



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE APERFEIÇOAMENTO DE ECONOMISTAS DO NORDESTE -
CAEN/UFC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
MESTRADO EM ECONOMIA

PEDRO LUIZ HONORATO FURTADO

INVESTIMENTO PÚBLICO SETORIAL NO CEARÁ: OTIMIZAÇÃO DE
ESTRATÉGIAS COM ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

FORTALEZA

2025

PEDRO LUIZ HONORATO FURTADO

INVESTIMENTO PÚBLICO SETORIAL NO CEARÁ: OTIMIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
COM ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Economia do Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Aperfeiçoamento de Economistas do Nordeste - CAEN/UFC da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Economia. Área de Concentração: Economia Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Christiano Modesto Penna.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F988i Furtado, Pedro Luiz Honorato.
Investimento Público Setorial no Ceará : Otimização de Estratégias com Análise Insumo-Produto /
Pedro Luiz Honorato Furtado. – 2025.
63 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração,
Atuária e Contabilidade, Programa de Pós-Graduação em Economia, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Christiano Modesto Penna .

1. Insumo-Produto. 2. Economia Regional. 3. Otimização. 4. Modelagem de Cenários. I. Título.
CDD 330

PEDRO LUIZ HONORATO FURTADO

INVESTIMENTO PÚBLICO SETORIAL NO CEARÁ: OTIMIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
COM ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Economia do Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Aperfeiçoamento de Economistas do Nordeste - CAEN/UFC da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Economia. Área de Concentração: Economia Aplicada.

Aprovada em: 21/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Christiano Modesto Penna (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Maurício Benegas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo de Melo Jorge Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a Deus, minha família, professores e amigos, com gratidão especial aos meus amados pais, cujo inenarrável apoio e a inabalável confiança em meus planos foram essenciais ao longo da minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela saúde e força que me sustentaram nos momentos mais difíceis da jornada, permitindo que meus objetivos fossem alcançados.

Aos meus pais, irmãos e familiares, expresso minha profunda gratidão por compreenderem minha ausência e dedicação ao longo do percurso acadêmico.

Ao Prof. Dr. Christiano Modesto Penna, pelo privilégio de sua excepcional orientação e pela oportunidade de me direcionar a desafios enriquecedores ao longo do curso.

Aos professores da banca examinadora, Prof. Dr. Maurício Benegas e Prof. Dr. Paulo de Melo Jorge Neto, pelo tempo dedicado e pelas sugestões que enriqueceram este trabalho.

Aos amigos e colegas de mestrado, pelo suporte inestimável, pelas conversas e momentos de descontração que tornaram a jornada mais leve e motivadora.

Por fim, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, expresso meu mais sincero agradecimento.

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

"E, se qualquer te obrigar a caminhar uma milha, vai com ele duas. Assim resplandeça a vossa luz diante dos homens, para que vejam as vossas boas obras e glorifiquem a vosso Pai, que está nos céus." (Mateus 5:41, 16)

RESUMO

O presente estudo propõe uma metodologia inédita para simular e avaliar o rearranjo vetorial da demanda final no estado do Ceará. Utilizando a Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará (MIPR/CE), foram simulados 12.433 cenários de alocação, incluindo vetores determinísticos e combinações lineares ponderadas. Cada cenário é avaliado em termos de seu impacto sobre o Valor Bruto da Produção (VBP) e o nível de concentração da produção entre os setores. Para ranquear os cenários mais promissores, propõe-se uma função de utilidade arbitrária que penaliza a concentração excessiva e favorece a eficiência agregada. Os resultados revelam que cenários combinados — ao distribuírem estímulos entre diferentes setores — reduzem os riscos associados à concentração produtiva sem comprometer os níveis médios de VBP. O arranjo vetorial que maximizou o retorno, mantendo baixa concentração entre os setores da MIPR/CE, gerou R\$ 1,41 de produto por real investido e VBP agregado de R\$ 45,21. Embora preliminar, o estudo oferece uma base metodológica promissora, que pode evoluir e contribuir para a tomada de decisões de órgãos governamentais.

