago e projeção.

Os anos de 2022 e de 2015 se destacam positivamente, com percentuais de valor empenhado/projetado e pago/projetado relativamente altos em relação aos demais (99,6% e 93,6% de empenhado e 63,2% e 77,5% de pago, respectivamente), indicando alocação mais próxima da requerida para alcance da eficiência máxima, embora os valores efetivamente pagos tenham sido insuficientes para isso.

A discrepância entre valor projetado pelo *Benchmarking* e os efetivamente empenhados/pagos ao longo dos anos pode refletir restrições orçamentárias ou dificuldades nas execuções orçamentárias, limitando a capacidade do governo de atender às necessidades projetadas para obtenção de níveis máximos de eficiência.

5.2.4 Análise de Malmquist

Os resultados obtidos por meio da análise de Malmquist podem ser observados através da Tabela 5.

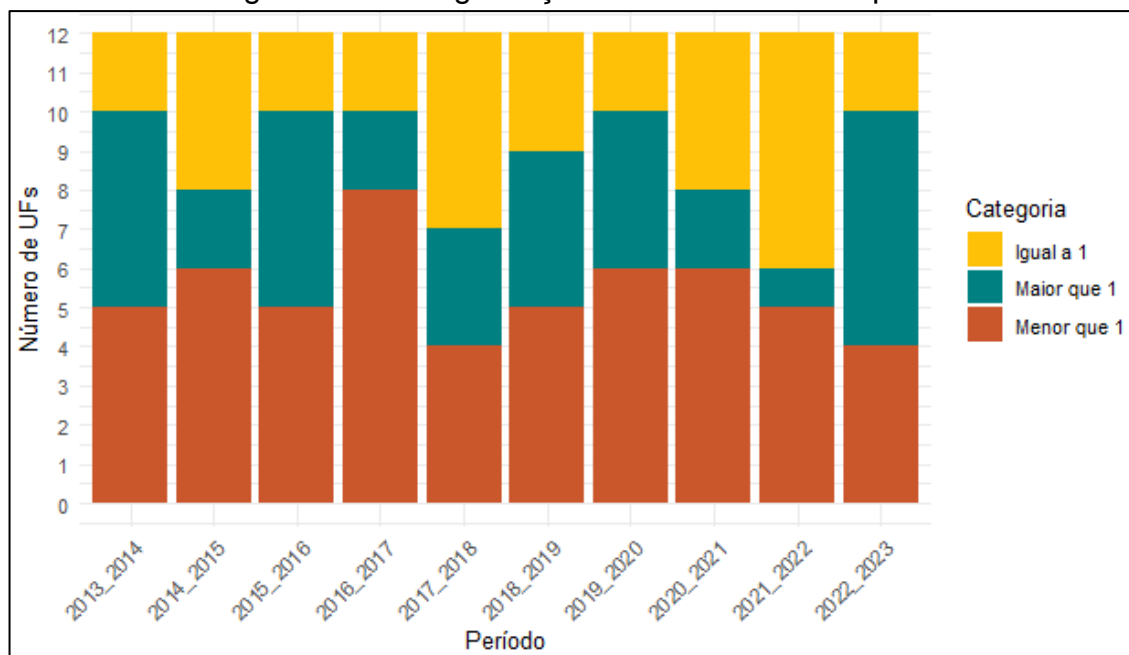
Tabela 5 – Índices de Malmquist

UF	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016	2016- 2017	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2020- 2021	2021- 2022	2022- 2023
AM	0,375	0,485	27,406	0,043	1,000	2,959	6,302	0,083	0,957	3,084
BA	1,000	1,000	1,507	0,518	1,000	1,000	1,058	0,945	1,000	1,110
CE	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,019	1,376	0,838	0,721
ES	16,253	0,046	0,468	0,521	1,059	0,871	0,959	1,522	0,838	3,925
MG	1,354	0,958	0,522	0,941	1,100	0,566	1,000	1,000	1,000	1,086
MT	0,246	58,658	0,076	0,276	0,754	1,520	0,600	1,000	1,000	1,000
PE	3,842	57,904	0,005	1,000	1,000	0,911	1,001	0,966	1,000	1,191
PR	0,177	1,000	1,000	242,200	0,133	27,725	0,152	0,087	0,920	0,614
RJ	39,513	0,868	0,036	1,803	0,356	0,448	0,228	1,000	1,000	17,608
RS	0,222	0,819	2,165	0,503	6,018	0,632	0,385	0,821	1,410	0,486
SC	0,743	1,000	2,077	0,482	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
SP	9,697	0,112	7,985	0,576	0,007	153,147	0,136	0,484	0,881	0,353

Fonte: O Autor (2024)

Valores maiores do que 1 indicam melhora na eficiência. Já os valores menores do que 1 demonstram redução da eficiência e os iguais a 1 indicam estabilidade. Pode-se observar, por meio da Figura 41, o número de unidades enquadradas em cada uma dessas categorias, a cada intervalo de tempo.

Figura 41 – Categorização do Índice de Malmquist

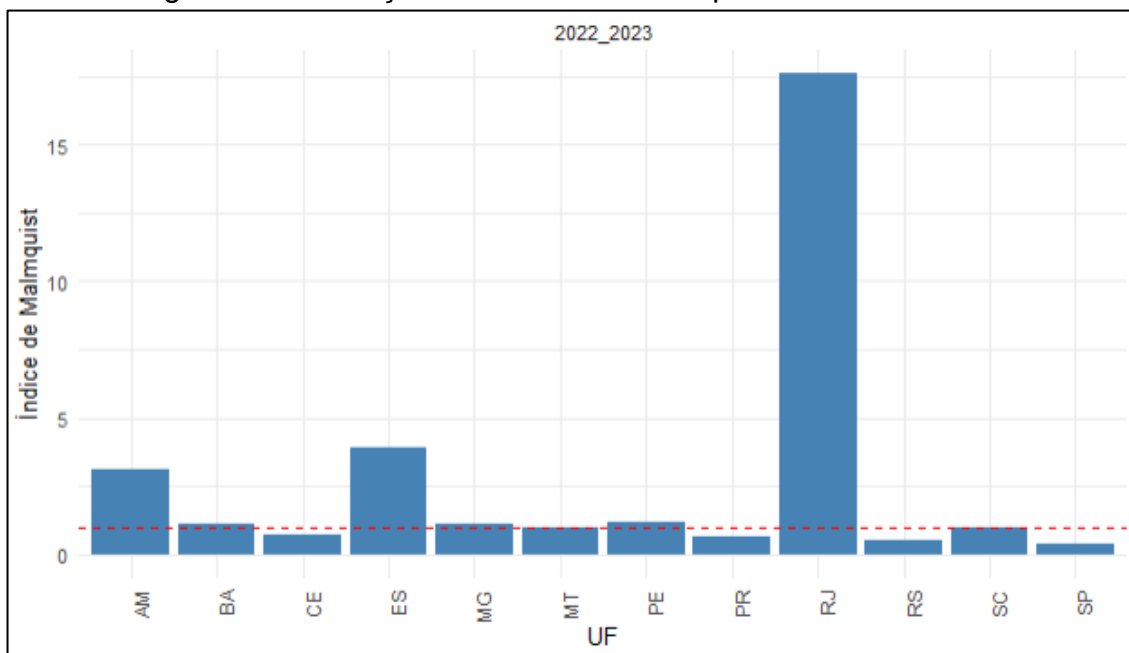


Fonte: O Autor (2024)

Em todos os intervalos analisados observa-se que há estados que apresentaram melhora, piora e manutenção de suas eficiências. De 2016 a 2017, 8 dos 12 estados analisados (67%) apresentaram índices inferiores a 1, indicando piora de suas eficiências, enquanto que de 2017 a 2018 apenas 33% apresentaram o mesmo comportamento. Dentre 2021 e 2022, 50% das unidades mantiveram suas eficiências, enquanto que nos demais períodos, ao menos 2 unidades apresentaram o mesmo comportamento. O período que demonstra melhora significativa das eficiências é o compreendido entre 2022 e 2023, quando 50% dos estados considerados na análise obtiveram valores superiores a 1.

À nível estadual, a variação do Índice de Produtividade de Malmquist no intervalo compreendido entre 2022 e 2023, pode ser observada através da Figura 42.

Figura 42 – Variação do Índice de Malmquist de 2022 a 2023



Fonte: O Autor (2024)

A linha tracejada em vermelho corresponde ao Índice de Malmquist igual a 1. Barras que ultrapassam essa linha representam os estados cujos índices foram superiores a 1, apresentando melhora das eficiências. As barras situadas abaixo da linha correspondem aos estados cujos valores foram inferiores a 1, indicando redução da eficiência.

Observa-se que RJ apresentou Índice de Malmquist significativamente elevado em relação aos demais estados. AM e ES apresentaram valores maiores do

que 1 e superiores a maioria dos estados, mas inferiores ao do RJ. Isso pode refletir melhorias moderadas, indicando a possibilidade de implementação de mudanças nas práticas ou nas tecnologias que contribuíram para o aumento da eficiência.

Considerando-se a performance geral, os valores obtidos para o intervalo compreendido entre 2022 e 2023 foram próximos ou ligeiramente acima de 1, indicando estabilidade ou leves ganhos de produtividade. Isso significa que a maioria dos estados analisados mantiveram seu desempenho ou apresentaram leve melhora em relação ao período anterior, sugerindo alocação de recursos mais constantes.

Decompondo o Índice de Malmquist em termos de Eficiência Técnica (Tabela 6), pode-se mensurar a capacidade de conversão de recursos (entradas) em produtos (saídas), considerando as tecnologias e práticas de gestão disponíveis. Essa análise permite avaliar se as unidades federativas estão utilizando de forma eficaz os recursos à sua disposição ou se há ineficiências operacionais que poderiam ser corrigidas. Além disso, a Eficiência Técnica (ET) ajuda a diferenciar problemas relacionados ao uso inadequado de recursos dos desafios ligados à ausência de avanços tecnológicos, oferecendo subsídios para uma gestão mais direcionada e eficiente.

Tabela 6 – Eficiência Técnica

UF	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
AM	0,609	0,695	5,235	0,191	1,000	1,814	2,341	0,325	0,978	1,785
BA	1,000	1,000	1,389	0,720	1,000	1,000	1,038	0,963	1,000	1,025
CE	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,012	1,270	0,841	0,924
ES	4,285	0,195	0,742	0,699	1,000	1,000	1,000	1,190	0,840	1,823
MG	1,190	0,836	0,610	0,960	1,122	0,892	1,000	1,000	1,000	1,000
MT	0,499	8,133	0,316	0,525	0,740	1,277	0,783	1,000	1,000	1,000
PE	1,961	7,023	0,073	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
PR	0,420	1,000	1,000	15,534	0,257	5,499	0,362	0,255	0,883	0,592
RJ	6,271	0,938	0,187	0,855	0,711	0,749	0,374	1,000	1,000	2,776
RS	0,487	0,876	1,435	0,697	2,560	0,853	0,458	1,000	1,434	0,697
SC	0,862	1,000	1,441	0,694	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
SP	3,249	0,318	2,868	0,683	0,084	12,375	0,351	0,566	0,866	0,611

Fonte: O Autor (2024)

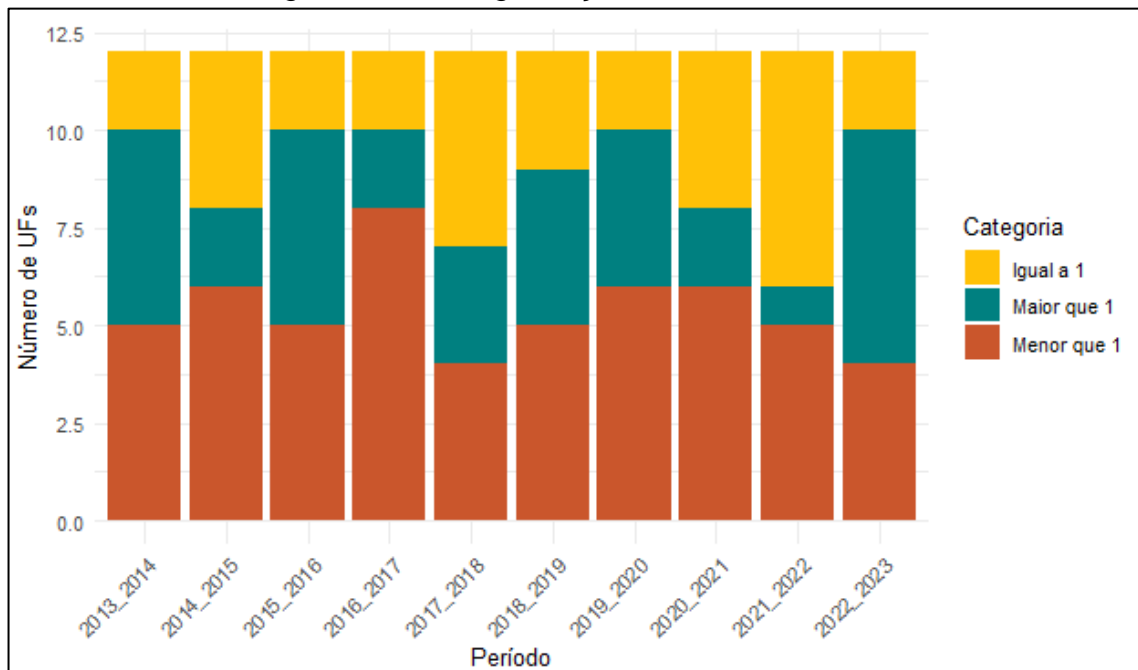
Observa-se que a maioria dos estados não apresenta índices estáveis, sugerindo que a eficiência técnica pode estar vulnerável a mudanças tecnológicas, eventos externos ou políticas regionais. Exemplo disso é o estado de São Paulo, que apresentou valor elevado de ET entre 2018 e 2019 (12,375), seguido de uma queda acentuada entre 2019 e 2020 (0,351), podendo estar associada a eventos extraordinários ou mudanças na política de gestão. Por outro lado, Ceará manteve o valor de eficiência técnica igual a 1 em praticamente todos os períodos, indicando uma

gestão consistente na conversão de recursos em saídas, dentro das condições disponíveis. Estados como MT apresentaram valores baixos em diversos períodos, sugerindo dificuldades recorrentes na gestão dos recursos disponíveis ou na aplicação de tecnologias.

MG apresenta um índice de eficiência técnica que, embora oscilante, tende a se estabilizar próximo a 1 nos últimos anos (2020-2023), podendo indicar melhoria na gestão ou uso mais eficiente dos recursos. Já RJ apresenta tendência de queda ao longo do período, com valores reduzidos após o período compreendido entre 2013 e 2014. Nota-se, ainda, que estados como ES e SC apresentam picos isolados em determinados períodos (4,285 para ES entre 2013 e 2014, e 1,444 para SC entre 2015 e 2016), podendo estar relacionados a eventos específicos, como grandes investimentos ou mudanças locais.

Dado que valores superiores a 1 para Eficiência Técnica indicam melhora na eficiência relacionada ao uso dos recursos disponíveis; enquanto que valores iguais a 1 indicam estabilidade e os inferiores a 1 indicam piora no uso dos recursos, o número de unidades enquadradas em cada uma dessas categorias, a cada intervalo de tempo, pode ser observado por meio da Figura 43.

Figura 43 – Categorização Eficiência Técnica



Fonte: O Autor (2024)

Em termos de alocação de recursos, uma melhora na eficiência técnica significa que a unidade conseguiu otimizar o uso dos recursos disponíveis (PIB per capita e valor pago), gerando melhores resultados (menos danos humanos e materiais e menos ocorrências de desastres) sem depender de avanços tecnológicos ou de aumento de recursos.

Observa-se que o intervalo de 2022 a 2023 foi o que apresentou maior número de estados com valores de eficiência técnica maiores do que 1, indicando melhora no uso dos recursos disponíveis. Entre 2021 e 2022 tal categoria apresentou o menor valor, compreendendo apenas 8% do total de estados. O intervalo compreendido entre 2016 e 2017 foi o que apresentou piora no uso dos recursos disponíveis, com 75% dos estados apresentando valor de eficiência inferior a 1. O período que apresentou maior estabilidade foi entre 2021 e 2022, quando 41,6% dos estados obtiveram valor igual a 1.

A decomposição do Índice de Malmquist em termos de Mudança Tecnológica representada por meio da Tabela 7, apresenta informações sobre a evolução tecnológica ao longo do tempo, medida por alterações na fronteira de eficiência entre os pares de anos consecutivos. Essa mudança reflete o impacto dos avanços ou retrocessos tecnológicos perante a capacidade produtiva das unidades federativas analisadas.

Tabela 7 – Mudança Tecnológica

UF	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016	2016- 2017	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2020- 2021	2021- 2022	2022- 2023
AM	0,616	0,698	5,235	0,227	1,000	1,631	2,692	0,256	0,978	1,727
BA	1,000	1,000	1,085	0,720	1,000	1,000	1,019	0,981	1,000	1,083
CE	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,006	1,083	0,995	0,781
ES	3,793	0,236	0,630	0,745	1,059	0,871	0,959	1,279	0,997	2,153
MG	1,137	1,147	0,855	0,980	0,981	0,635	1,000	1,000	1,000	1,086
MT	0,493	7,212	0,241	0,525	1,018	1,190	0,766	1,000	1,000	1,000
PE	1,959	8,245	0,075	1,000	1,000	0,911	1,001	0,966	1,000	1,191
PR	0,420	1,000	1,000	15,591	0,520	5,042	0,421	0,341	1,041	1,037
RJ	6,301	0,926	0,194	2,108	0,501	0,599	0,611	1,000	1,000	6,344
RS	0,456	0,936	1,509	0,722	2,351	0,741	0,841	0,821	0,983	0,697
SC	0,862	1,000	1,441	0,694	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
SP	2,985	0,352	2,785	0,843	0,084	12,375	0,387	0,856	1,018	0,577

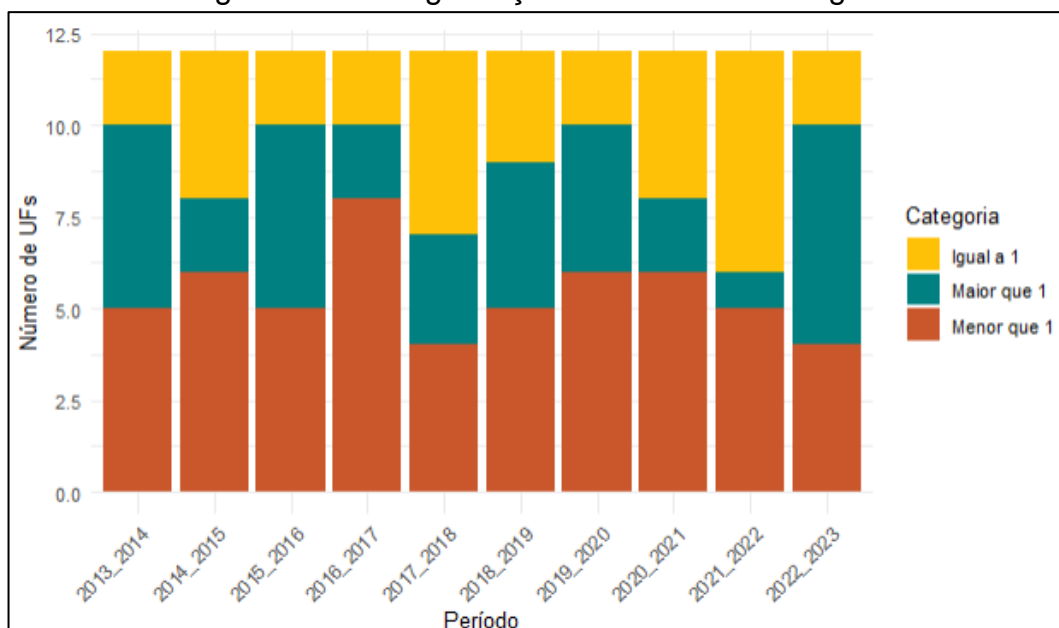
Fonte: O Autor (2024)

Observa-se que estados como AM e SP, apresentaram índices de TC elevados em determinados períodos (5,235 entre 2015 e 2016, e 12,375 entre 2018 e 2019, respectivamente), indicando melhorias nas práticas tecnológicas, que podem estar associadas tanto à investimentos realizados nessas áreas quanto na

modernização da gestão dos desastres. Estados como CE e RS apresentaram índices próximos de 1 na maioria dos períodos, sugerindo estabilidade tecnológica, sem inovações significativas. Alguns estados, como MG e MT, demonstraram crescimento nos valores obtidos ao longo do tempo, podendo refletir dificuldades específicas em determinados períodos, seguidas de adaptações e investimentos em tecnologias. Ademais, para SP e RJ os valores apresentaram maiores oscilações, que podem refletir o mesmo comportamento em termos de investimentos em tecnologias, gestão de desastres ou na eficiência da implementação. Ao contrário disso, CE e SC demonstraram maior consistência nos índices, refletindo mudanças tecnológicas menos expressivas. Em relação ao último período (2022-2023), nota-se que os valores obtidos foram predominantemente próximos de 1, indicando estabilidade tecnológica para a maioria dos estados analisados. Em contrapartida, RJ se destacou, apresentando índice de 6,344, sugerindo implementação de mudanças tecnológicas.

Dado que valores superiores a 1 indicam progresso na fronteira tecnológica, com possibilidade de alcançar maior eficiência a partir dos mesmos recursos, valores iguais a 1 refletem estabilidade dessa fronteira, e valores abaixo de 1 sugerem um retrocesso, podendo ser atribuído a crises, desinvestimentos ou limitações estruturais. A distribuição das unidades federativas em cada uma dessas categorias, ao longo do intervalo de tempo analisado, pode ser visualizada por meio da Figura 44.

Figura 44 – Categorização Eficiência Tecnológica

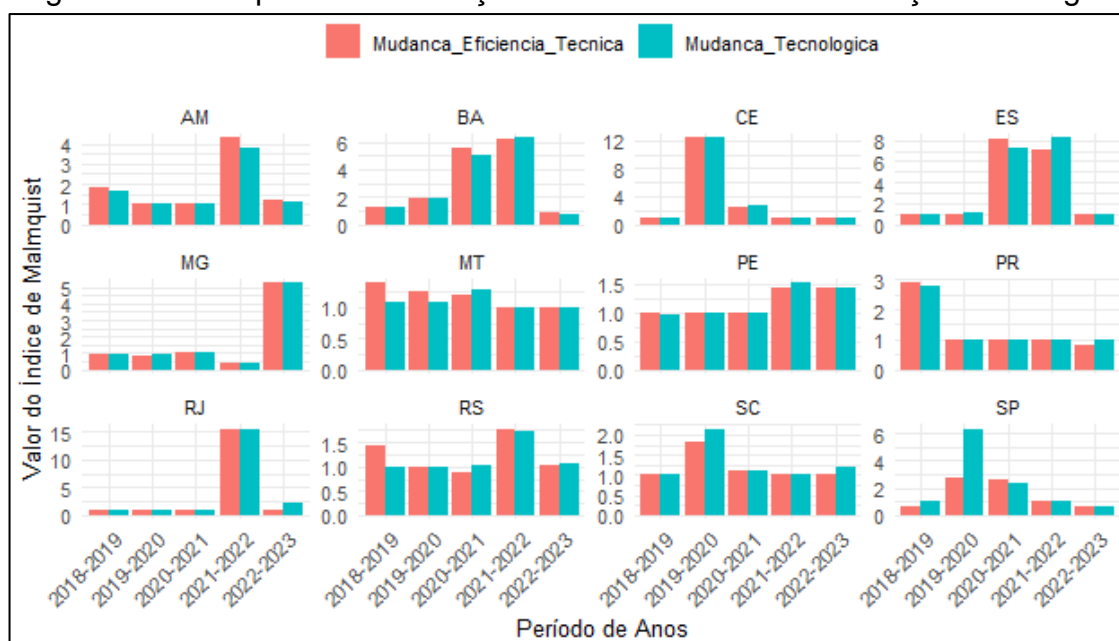


Fonte: O Autor (2024)

Nota-se que para todos os períodos houveram estados que apresentaram estabilidade tecnológica (valores iguais a 1). Períodos como 2015 e 2016, 2018 e 2019, 2022 e 2023 destacaram-se pelo aumento do número de UFs com progresso tecnológico, possivelmente associado a investimentos ou melhorias nas práticas de gestão de desastres. Por outro lado, valores inferiores a 1 também foram recorrentes em todos os períodos, especialmente entre 2016 e 2017, refletindo retrocessos tecnológicos que podem estar associados a desinvestimentos ou limitações estruturais. De 2021a 2023, a estabilidade tecnológica se intensificou, enquanto o número de estados com progresso tecnológico diminuiu, sugerindo falta de inovações recentes.

O comparativo entre as variações na eficiência técnica e na eficiência tecnológica para os 12 estados brasileiros, nos últimos cinco períodos, pode ser observado na Figura 45. Para os demais períodos, os resultados estão apresentados no Apêndice G deste trabalho.

Figura 45 – Comparativo Mudança Eficiência Técnica e Mudança Tecnológica



Fonte: O Autor (2024)

Nota-se que alguns estados, como CE, RJ e MG, apresentaram valores elevados, em determinados períodos, para uma ou para ambas componentes. Esses picos podem refletir períodos de resposta a desastres naturais específicos ou a eventos climáticos extremos ocorridos nesses anos. Situações como essa tendem a exigir mobilização maior de recursos, podendo aumentar a eficiência técnica, visto que

os recursos acabam sendo utilizados de forma técnica para enfrentamento da situação.

Outros estados como o MT, por exemplo, mostraram variação mais estável ao longo do tempo, podendo indicar alocação de recursos mais consistente e estruturada e menos influenciada pelas variações externas ou pelas mudanças repentinas em tecnologia ou eficiência operacional. Menor variabilidade na mudança tecnológica pode indicar que a infraestrutura e os processos estão suficientemente consolidados para lidar com eventos de desastres de modo a evitar necessidade de adaptações urgentes em sua estrutura de gestão.

Observa-se que dentre 2021-2022 estados como AM, RJ e RS, apresentaram picos tanto de eficiência técnica quanto de tecnológica, revelando impacto combinado de melhores práticas operacionais e de avanços tecnológicos. Dentre 2022-2023 nota-se redução significativa de ambas as componentes para AC, BA, ES, RJ e SP, indicando piora na alocação dos recursos e em termos tecnológicos.

Enquanto que determinados estados apresentaram maior variação de amplitude das eficiências em determinados períodos, refletindo esforços específicos para melhorar a gestão aos desastres e a eficiência de recursos, outros, como SC e RS, apresentaram menores variações, podendo indicar uma abordagem mais conservadora em termos de gestão e melhorias operacionais.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentadas as eficiências obtidas por meio da implementação da DEA para avaliação da utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres pelos estados brasileiros, dentre 2013 e 2023. Foram realizadas análises em termos de estatística descritiva, de forma a avaliar a variabilidade dos valores obtidos. Realizou-se a representação cartográfica das eficiências de modo a analisar e comparar seu comportamento, ao longo do tempo, para diferentes unidades federativas, extraíndo *insights* importantes em termos de criticidade para priorização da alocação dos recursos.

Ademais, foram apresentados os resultados obtidos por meio da implementação da análise de *benchmarking*, através dos quais observa-se a quantidade de recursos necessários, em termos monetários, para que unidades

ineficientes alcançassem eficiência máxima dentro do período analisado, orientando ajustes orçamentários específicos.

Para compreender a dinâmica temporal das eficiências, foram apresentados os resultados provenientes da análise do Índice de Malmquist. Por meio deles pode-se analisar as variações de produtividade ao longo do tempo, distinguindo-as quanto a melhora ou piora das eficiências e, conseqüentemente, da evolução na alocação de recursos. A identificação desse perfil permite compreender a forma com que os estados têm utilizados os recursos disponíveis e o nível de inovação por eles adotado. Esses entendimentos contribuem para o embasamento de políticas que incentivem inovação, aprimorem eficiência operacional e personalizem a alocação de recursos conforme necessidade e capacidade específicas de cada estado.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas a partir das análises realizadas neste trabalho, no que tange a utilização eficiente de recursos, por parte dos estados, para gestão de riscos e desastres. Além disso, são propostas recomendações para estudos futuros, visando aprofundamento e ampliação da análise em contextos semelhantes, considerando variáveis e abordagens complementares que possam contribuir para o aprimoramento das políticas públicas na área.

6.1 CONCLUSÕES

Por meio da implementação da Análise Envoltória de Dados foi possível avaliar a eficiência dos estados brasileiros na utilização dos recursos governamentais destinados à gestão de riscos e desastres, para o período compreendido entre 2013 e 2023. Os resultados obtidos por meio dessa implementação permitiram distinguir unidades que operaram de maneira eficiente das que operaram de forma ineficiente. Ao representá-las cartograficamente, observou-se que os estados situados na região Sul do Brasil são os que predominantemente têm apresentado baixa eficiência, principalmente em decorrência de eventos como chuvas, enxurradas e inundações, enquanto que Goiás, Maranhão e Piauí, apresentaram maior eficiência, que pode estar associada aos danos menos intensos causados pelos eventos que os acometeram.

Para identificar potenciais de melhoria, aplicou-se a análise de *Benchmarking*, de modo a estabelecer valores alvos a serem pagos para minimizar a ocorrência de desastres e seus respectivos danos. Observou-se que, ao longo do período analisado, o valor projetado foi superior ao pago, indicando a necessidade de alocação de maior quantidade de recursos para elevar os níveis de eficiência das DMUs. Comparando-se o valor empenhado com o projetado, constatou-se uma diferença significativa entre eles para a maior parte dos períodos, de modo que, mesmo convertendo totalmente o valor empenhado em pago, faltariam recursos para tornar as unidades ineficientes eficientes. Isso evidencia as restrições orçamentárias como fatores limitantes para o alcance da máxima eficiência, principalmente em áreas que exigem maior capacidade de resposta aos desastres.

Visando comparar dinamicamente as eficiências, implementou-se a análise do Índice de Malmquist, decompondo-o em eficiência técnica e tecnológica. Por meio da eficiência técnica pôde-se observar quão bem os estados têm utilizando os recursos disponíveis para gerar resultados (Farrel, 1957; Charnes *et al.*, 1978). Alta eficiência técnica, como a observada entre 2022 e 2023, sugere que os estados estão operando próximo à fronteira de eficiência, otimizando as entradas (valor pago pelo governo), para maximizar os resultados, reduzindo desastres e seus danos. Por outro lado, predomínio de baixa eficiência técnica, como a observada entre 2016 e 2017, sugere piora na alocação dos recursos.

A partir da análise da eficiência tecnológica pôde-se compreender a evolução da fronteira de eficiência ao longo do tempo, visto que ela avalia os avanços e retrocessos da capacidade produtiva das DMUs ao longo do tempo (Lobo *et al.*, 2009). Dentre os períodos analisados, o intervalo que apresentou maior número de estados com valores de eficiência superiores a 1 foi 2022-2023, indicando progresso na fronteira tecnológica. Por outro lado, o que apresentou maior concentração de valores inferiores a 1 foi 2016-2017, sugerindo retrocessos ou dificuldades em acompanhar os avanços tecnológicos. De acordo com Mello *et al.* (2005), tais oscilações podem ser atribuídas à ausência de investimentos contínuos, às limitações estruturais ou, ainda, às crises econômicas que impactam diretamente na capacidade de inovação. O aumento no índice reflete tanto a adoção de novas tecnologias, quanto melhorias nas práticas de gestão, incluindo investimentos em infraestrutura, na capacitação de pessoal e na implementação de sistemas de gerenciamento mais eficientes.

Os resultados obtidos pelo Índice de Malmquist ressaltam os perfis de evolução de eficiência específicos de cada estado, enfatizando a importância de uma abordagem personalizada em termos de alocação de recursos, para promoção de uma gestão mais eficaz, capaz de responder às necessidades imediatas e de fortalecer os níveis de absorção e de resiliência dos estados frente aos futuros desafios. Essa análise corrobora com a literatura, que enfatiza a necessidade de estratégias adaptadas às particularidades de cada contexto regional para uma gestão eficiente de recursos públicos.

A combinação das abordagens DEA, *benchmarking* e Malmquist se mostrou eficiente no atendimento dos objetivos propostos para esse trabalho, visto que permitiu avaliar a eficiência atual, identificar oportunidades de melhoria e monitorar a evolução das eficiências ao longo do tempo. As análises obtidas têm implicações

relevantes para a formulação de políticas voltadas à alocação de recursos, especialmente no contexto de desastres, destacando a importância da adoção de estratégias condizentes com as necessidades, particularidades e vulnerabilidades de cada estado.

Reitera-se que os resultados obtidos consideraram os dados utilizados para análise, os quais foram extraídos de sites públicos do governo, compreendendo o período de 2013 a 2023, para os 26 estados brasileiros. Esses dados não foram validados junto às Defesas Civas devido às limitações de tempo para a execução do trabalho e à abordagem macro, em nível Brasil, adotada neste estudo. Essa ausência de validação pode influenciar na precisão dos resultados, ressaltando a relevância de estudos futuros voltados à validação dos mesmos para uma análise ainda mais robusta e representativa.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se, em estudos futuros, a exploração de outras variáveis de entrada e de saída, como indicadores de vulnerabilidade física, econômica, social, e ambiental, como os mencionados em Dutra (2011), bem como a ponderação das áreas de acordo com o risco ou a predisposição aos desastres. Além disso, recomenda-se a aplicação dessa análise em outros contextos, utilizando ferramentas que possibilitem considerar a dinamicidade das variáveis, para aprofundar o entendimento sobre os fatores que influenciam a eficiência da alocação de recursos. Algumas sugestões para expandir a análise são: aplicação de DEA de dois estágios, semelhante ao aplicado por Varela, Martins e Fávero (2012), que permite integrar fatores externos à análise; a incorporação de pesos dinâmicos baseados na ocorrência dos desastres, por meio do DEA com pesos variáveis (*Variable Weights* DEA) ou de uma análise multicritério de decisão (MCDA) integrada ao DEA, como o AHP (*Analytic Hierarchy Process*); aplicação do DEA estocástico (SDEA) que permite incorporar incerteza e variabilidade nas variáveis, algo comum em contextos de gestão de riscos e desastres, onde a alocação de recursos pode ser influenciada por eventos imprevisíveis.

Em virtude da heterogeneidade entre os tipos de desastres predominantes em cada região, sugere-se a realização de análise em escala micro, voltada para uma região específica ou até mesmo para um único estado, de modo a capturar suas

especificidades. Ao focar em uma escala menor, é possível desenvolver estratégias mais eficazes e adaptadas às particularidades de cada região/estado, aumentando a precisão da eficiência na alocação de recursos. Ademais, ao realizar o estudo em escala micro, torna-se mais viável validar os dados de entrada junto à Defesa Civil, o que é recomendado para assegurar sua consistência e integridade, evitando interpretações equivocadas e garantindo resultados mais confiáveis, que facilitam a formulação de políticas públicas adequadas às necessidades reais.

Outra sugestão seria confrontar as análises obtidas por meio das informações disponibilizadas em sites relacionados ao governo, com as obtidas por meio da Defesa Civil, de modo a verificar a consistência e a confiabilidade dos dados. Ao realizar esse confronto, é possível identificar divergências nas metodologias de coleta, processamento ou publicação dos mesmos entre as diferentes fontes, o que é relevante para estudos que envolvam políticas públicas, visto que a precisão dos dados é essencial para tomadas assertivas de decisão e para elaboração de estratégias eficazes. A divergência significativa entre os dados apresentados pelas fontes oficiais e os disponibilizados pela Defesa Civil pode sugerir necessidade de revisão ou padronização nos processos de reporte e compartilhamento das informações, servindo como um mecanismo de auditoria, reforçando a necessidade de transparência e credibilidade dos dados disponibilizados.

REFERÊNCIAS

ABEPRO. **A profissão da Engenharia de Produção**. Disponível em: <https://portal.abepro.org.br/profissao/>. Acesso em: 18 jun. 2024.

ACCIOLY, D. Brasil deixa de aplicar 35% da verba para gestão de riscos e desastres, aponta TCU. **Senado Notícias**, 29 maio 2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/05/29/brasil-deixa-de-aplicar-35-da-verba-para-gestao-de-riscos-e-desastres-aponta-tcu#:~:text=A%20Lei%20Or%C3%A7ament%C3%A1ria%20deste%20ano,%2C8%25%20da%20verba%20prevista>. Acesso em: 03 jun. 2024.

ADLER, N.; GOLANY, B. Evaluation of Deregulated Airline Networks Using Data Envelopment Analysis Combined with Principal Component Analysis. **European Journal of Operational Research**, v.132, n.2, p.260-273,2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222707730_Evaluation_of_deregulated_airline_networks_using_data_envelopment_analysis_combined_with_principal_component_analysis_with_an_application_to_Western_Europe. Acesso em: 25 out. 2024.

AFONSO, M. H. F; SOUZA, J. V.; ENSSLIN, S. R; ENSSLIN, L. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo PROKNOW-C na busca de literatura sobre avaliação do desempenho sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental** – RGSA, São Paulo, v.5, n. 2, p.47-62, maio/ago. 2011.

AGASISTI, T. Performances and spending efficiency in higher education: a European comparison through non-parametric approaches. **Education Economics**, v. 19, n.2, p.199-224, 2011.

AGÊNCIA BRASIL. **Incêndios queimaram 30% da área do Pantanal em 2020, mostra estudo**. São Paulo, 29 ago. 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-08/incendios-queimaram-30-de-area-do-pantanal-em-2020-mostra-estudo>. Acesso em: 04 out. 2024.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.

ALFIERI, L. *et al.* GloFAS-global ensemble streamflow forecasting and flood early warning. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 1161–1175, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-17-1161-2013>. Acesso em: 01 jul. 2024.

ANDRADE, J. Desastres naturais atingiram 93% dos municípios nos últimos 10 anos. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 27 jul. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-07/desastres-naturais-atingiram-93-dos-municipios-nos-ultimos-10-anos>. Acesso em: 03 jun. 2024.

BANKER, R.; CHARNES, A.; COOPER, W.; SWARTS, J.; THOMAS, D. An introduction to Data Envelopment Analysis with some of its models and their uses. **Research in Governmental and Non-Profit Accounting**, v.5, p.125-163, 1989.

BARRETO, M. M. Número de mortes por desastres naturais no brasil mais do que dobrou desde 2012. **Extra Classe**, 13 maio 2024, Ambiente. Disponível em: <https://www.extraclasse.org.br/ambiente/2024/05/numero-de-mortes-por-desastres-naturais-no-brasil-mais-do-que-dobrou-desde-2012/>. Acesso em: 03 jun. 2024.

BASTOS, C.M.S. *et al.* A eficiência relativa das empresas brasileiras distribuidoras de energia elétrica. **Revista Ambiente Contábil**, v.12, n. 1, p. 66-87, 2020. DOI: 10.21680/2176-9036.2020v12n1ID16337. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/ambiente/article/view/16337>. Acesso em: 27 ago. 2024.

BELLONI, J. A. **Uma Metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidades Federais Brasileiras**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/78457/153160.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 ago. 2024.

BERZ, W. *et al.* World map of natural hazards: a global view of the distribution and intensity of significant exposures. **Natural Hazards**, v. 23, p. 443–465, 2001.

BEZERRA, A. M.; SONZA, I. B.; RIBEIRO, R. P. Análise Envoltória de Dados: Modelos Clássicos e uma aplicação à finanças. **Revista Interdisciplinar Encontro das Ciências - RIEC**, v.4, n.3, p. 307-324, set.-dez. 2021. Centro Universitário Vale do Salgado – UniVS. Disponível em: <https://riec.univs.edu.br/index.php/riec/article/view/217/170>. Acesso em: 28 ago. 2024.

BIONDI NETO, L. N. **Neuro - DEA: Nova Metodologia para Determinação da Eficiência Relativa de Unidades Tomadoras de Decisão**. Rio de Janeiro, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

BIRKMANN, J. Indicator sand criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements. *In*: BIRKMANN, J. (ed.) **Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies**. New York: United Nations University, 2006. p.55-77.

BOGETOFT, P.; NIELSEN, K. DEA based yardstick competition in natural resource management. *In*: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN AND AGRICULTURAL AND RESOURCE ECONOMICS SOCIETY (AARES), 47., 2003. **Anais [...]**. Fremantle, Austrália, p. 103-125, 2003. Disponível em: http://ageconsearch.umn.edu/record/57928/files/2003_nielsen.pdf. Acesso em: 28 ago. 2024.

BRUNELLO, G.; FORT, M.; SCHNEEWEIS, N.; WINTER-EBMER, R. The Causal Effect of Education on Health: What is the Role of Health Behaviors? **Health Economics (United Kingdom)**, v.25, n.3, p. 314–336, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hec.3141>. Acesso em: 05 ago. 2024.

CAMP, R. C. **Benchmarking Dos processos de negócios: Descobrimo e Implementando as Melhores Práticas**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1996.

CARRASCO, M. P.; MATIAS, F.; REBELO, S. **Aplicação da Metodologia DEA na análise da eficiência do setor hoteleiro português: uma análise aplicada às regiões portuguesas**.

CARTER, W.N. **Disaster Management A Diaster Manager's Handbook** [S.L.: s.n], 2008. ISSN 978-971-561-006-3. E-book.

CASADO, F. L.; SOUZA, A. M. **Análise Envoltória de Dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior**. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/adriano/mon/fc.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres**. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998. 283 p.

CASTRO, A. L. C. **Manual de planejamento em defesa civil**. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Departamento de Defesa Civil, 1999. 133 p.

CASTRO, C.E.T. **Avaliação da eficiência gerencial de empresas de águas e esgotos brasileiras por meio da envoltória de dados (DEA)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/5000065181_03_pretexto.pdf. Acesso em: 26 ago. 2024.

CAVALCANTE, G. T.; FARIA, R. C. O uso dos parâmetros de benchmarking da análise envoltória de dados (DEA) como instrumento de orçamentação. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.3, n.1, p.43-61 Sem I. 2009. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/rica/article/download/17598/11383>. Acesso em: 24 out. 2024.

CEMADEN. **Monitoramento de secas e impactos no Brasil (2013 - julho 2024)**. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-julho-2024>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v.2, n.6, p.429-444, 1978.

CHARNES, A.; COOPER, W. W. Preface to topics in Data Envelopment Analysis. **Annals of Operations Research**, 2, 59-94, 1985. CHARNES, A.; *et al.* Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications. USA, Kluwer Academic Publishers, 1994.

COELLI, T.J. Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. **Australian Journal of Agricultural Economics**, v.39, n.3, p.219-245, 1995.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Desastres obrigam mais de 4,2 milhões de pessoas que foram negligenciadas pelas políticas públicas a buscarem alternativas de moradia nos últimos 10 anos**. Brasília, 26 jul. 2023.

Disponível em:

https://cnm.org.br/storage/noticias/2023/Links/27072023_Estudo_Habita%C3%A7%C3%A3o_Desastre_revisado_area_publica%C3%A7%C3%A3o.pdf . Acesso em: 09 jun. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Panorama dos Desastres no Brasil 2013 a 2023**. Brasília, maio 2024. Disponível em:

https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos_tecnicos/202405_ET_Panorama_Desastres_Brasil_2013_a_2023.pdf. Acesso em: 09 jun. 2024.

COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software. **Springer Science & Business**, 2. ed., p.492, 2007.

CORREA, A.; TAFFAREL, M.; RIBEIRO, F.; MENON, G. Análise de Eficiência: Uma Comparação das Empresas Estatais e Privadas do Setor de Energia Elétrica Brasileiro. **Revista Catarinense da Ciência Contábil**, v. 15, n. 46, p. 09-23, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.16930/2237-7662/rccc.v15n46p9-23>. Acesso em: 27 ago. 2024.

CORRÊA, C. V. S. A geotecnologia no monitoramento, alerta e prevenção de desastres – os desastres naturais e tecnológicos no cenário brasileiro e estudos de caso de emprego de geotecnologias como subsídio a sua mitigação. **Redução**, 2. ed. 2020. Disponível em:

https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020-22.pdf . Acesso em: 09 jun. 2024.

COSTA, G. Prevenção a desastres esbarra na falta de projetos técnicos locais. **Agência Brasil**. Brasília, 2024. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-05/prevencao-desastres-esbarra-em-falta-de-projetos-tecnicos-locais>. Acesso em: 25 out. 2024.

CUTTER, S.L. **Vulnerability to environmental hazards**. Prog. Hum. Geogr. 1996, 20, p.529–539.

DEBORTOLI, N.S; CAMARINHA, P.I.M.; MARENGO, J.A.; RODRIGUES, R.R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards**, v. 86, n. 2, p. 557-582, 2017.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Histórico e evolução da defesa civil no Brasil**. Disponível em: <https://defesacivil.rj.gov.br/index.php/defesa->

civil/historia-da-defesa-

civil#:~:text=Ap%C3%B3s%20o%20afundamento%2C%20na%20costa,primeiro%20esbo%C3%A7o%20de%20Defesa%20Civil. Acesso em: 08 jun. 2024.

DEFESA CIVIL DO MATO GROSSO. **O que é proteção e defesa civil.** Disponível em: <https://www.defesacivil.mt.gov.br/o-que-e-protecao-e-defesa-civil>. Acesso em: 08 jun. 2024.

DEFESA CIVIL DO PARANÁ. **Cartilha para Prefeitos.** 2020. Disponível em: https://www.defesacivil.pr.gov.br/sites/defesa-civil/arquivos_restritos/files/documento/2020-12/CartilhaparaPrefeitos.pdf. Acesso em: 28 ago. 2024.

DUTRA, R.C. **Indicadores de vulnerabilidade:** no contexto da habitação precária em área de encosta sujeita a deslizamento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94975>. Acesso em: 15 ago. 2024.

EASTERLING, D.R. *et al.* Climate extremes: observations, modeling, and impacts. **Science**, v. 289, p. 2068-2074, 2000.

EMROUZNEJAD, A.; PARKER, B.R.; TAVARES, G. Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. **Socio-Economic Planning Sciences**, v.42, n.3, p. 151-157, 2008.

ESPÍRITO SANTO. Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil (CEPDEC). **Noções básicas em proteção e defesa civil.** Vitória: Governo do Estado do Espírito Santo, 2017. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/DefesaCivil/AGERH/No%C3%A7%C3%B5es%20Básicas%20em%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20e%20Defesa%20Civil-1.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. **The American Economic Review**, v. 84, n. 1, p. 66–83, 1994.

FARRELL, M.J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

FEMA. **Federal Emergency Management Agency – Annual Report 2022.** Disponível em: <https://www.fema.gov>. Acesso em: 19 dez.2024.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados:** teoria, modelos e aplicações. Viçosa: Editora UFV. 389 p. 2009.

FERREIRA, L. C. Brasil teve 1.161 desastres naturais em 2023. **Agência Brasil**, São Paulo, 23 jan. 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-01/brasil-teve-1161-desastres-naturais-em-2023>. Acesso em: 03 jun. 2024.

- FERREIRA, T. I. C. **Análise de eficiência dos gastos públicos em educação nos municípios do estado de Pernambuco no período de 2011 a 2017 utilizando análise envoltória dos dados (DEA)**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/38571/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Thiago%20Igor%20da%20Costa%20Ferreira.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.
- FIRMINO, R. G. **Avaliação da eficiência na aplicação dos recursos públicos da educação básica: um estudo nos municípios paraibanos**. 2013.102 f. Dissertação (Mestrado em ciências contábeis) – UnB/UFPB/UFRN, João Pessoa, 2013.
- FONSECA, S. E.; FERNANDES, A. R.; CUNHA, C. L.; IQUIAPAZA, R. A. Fundos de Investimento: Performance Aplicando Modelo Carhart e Análise Envoltória de Dados. **Revista de Administração Contemporânea**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2018170174>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- FRAGOSO, M.L.C; GEHLEN, V.R.F.; SILVA, T.A.A. A condição das mulheres diante das situações de desastres naturais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, dez. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/232839/26834>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- FRIED, H.O. *et al.* Contabilização de efeitos ambientais e ruído estatístico na análise de envoltório de dados. **Journal of Productivity Analysis**, v.17, p.157–174, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1013548723393>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- FURTADO, J. R. (Org.). **Gestão de desastres e ações de recuperação**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2014. Disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2013/02/livro-completo-1-1.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.
- GAO, Y.; YU, X.; XI, M.; ZHAO, Q. Assessment of Vulnerability Caused by Earthquake Disasters Based on DEA: A Case Study of Country-Level Units in Chinese Mainland. **Sustainability**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15097545>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed., São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5 ed., São Paulo: Atlas, 1999.
- GOMES, C. S. **Eficiência dos sistemas municipais de educação no Estado de São Paulo**. Universidade de São Paulo, 2010.
- GOMES, E.G. *et al.* Avaliação de Eficiência de Companhias Aéreas Brasileiras: Uma Abordagem por Análise de Envoltória de Dados. (Eds.). *In: PANORAMA NACIONAL DA PESQUISA EM TRANSPORTES*, 15., 2001, Campinas, SP. **Anais do XV ANPET**. Campinas, v.2, p.125-133.
- GOMES, P. C. T. Coeficiente de correlação de Pearson: Cálculo e Aplicações. **Datageeks**, 2024. Disponível em: <https://www.datageeks.com.br/coeficiente-de-correlacao-de-pearson/#:~:text=e%20Y%2C%20respectivamente,->

, Interpreta% C3%A7% C3%A3o% 20do% 20Coeficiente% 20de% 20Pearson,% 7C% 20% 3C% 200.5% 3A% 20correla% C3%A7% C3%A3o% 20frac.. Acesso em: 25 out. 2024.

GROISMAN, P.Y. *et al.* Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1326–1350, 2005.

G1. **Com impacto de Brumadinho, Vale tem prejuízo de R\$ 6,6 bilhões em 2019.** 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/02/20/vale-tem-prejuizo-de-r-64-bilhoes-no-quarto-trimestre-de-2019.ghtml>. Acesso em: 28 out. 2024.

HAUNER, D. Explaining differences in public sector efficiency: evidence from Russia's regions. **WorldDevelopment**, v.36, n.10, p.1745-1765, 2008.

HOUGHTON, J. **Global warming: the complete briefi ng.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 251, 2003.

HUANG, D. *et al.* An assessment of multidimensional flood vulnerability at the provincial scale in China based on DEA method. **Natural Hazard**, v.64, p. 1575-1586, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0323-1>. Acesso em: 18 ago. 2024.

HUANG, J.; LIU, Y.; MA, L.; SU, F. Methodology for the assessment and classification of regional vulnerability to natural hazards in China: the application of DEA model. **Natural Hazards**, v.65, p. 115-134, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0348-5>. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBGE(a). **Tabela 6579 - População residente estimada.** Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6579>. Acesso em: 30 out. 2024.

IBGE(b). **Tabela 5938 – Produto Interno Bruto dos Municípios.** SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938#resultado>. Acesso em: 30 out. 2024.

JACOB, P.R.; SULAIMAN, S.N. Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas. **Revista USP**, v. 109, p. 133-142, 2016.

JANONE, L. A cada desastre natural no Brasil, em média, 3,4 mil pessoas são afetadas. **CNN Brasil**, Rio de Janeiro, 11 abr. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/a-cada-desastre-natural-no-brasil-em-media-34-mil-pessoas-sao-afetadas/>. Acesso em: 03 jun. 2024.

JUSTEN, C. R. **Data Envelopment Analysis (DEA) para análise de eficiência – aplicação em diversas áreas.** LinkedIn, 29 nov. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/aplicando-data-envelopment-analysis-dea-para-an%C3%A1lise-de-ramos-justen/>. Acesso em: 09 jun. 2024.

KASSAI, S. **Utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) na Análise das Demonstrações Contábeis.** 2002. Tese (Doutorado em Contabilidade) – Faculdade

de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/8821/89cf255e7a880df07d3d549f74c7187fbfd1.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. 1. ed. Curitiba: Organic Trading, 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F. Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. **SUISUI Hydrological Research Letters**, v.1, p.11-14, 2007.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; MONTEIRO, L.R. Integração das ciências e das tecnologias para redução de desastres naturais: sócio-hidrologia e sócio-tecnologia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. especial, p. 206-231, 2018.

LACERDA, V. Em 11 anos, governo investe R\$ 9,5 bi contra desastres naturais, mas perdas chegam a R\$ 639 bi. **R7**, Brasília, 21 maio 2024. Disponível em: <https://noticias.r7.com/brasil/brasil-em-10-anos-municipios-perdem-r-639-bi-com-desastres-naturais-mas-governo-investe-r-95-bi-21052024/>. Acesso em: 03 jun. 2024.

LI, M.; LV, J.; CHEN, X.; JIANG, N. Provincial evaluation of vulnerability to geological disaster in China and its influencing factors: a three-stage DEA-based analysis. **Natural Hazards**, p.1649-1662, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1917-1>. Acesso em: 12 ago. 2024.

LIBERATO, J. A. Gastos em proteção e defesa civil para prevenção de desastres naturais versus resposta e reconstrução no Brasil. **Revista Técnica CNM**, 2016. Disponível em: <https://cnm.org.br/storage/biblioteca/Gastos%20em%20prote%C3%A7%C3%A3o%20e%20defesa%20civil%20para%20preven%C3%A7%C3%A3o%20de%20desastres%20naturais.pdf>. Acesso em: 21 set. 2024.

LIMA, R.P.; BEZERRA, F.A. Gestão Fiscal e a eficiência do gasto público em educação e saúde nos estados brasileiros. **Revista do Serviço Público (RSP)**. Brasília, v. 73, n.2, p. 359-378, abr./jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21874/rsp.v73.i2.6668>. Acesso em: 20 out. 2024.

LINS, M.P.E.; ANGULO-MEZA, L. **Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: Editora da COPPE/UFRJ, 2000.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. M.; LIN, B. J. Y. A survey of DEA applications. **Omega (United Kingdom)**, v.41, n. 5, p. 893–902, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.11.004>. Acesso em: 20 jun. 2024.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. M. Research fronts in data envelopment analysis. **Omega (United Kingdom)**, 58, p. 33–45, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.04.004>. Acesso em: 20 jun. 2024.

LOBO, M. *et al.* Impacto da reforma de financiamento de hospitais de ensino no Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v.43, n.3, p. 437-445, maio 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/kzMdcX3JX7SQYMRrZcWMWXC/?lang=pt#>. Acesso em: 28 ago. 2024.

LORENZETT, J. R.; LOPES, A. L. M.; LIMA, M. V. A. Aplicação do método de pesquisa operacional (DEA) na avaliação de desempenho de unidades produtivas para área de educação profissional. **Revista Eletrônica Estratégia e Negócios**, v. 3, n.1, out. 2010. Disponível em: <https://pesquisas.face.ufmg.br/nipe-log/wp-content/uploads/sites/4/2015/11/Artigo32.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2024.

MACHADO JUNIOR, S. P.; IRFFI, G.; BENEGAS, M. Análise da eficiência técnica dos gastos com educação, saúde e assistência social dos municípios cearenses. **Planejamento e Políticas Públicas**, n.36, 2011. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3986/3/PPP_n36_AnalisadaEficienciaTecnica.pdf. Acesso em: 14 ago. 2024.

MAGRO, R. B. **Aplicação de redes neurais artificiais para previsão de inundação em uma área urbana**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade Estadual de Santa Catarina. Lages, p. 25-26, 2021. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/2846/1__Dissertacao_RenataBMagro_capa_16650821216082_2846.pdf. Acesso em: 30 ago.2024.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing**: uma orientação aplicada. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MARENCO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.; VALVERDE, M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2241–2255, 2009.

MARENCO, J.A. Históricos do clima e dos extremos climáticos no Brasil. *In*: MARENCO, J.A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H.S.; ZEE, D.M.W. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. São Paulo: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, p. 76, 2010.

MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. A. N. Peculiaridades da Análise por Envoltória de Dados. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP 2006), 12., 2006, São Carlos, SP. **Anais [...]**. 2006. p. 1-15. Disponível em: https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/816.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.

MARQUES, V. Desastres Naturais. **Toda Matéria**, Geografia. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/desastres-naturais/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

MATTOS, E.; TERRA, R. **Conceitos sobre eficiência**. In: R. Boueri, F.F. Rocha, F.M. A. Rodopoulos. Avaliação da qualidade do gasto público e mensuração da eficiência. Brasília: Secretaria do Tesouro Nacional, 2015.

MCBEAN, G. Climate change and extreme weather: a basis for action. **Natural Hazards**, v. 31, p. 177–190, 2004.

MELLO J.C.C.B.S. DE. *et al.* Análise envoltória de dados no estudo da eficiência dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, v.23, n.2, p.325-345, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/dRzTnPmFDJNXCYTbrpmDQXD/>. Acesso em: 24 out. 2024.

MELLO, J. C. C. B. S.; ÂNGULO-MEZA, L.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, LUIZ. Curso de Análise de Envoltória de Dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 38., 2005, Gramado, RS. **Anais [...]**. Disponível em: <http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0289.pdf>. Acesso em: 26 ago.2024.

MELLO J.C.C.B.S. DE. *et al.* Algoritmo de alocação de recursos discretos com análise de envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, v.26, n.2, p.225-239, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/3dzSH9c9y3RnLTmRHfHwX6F/#>. Acesso em: 26 ago. 2024.

MELLO, M.M.M. **Análise da vulnerabilidade em áreas suscetíveis a deslizamentos do bairro Colônia Santana – São José utilizando indicadores socioambientais**. 2018. Dissertação (Mestrado em Gestão Territorial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/205664>. Acesso em: 27 ago. 2024.

MEZA, L. A.; MELLO, J.C.C.B.S.; GOMES, E.G.; FERNANDES, A.J.S. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. **Investigação Operacional**, v. 27, n.1, p. 21-36, 2007. Disponível em: <http://apdio.pt/documents/10180/15550/n2.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2024.

MIGUEL, P. A. C. Estudo e caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 13., 2006, Belo Horizonte, MG. **Anais [...]**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/zhVnv4mW8pWw3hTxvfXt4L/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2024.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Em 2023, Cemaden registrou maior número de ocorrências de desastres no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/01/em-2023-cemaden-registrou-maior-numero-de-ocorrencias-de-desastres-no-brasil>. Acesso em: 03 jun. 2024.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais**. 2024. Disponível em: <http://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/graficos.xhtml>. Acesso em: 04 out. 2024.

MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Diagnóstico de Capacidades e Necessidades Municipais em Proteção e Defesa Civil**. Brasília, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/Versao_WEB_Projeto_Elos_Diagnostico_Municipal_Volume_Brasil.pdf. Acesso em: 13 jun. 2024.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) – Dados Informados**. Portal de Dados Abertos do MDR, 2024a. Disponível em: https://dadosabertos.mdr.gov.br/dataset/s2id_sedec. Acesso em: 04 out.2024.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Relatórios – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID)**. 2024b. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>. Acesso em: 04 out. 2024.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Plano Nacional reforça a necessidade de investimentos em medidas pré-desastres**. 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/plano-nacional-reforca-a-necessidade-de-investimentos-em-medidas-pre-desastres-1>. Acesso em: 18 set. 2024.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais**: 2013. Brasília: CENAD, 2014.

MIRANDA, M.S. **Gastos Públicos Municipais em Saúde e Enfrentamento da Pandemia de COVID 19**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis e Administração) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis e Administração, FUCEPE Pesquisa e Ensino S/A. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://fucepe.br/?jet_download=6a24ad5cfb817fa5142bd295f29e27f2d14a5807. Acesso em: 19 dez. 2024.

MONTE, B. E. O. *et al.* Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 52, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101970>. Acesso em: 01 jul. 2024.

MURATORI, M. Levantamento ranqueia estados com mais desastres naturais em 10 anos. **Correio Braziliense**, 07 abr. 2022. Disponível em: <https://www.correio braziliense.com.br/brasil/2022/04/4998995-levantamento-rankeia-estados-com-mais-desastres-naturais-em-10-anos.html> . Acesso em: 06 jun. 2024.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **ONU confirma que 2023 bate recorde de temperatura global**. 12 jan. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/257750-onu-confirma-que-2023-bate-recorde-de-temperatura-global>. Acesso em: 17 jun. 2024.

NETO, S. L. R. **Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

OLIVEIRA, A. **Avaliação de desempenho de um sistema de manufatura de costura transversal através da análise envoltória de dados**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012. Disponível em:
https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5979/1/arquivo9596_1.pdf. Acesso em: 10 ago. 2024.

OLIVEIRA, M.F. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração**. Catalão, 2011. Disponível em:
https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.

OLIVEIRA, T. B. A. **Avaliação da eficiência produtiva de fazendas canavieiras utilizando índices de Malmquist**. 2014. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/131001/332806.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 out. 2024.

OSORIO, P. Brasil registrou mais de mil desastres naturais em 2023, segundo o Cemaden. **CNN Brasil**, São Paulo, 23 jan. 2024. Disponível em:
<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-registrou-mais-de-mil-desastres-naturais-em-2023-segundo-o-cemaden/#:~:text=Foram%20registrados%201.161%20eventos%20de,registros%20de%202022%20e%202020>. Acesso em: 08 jun. 2024.

PEÑA, C.R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-65552008000100005>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PEREIRA, V.L.; BORGERT, A.; KISTNER, S.P. Eficiência dos portos de Santa Catarina: um estudo com aplicação do Índice de Malmquist. *In*: CONGRESSO UFSC DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CONTABILIDADE, 14., 2024, Florianópolis, SC. **Anais [...]**. Florianópolis: 2024. Disponível em:
https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/256774/Artigo_BU_Vith%c3%b3ria_La%c3%adz.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 ago. 2024.

PÉRICO, A. E.; REBELATTO, D. A. do N.; SANTANA, N. B. Eficiência bancária: os maiores bancos são os mais eficientes? Uma análise por envoltória de dados. **Gestão & Produção**, p. 421–431, ago. 2008. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/s0104-530x2008000200016>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PESSANHA, J. F. M.; MARINHO, A.; LAURENCEL, L. C.; AMARAL, M. R. S. Implementando modelos DEA no R. *In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA*, 10., 2013. **Anais [...]**. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/44218525.pdf>. Acesso em: 03 set. 2024.

POLITELO, L.; RIGO, V.P.; HEIN, N. Eficiência da Aplicação de Recursos no Atendimento do Sistema Único de Saúde (SUS) nas Cidades de Santa Catarina. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde**, [s.l.], v.3, n.2, p.45-60, 2014. DOI: 10.5585/rgss.v3i2.105. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/revistargss/article/view/12720>. Acesso em: 10 out. 2024.

QUARANTELLI, E.L. (ed.) **What is a disaster?** Londres: Nova York: Routledge, 1998.

REMPEL, C. *et al.* Analysis of the Relative Technical Efficiency of Brazilian Electricity Distribution Companies: A DEA Approach. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 14, n. 33, p. 33-54, set/dez. 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/762/76257049003.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

RESENDE, T.; CARREGOSA, L.; PARREIRA, M. Governo Federal investiu sete vezes mais na recuperação do que na prevenção de desastres no RS desde 2018. **G1**, Brasília, 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2024/05/09/governo-federal-investiu-sete-vezes-mais-na-recuperacao-que-na-prevencao-de-desastres-no-rs-desde-2018.ghtml>. Acesso em: 21 set. 2024.

RIBBEIRO, L. Gastos do governo com prevenção representam 1/3 das despesas com desastres, segundo levantamento. **CNN Brasil**, 13 maio 2024a. Disponível em: [https://www.cnnbrasil.com.br/politica/gastos-do-governo-com-prevencao-representam-1-3-das-despesas-com-desastres-segundo-levantamento/#:~:text=levantamento%20%7C%20CNN%20Brasil-,Gastos%20do%20governo%20com%20preven%C3%A7%C3%A3o%20representam%201%2F3,despesas%20com%20desastres%2C%20segundo%20levantamento&text=Nos%20%C3%BAltimos%20dez%20anos%2C%20o,\(R%24%204%20bilh%C3%B5es\)](https://www.cnnbrasil.com.br/politica/gastos-do-governo-com-prevencao-representam-1-3-das-despesas-com-desastres-segundo-levantamento/#:~:text=levantamento%20%7C%20CNN%20Brasil-,Gastos%20do%20governo%20com%20preven%C3%A7%C3%A3o%20representam%201%2F3,despesas%20com%20desastres%2C%20segundo%20levantamento&text=Nos%20%C3%BAltimos%20dez%20anos%2C%20o,(R%24%204%20bilh%C3%B5es).). Acesso em: 03 jun. 2024.

RIBBEIRO, L. Mais de 65% dos municípios brasileiros têm baixa capacidade de adaptação a desastres naturais. **CNN Brasil**, 01 jun. 2024b. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/politica/mais-de-65-dos-municipios-brasileiros-tem-baixa-capacidade-de-adaptacao-a-desastres-naturais/>. Acesso em: 03 jun. 2024.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Editora Atlas, 2009. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3035886/mod_resource/content/1/Texto%20-%20Pesquisa%20social.pdf. Acesso em: 08 jun. 2024.

SANDER, B. **Gestão da educação na América Latina: construção e reconstrução do conhecimento**. Campinas: Autores Associados, 1995.

SANTOS, R.R.; FREITAS, M. M.; FLACH, L. Avaliação da eficiência dos gastos públicos com educação dos municípios de Santa Catarina. **Administração Pública e Gestão Social**, v.12, n.2, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/apgs/article/view/5755/5454>. Acesso em: 01 set. 2024.

SANTOS, R.R.; ROVER, S. Influência da governança pública na eficiência da alocação dos recursos públicos. **Revista de Administração Pública**, v.53, n.4, p. 732-752, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-761220180084>. Acesso em: 01 set. 2024.

SCHEUREN, J-M.; WAROUX, O.P.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D. **Annual Disaster Statistical Review: the Numbers and Trends 2007**. Brussels: Center for Research on the Epidemiology of Disasters, 2008, 47 p.

SHAW, R. **Disaster Risk Reduction Approaches in Japan**. Springer, 2014.

SIDLE, R. C. *et al.* Interactions of natural hazards and society in Austral-Asia: evidence in past and recent records. **Quaternary International**, n.118-119, p.181-203, 2004.

SILVA, C. M. D; SILVA, S. E; GONÇALVES, M. A; GONÇALVES, C. A. Data Envelopment Analysis (DEA) em Estudos Sobre Saúde e Educação. **Rev. FSA**, Teresina, v.18, n. 01, art. 10, p. 214- 239, jan. 2021. Disponível em: <http://www4.unifsa.com.br/revista/index.php/fsa/article/viewFile/2209/491492644>. Acesso em: 18 jun. 2024.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.

SILVA, F. G. F.; MARTINS, F. G. D., ROCHA, C. H.; ARAÚJO, C. E. F. Análise exploratória da eficiência produtiva dos portos brasileiros. **Transportes**, v.19, n.1, p. 5-12, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/transportes.v19i1.480>. Acesso em: 30 out. 2024.

SILVA, M. C.; SOUZA, F. J. V.; BORGES, E. F.; ARAUJO, A. O.; SILVA, J. D. G. Avaliação da função educação nos municípios de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte: mudança ou inércia social? **ConTexto – Contabilidade em Texto**, Porto Alegre, v. 15, n. 29, 2015. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ConTexto/article/view/44192>. Acesso em: 1 set. 2024.

SMITH, K. Environmental hazards: assessing risk. Florence, USA: Routledge, 2000. 352 p.

SOARES, D. J. M; SOARES, T. E. A; SANTOS, M. C. S; DO SANTOS, W. Análise da eficiência dos gastos públicos com educação nos municípios capixabas. **Research, Society and Development**, v.9, n.7, p.1-22, jun. 2020. Disponível em: 9. 756974906. 10.33448/rsd-v9i7.4906. Acesso em: 15 ago. 2024.

SOLLERO, M. K. V.; LINS, M. P. E. Avaliação de eficiência de distribuidoras de energia elétrica através da análise envoltória de dados com restrições aos pesos. *In:*

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36., 2004, São João Del REI, **Anais [...]**. São João Del Rei: SBPO, 2004. Disponível em: <https://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0039.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

SOUZA, R. F. **Análise Envoltória de Dados**. Disponível em: <https://listas.inf.ufpr.br/pipermail/r-br/2011-August/002547.html>. Acesso em: 03 set. 2024.

TCU. **Recursos para prevenção de desastres naturais são distribuídos sem critérios técnicos**. 28 fev. 2020. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/recursos-para-prevencao-de-desastres-naturais-sao-distribuidos-sem-criterios-tecnicos.htm>. Acesso em: 18 set. 2024.

TCU. **Painel de Monitoramento de Despesas Públicas**. (s.d). Disponível em: <https://paineis.tcu.gov.br/pub/?workspaceId=8bfbd0cc-f2cd-4e1c-8cde-6abdfdea6a8&reportId=53a386ce-9923-4acc-82a3-f555af438169>. Acesso em: 30 out. 2024.

THANASSOULIS, E. **Introduction to the theory and application of Data Evelopment Analysis**. Massachussettes, USA: Kluwer Academic Publishers, 2001.

TISCOSKI, J.S. **Análise da eficiência operacional portuária, por meio da análise envoltória de dados**: um estudo de caso dos complexos portuários públicos movimentadores de granéis sólidos agrícolas. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/168296/341645.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 ago. 2024.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. **Natural Hazards: explanation and investigation**. New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: <https://arquivo.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/2016/12/DesastresNaturais.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2024.

TOMINAGA, L.K. Desastres naturais: por que ocorrem? In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, p.39-52, 2015b.

TSCHAFFON, P. B., ÂNGULO MEZA, L. Assessing the efficiency of the electric energy distribution using Data Envelopment Analysis with undesirable outputs. Latin America Transactions, **IEEE (Revista IEEE America Latina)**, v.12, n.6, p.1027-1035, 2014.

VARELA, P.S; MARTINS, G.A; FÁVERO, L.P.L. Desempenho dos municípios paulistas: uma avaliação de eficiência da atenção básica à saúde. **Revista de Administração (São Paulo)**, v.47, n.4, p. 624-637, out. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5700/rausp1063>. Acesso em: 25 out. 2024.

VASCONCELLOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação benchmarking DEA: o caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v.26, n.1, p.51-67, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/r5GpmRcVP8THCn8DXNVfP6M/?lang=pt>. Acesso em: 25 out. 2024.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Editora Atlas, p. 46-53, 2000.

VIANA, C. C. F.; BOENTE, D. R. Eficiência dos Gastos com Saúde nos Estados Brasileiros: Análise Baseada em Clusters. **Revista Contabilidade, Gestão e Governança**, v.25, n.2, p.236-254, mai-ago, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.51341/cgg.v25i2.2712>. Acesso em: 25 out. 2024.

VILELA, D. L.; NAGANO, M. S.; MERLO, E. M. Aplicação da análise envoltória de dados em cooperativas de crédito rural. **Revista de Administração Contemporânea**, v.11, n.Spe2, 2007. Curitiba, PR. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-6552007000600006&script=sci_arttext Acesso em: 28 ago. 2024.

ZHOU, H.; YANG, Y.; CHEN, Y.; ZHU, J. Data envelopment analysis application in sustainability: The origins, development and future directions. **European Journal of Operational Research**, 2017. Disponível em: https://www.deafontier.net/papers/EJOR_Sus_review.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

ZHOURI, A. *et. al.* O desastre da Samarco e a política das afetações: classificações e ações que produzem o sofrimento social. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 2, p. 36-40, 2016.

ZHU, J. **Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA Excel Solver**. Boston: Kluwer Academic, 2003.

ZHU, J. Multi-factor performance measure model with an application to fortune 500 companies. **European Journal of operational Research**, n. 123, p. 105-124, 2010.

ZOU, L.L; WEI, Y.M. Impact assessment using DEA of coastal hazards on social-economy in Southeast Asia. **Natural Hazards**, p. 167–189, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9256-0>. Acesso em: 20 ago. 2024.

WEI, Y.M. *et.al.* The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method. *Environ. Impact Assess. Rev.* 2004, 24, 427–439.

WIKIPEDIA. **Coeficiente de correlação de Pearson**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_correla%C3%A7%C3%A3o_de_Pearson . Acesso em: 01 set. 2024.

WILBERT, M. D.; D'ABREU, E. C. C. F. Eficiência dos gastos públicos na educação: análise dos municípios do Estado de Alagoas. **Advances in Scientific and Applied Accounting**, v. 6, n. 3, p. 348- 372, 2013.

WORLD BANK. **Brazil: Food Insecurity and Food Inflation**, 2024. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/country/brazil/publication/brazil-food-insecurity-and-food-inflation>. Acesso em: 28 out. 2024.

WRIGHT, V.G.; KRONE, R.B. Erosion processes in upland areas. *In*: FRENCH, R.H. (ed.). **Hydraulics/Hidrology of Arid Lands (H2AL)**, p. 142-147, 1990.

WU, L.; MA, D.; LI, J. Assessment of the Regional Vulnerability to Natural Disasters in China Based on DEA Model. **Sustainability** 2023, 15, 10936. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151410936>. Acesso em: 09 jul. 2024.

APÊNDICE A – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2013 - 2015

Neste apêndice, são apresentadas as representações cartográficas das eficiências obtidas para cada estado brasileiro entre 2013 e 2015, conforme DMUs e variáveis especificadas para os Cenários 1 e 2, definidos na seção 4.4 (Figura 27).

Figura A.1 – Eficiência Cenário 1 - 2013

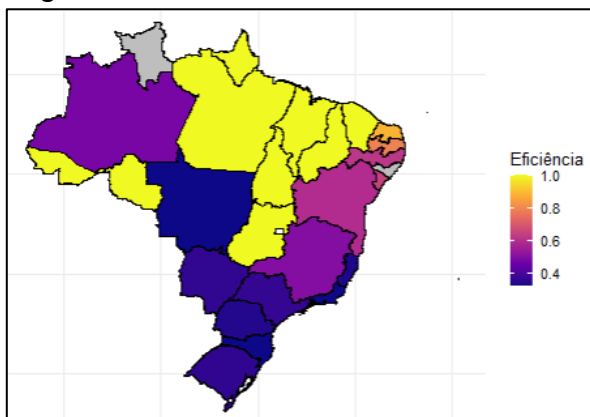


Figura A.2 – Eficiência Cenário 2 - 2013

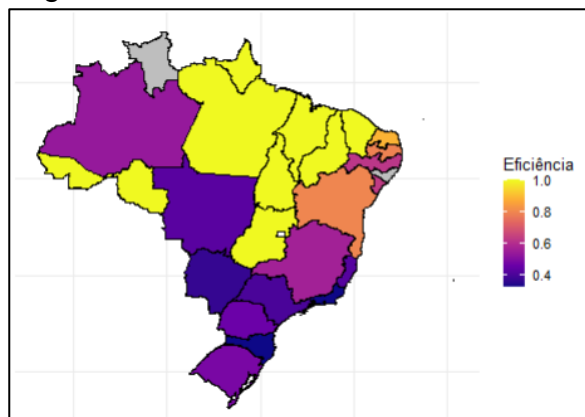


Figura A.3 – Eficiência Cenário 1 - 2014

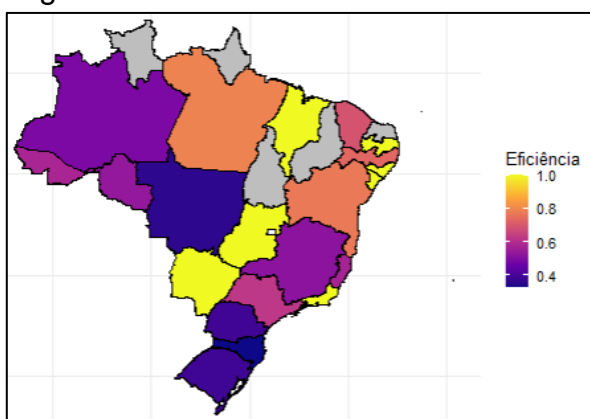


Figura A.4 – Eficiência Cenário 2 - 2014

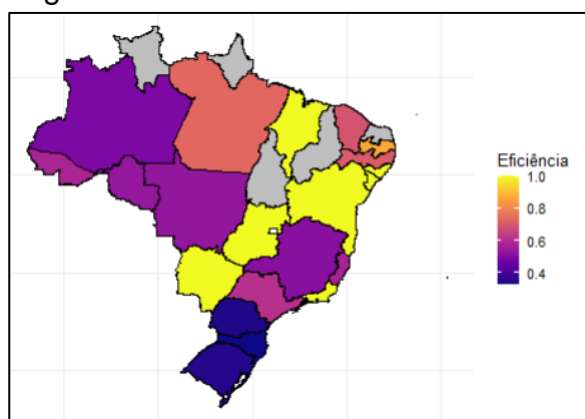


Figura A.5 – Eficiência Cenário 1 - 2015

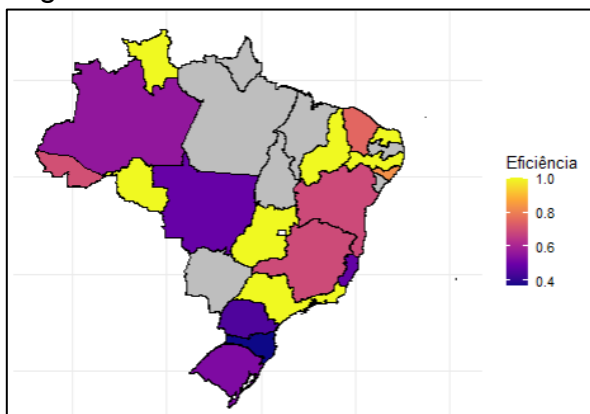
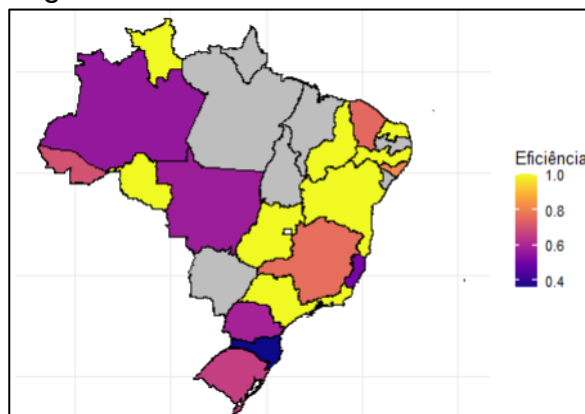


Figura A.6 – Eficiência Cenário 2 - 2015



APÊNDICE B – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2016 - 2018

Neste apêndice, são apresentadas as representações cartográficas das eficiências obtidas para cada estado brasileiro entre 2016 e 2018, conforme DMUs e variáveis especificadas para os Cenários 1 e 2, definidos na seção 4.4 (Figura 27).

Figura B.1 – Eficiência Cenário 1 - 2016

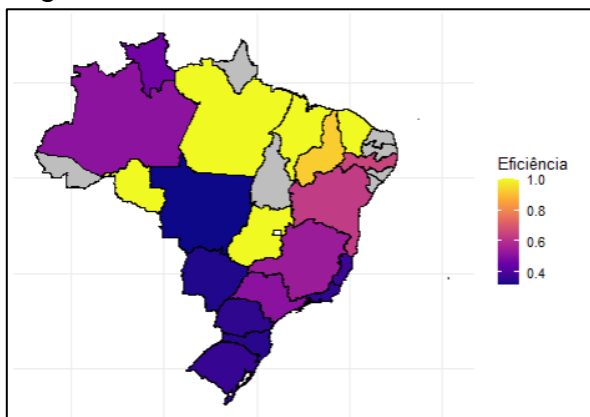


Figura B.2 – Eficiência Cenário 2 - 2016

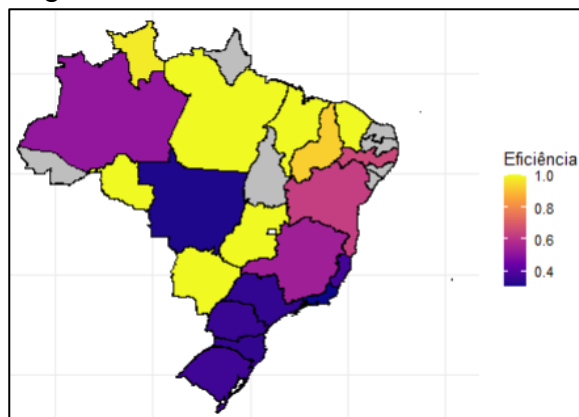


Figura B.3 – Eficiência Cenário 1 - 2017

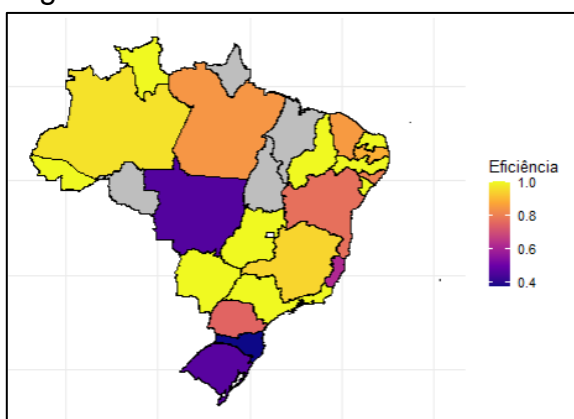


Figura B.4 – Eficiência Cenário 2 - 2017

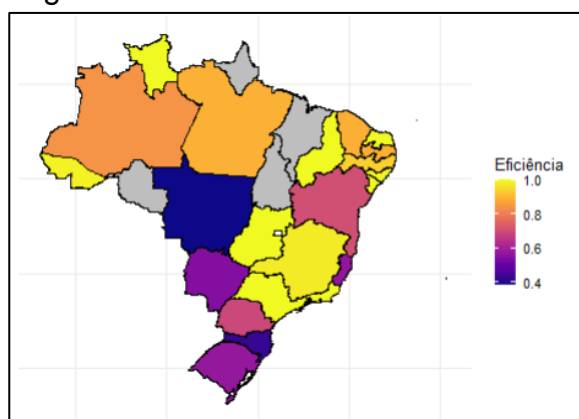


Figura B.5 – Eficiência Cenário 1 - 2018

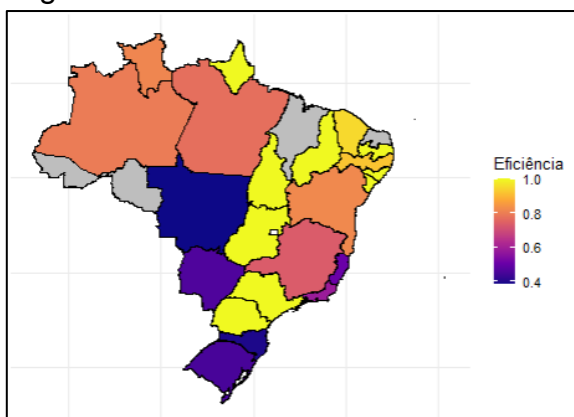
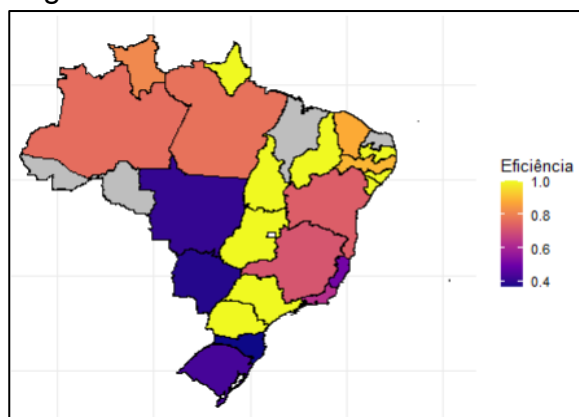


Figura B.6 – Eficiência Cenário 2 - 2018



APÊNDICE C – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2019 - 2021

Neste apêndice, são apresentadas as representações cartográficas das eficiências obtidas para cada estado brasileiro entre 2019 e 2021, conforme DMUs e variáveis especificadas para os Cenários 1 e 2, definidos na seção 4.4 (Figura 27).

Figura C.1 – Eficiência Cenário 1 - 2019

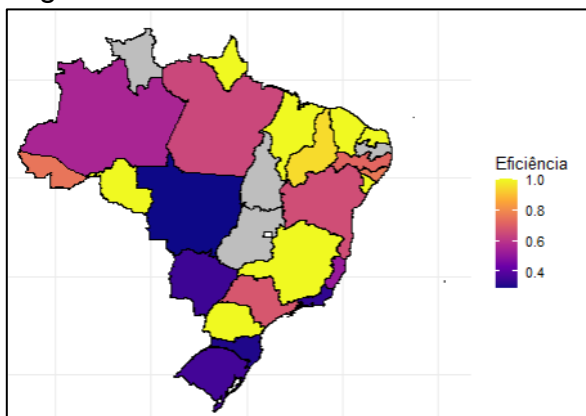


Figura C.2 – Eficiência Cenário 2 - 2019

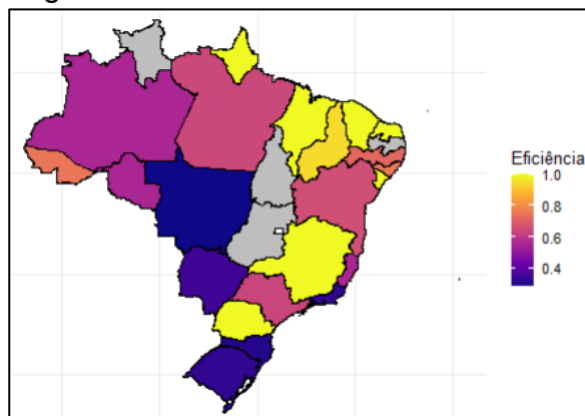


Figura C.3 – Eficiência Cenário 1 - 2020

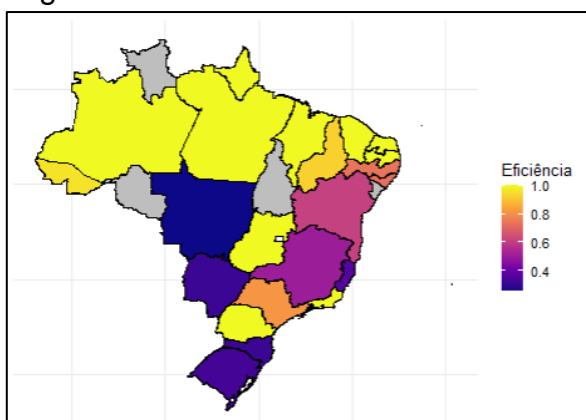


Figura C.4 – Eficiência Cenário 2 - 2020

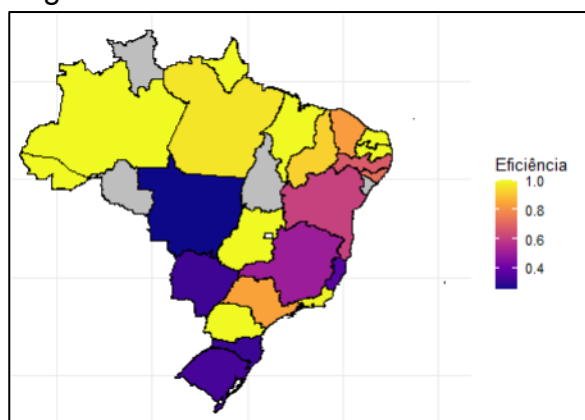


Figura C.5 – Eficiência Cenário 1 - 2021

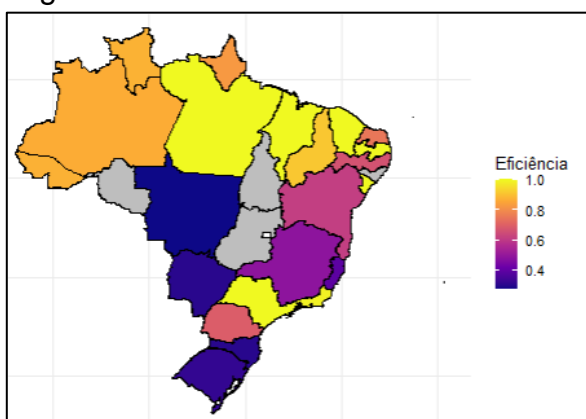
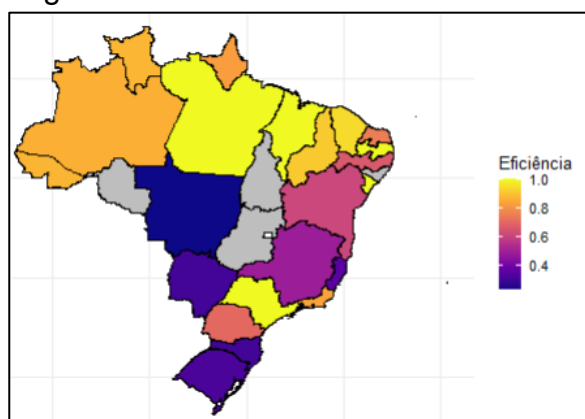


Figura C.6 – Eficiência Cenário 2 - 2021



APÊNDICE D – MAPAS DE EFICIÊNCIA – 2022 - 2023

Neste apêndice, são apresentadas as representações cartográficas das eficiências obtidas para cada estado brasileiro entre 2022 e 2023, conforme DMUs e variáveis especificadas para os Cenários 1 e 2, definidos na seção 4.4 (Figura 27).

Figura D.1 – Eficiência Cenário 1 - 2022

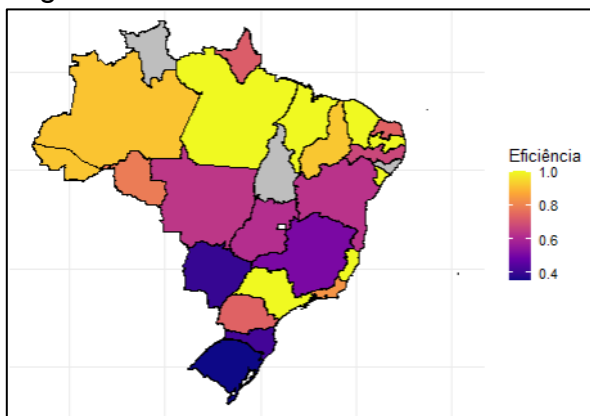


Figura D.2 – Eficiência Cenário 1 - 2022

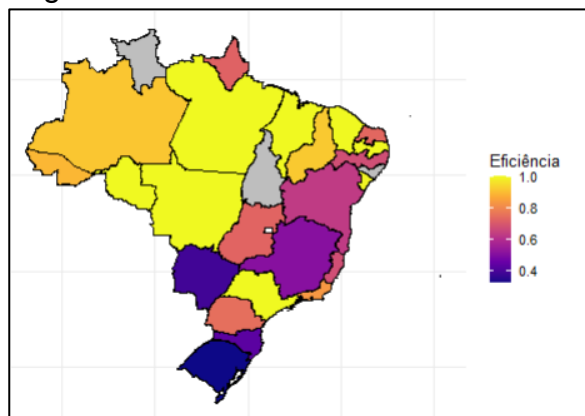


Figura D.3 – Eficiência Cenário 1 - 2023

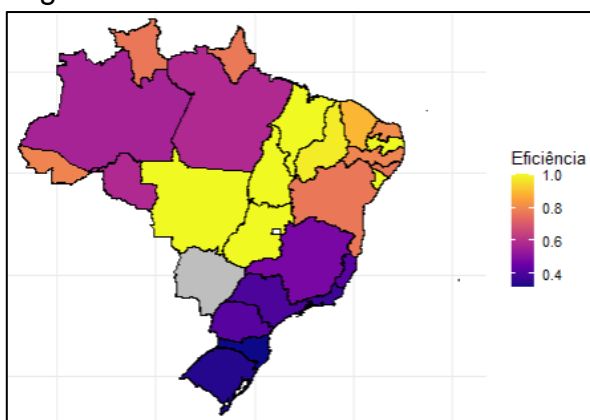
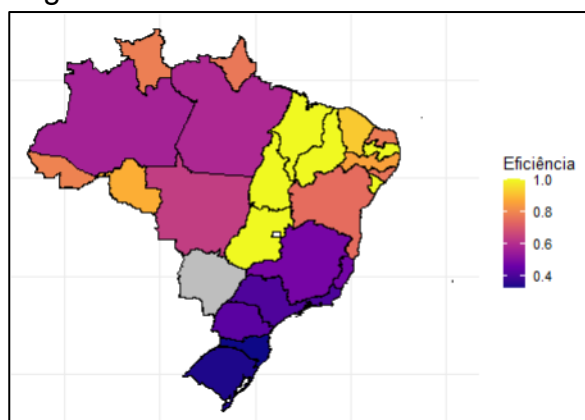


Figura D.4 – Eficiência Cenário 2 - 2023



APÊNDICE E – EFICIÊNCIA ORÇAMENTÁRIA EMPENHADA

Neste apêndice, são apresentadas as eficiências obtidas para cada estado brasileiro, para o intervalo compreendido entre 2013 e 2023, considerando as DMUs e variáveis especificadas para o Cenário 1, definido na seção 4.4 (Figura 27).

Tabela E.1 – Eficiência em termos da execução orçamentária empenhada

DMU	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
AC	1,000	0,581	0,702	-	1,000	-	0,753	0,960	0,874	0,920	0,793
AL	-	1,000	0,831	-	0,807	1,000	0,762	0,728	-	-	0,763
AM	0,481	0,493	0,560	0,515	0,964	0,797	0,557	1,000	0,865	0,916	0,567
AP	1,000	-	-	-	-	1,000	1,000	1,000	0,826	0,724	0,769
BA	0,597	0,774	0,688	0,630	0,772	0,821	0,659	0,612	0,615	0,631	0,768
CE	1,000	0,693	0,752	1,000	0,851	0,951	1,000	1,000	1,000	1,000	0,890
ES	0,339	0,574	0,482	0,370	0,620	0,508	0,520	0,370	0,395	1,000	0,422
GO	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	1,000	-	0,620	1,000
MA	1,000	1,000	-	1,000	-	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MG	0,502	0,521	0,690	0,544	0,945	0,735	1,000	0,506	0,488	0,509	0,480
MS	0,362	1,000	-	0,336	1,000	0,463	0,351	0,320	0,307	0,397	-
MT	0,325	0,362	0,488	0,320	0,461	0,386	0,294	0,261	0,279	0,639	1,000
PA	1,000	0,793	-	1,000	0,843	0,773	0,644	1,000	1,000	1,000	0,588
PB	0,790	1,000	-	-	0,888	1,000	-	1,000	1,000	1,000	1,000
PE	0,621	0,735	1,000	0,652	1,000	0,920	0,721	0,739	0,666	0,676	0,795
PI	1,000	-	1,000	0,926	1,000	1,000	0,947	0,927	0,912	0,921	0,978
PR	0,344	0,390	0,450	0,354	0,750	1,000	1,000	1,000	0,692	0,736	0,420
RJ	0,326	1,000	1,000	0,353	1,000	0,587	0,331	1,000	0,988	0,835	0,373
RN	0,885	-	1,000	-	1,000	-	1,000	1,000	0,751	0,736	0,811
RO	1,000	0,538	1,000	1,000	-	-	1,000	-	-	0,788	0,589
RR	-	-	1,000	0,469	1,000	0,816	-	-	0,875	-	0,768
RS	0,361	0,387	0,526	0,365	0,468	0,453	0,361	0,334	0,322	0,355	0,340
SC	0,325	0,330	0,370	0,345	0,375	0,397	0,309	0,316	0,305	0,417	0,320
SE	0,651	1,000	-	-	1,000	1,000	1,000	-	1,000	1,000	1,000
SP	0,367	0,627	1,000	0,510	1,000	1,000	0,683	0,814	1,000	1,000	0,400
TO	1,000	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	1,000

APÊNDICE F – BENCHMARKING

Tabela F.1 – Valores Projetados pelo Benchmarking para a Execução Orçamentária Paga

UF	2013 (R\$ Mil.)	2014 (R\$ Mil.)	2015 (R\$ Mil.)	2016 (R\$ Mil.)	2017 (R\$ Mil.)	2018 (R\$ Mil.)	2019 (R\$ Mil.)	2020 (R\$ Mil.)	2021 (R\$ Mil.)	2022 (R\$ Mil.)	2023 (R\$ Mil.)
AC	14.956	18.073	26.076	-	2.053	-	2.729	432	15.779	1.940	39.985
AL	-	12.210	22.983	-	9.717	5.000	57.195	7.889	-	-	31.585
AM	26.428	151.447	83.534	32.099	11.273	12.654	8.243	13.433	70.801	72.150	183.911
AP	3.053	-	-	-	-	308	252	22.055	2.741	6.071	14.674
BA	19.576	7.918	19.147	177.496	136.035	89.049	99.282	137.067	137.835	170.116	122.961
CE	48.188	34.113	64.518	31.186	42.245	39.370	885	21.004	9.978	7.592	8.360
ES	22.690	50.568	26.780	59.847	24.236	8.767	6.518	70.261	20.152	5.155	4.864
GO	12.020	8.054	14.172	9.082	7.341	23.030	-	30.626	-	9.798	2.650
MA	18.144	4.876	-	6.827	-	-	1.551	1.729	991	10.292	29.164
MG	129.944	207.134	56.603	82.140	28.059	38.968	40.553	288.507	116.856	229.134	171.978
MS	47.866	11.248	-	390	16.210	68.326	52.263	55.996	57.155	17.634	-
MT	14.367	6.045	15.595	85.430	77.203	34.829	25.644	94.551	17.644	1.724	535
PA	894	10.134	-	5.267	34.339	164.406	127.944	81.316	23.868	34.849	150.024
PB	88.693	14.889	-	-	25.571	23.610	-	4.192	8.522	3.175	4.339
PE	352.803	87.411	35.107	44.312	25.837	14.956	17.202	50.533	26.019	52.046	14.440
PI	42.486	-	7.214	15.698	14.763	15.306	12.781	19.279	15.539	6.303	2.286
PR	36.854	100.021	45.358	266.006	147.092	30.991	20.147	50.867	21.949	28.136	41.908
RJ	838.549	107.658	176.203	339.852	23.284	48.904	119.641	32.952	145.908	69.942	45.789
RN	80.616	-	6.011	-	12.717	-	7.367	14.204	3.086	28.800	32.358
RO	9.135	37.815	2.540	4.545	-	-	10.901	-	-	899	260
RR	-	-	4.621	281	200	46.252	-	-	1.591	-	620
RS	26.367	72.537	32.582	122.042	65.330	102.479	105.569	116.589	43.527	171.366	532.753
SC	169.321	139.501	121.057	147.730	127.099	174.321	88.081	249.132	80.805	33.614	131.749
SE	31.614	7.197	-	-	5.526	2.049	7.135	0	1.309	1.761	424
SP	458.789	661.987	149.465	700.836	152.808	166.235	171.147	284.997	85.098	61.329	121.955
TO	1.512	-	-	-	-	605	-	-	-	-	98
Total	2.494.865	1.750.837	909.567	2.131.068	988.936	1.110.416	983.030	1.647.612	907.154	1.023.825	1.689.670

APÊNDICE G – EFICIÊNCIA TÉCNICA E TECNOLÓGICA

Figura G.1 – Comparativo Completo Eficiência Técnica e Eficiência Tecnológica