Palavras-chave: Insumo-Produto; Economia Regional; Otimização; Modelagem de Cenários

ABSTRACT

This study proposes a novel methodology to simulate and evaluate the vector-based reallocation of final demand in the state of Ceará, Brazil. Using the Regional Input-Output Matrix of Ceará (MIPR/CE), a total of 12,433 allocation scenarios were simulated, including both deterministic vectors and weighted linear combinations. Each scenario is assessed based on its impact on Gross Output and the degree of production concentration across sectors. To rank the most promising scenarios, an arbitrary utility function is introduced, penalizing excessive concentration while favoring aggregate efficiency. The results indicate that combined scenarios—by distributing stimulus across different sectors—reduce the risks associated with production concentration without compromising average Gross Output levels. The optimal vector arrangement yielded a return of R\$1.41 per real invested and a total Gross Output of R\$45.21, while maintaining low sectoral concentration. Although preliminary, the study provides a promising methodological foundation that may evolve and support decision-making processes within government institutions.

Keywords: Input-Output; Regional Economics; Optimization; Scenario Modeling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Insumo Produto - Estrutura Básica	19
Figura 2 – Valor Bruto da Produção em Cenários Determinísticos	43
Figura 3 – Índice de Concentração Setorial	43
Figura 4 – Valor Bruto da Produção para todas os cenários	44
Figura 5 – Índice de Concentração Setorial Completo	45
Figura 6 – Valor Bruto da Produção $\times$ Índice de Concentração Setorial	46
Figura 7 – VBPs de Cenários Determinísticos e Índice de Concentração Setorial	54
Figura 8 – VBPs e Índice de Concentração Setorial para todos os cenários	55
Figura 9 – Utilidades Simuladas	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos Setoriais - Cenários Determinísticos	39
Tabela 2 – Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial - Cenários Determinísticos	41
Tabela 3 – Utilidade por Cenário - Top 5	47
Tabela 4 – Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial - Cenários Combinados .	48
Tabela 5 – Utilidades	56
Tabela 6 – Cenário Determinístico: Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial .	58
Tabela 7 – Cenário Determinístico: Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial .	59
Tabela 8 – Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial - Cenário Combinado . . .	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Funções de utilidade	56
Quadro 2 – Descrição das atividades por setor	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADECE	Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S/A
GIP	Metodologia de Gestão de Investimento Público
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MIP	Matriz Insumo-Produto
MIPR/CE	Matriz Insumo-Produto do Ceará
SEPLAG/CE	Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará
VBP	Valor Bruto da Produção

LISTA DE SÍMBOLOS

Y	Demanda Final
C	Consumo
I	Investimento
G	Gastos do Governo
E	Exportações
Z	Consumo Intermediário
M	Importações
T	Tributos
X	Valor bruto da produção
B	Matriz Inversa de Leontief
$\tilde{B}$	Matriz Inversa de Leontief modificada
M_j^p	Multiplicador de produção
y_i	Demanda final do setor i
z_{ij}	Demanda intersetorial
x_i	Valor bruto da produção do setor i
a_{ij}	Coefficiente técnico de produção
b_{ij}	Coefficiente de multiplicador de produção
N	Montante de Estimulo à Demanda Final
n	Número de Setores da MIP
S	Matriz de Cenários
s_k	Cenário k
s_c	Cenário Combinado
P	Vetor de pesos sob cenários combinados
θ_i	Peso aleatório da distribuição de Dirichlet
δ	Parâmetro da distribuição de Dirichlet
$\bar{S}_{n \times m}$	Conjunto de cenários
$I_{n \times n}$	Matriz Identidade

$S_{n \times 4}^p$	Submatriz de cenários determinísticos selecionadas
$S_{n \times q}^r$	Submatriz de cenários do processo aleatório de Dirichlet
$\mathcal{U}_{n \times (m+r)}$	Matriz-universo de cenários
D_i	Índice de Concentração Setorial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	ANÁLISE INSUMO-PRODUTO	18
2.1	Panorama Estrutural Recente da Economia Brasileira	18
2.2	O Modelo de Matriz Insumo-Produto	19
2.2.1	<i>Multiplicadores de Produção</i>	21
2.3	Modelos Insumo-Produto Aplicados	22
2.3.1	<i>Modelos Insumo-Produto aplicados ao Turismo</i>	23
2.3.2	<i>Modelos Insumo-Produto aplicados à Teoria dos Jogos</i>	23
2.4	Modelos Insumo-Produto e Reorganização Vetorial da Demanda Final .	24
3	MODELAGEM	25
3.1	Modelagem de Cenários	25
3.1.1	<i>Cenário do Efeito Multiplicador s_1^+</i>	27
3.1.2	<i>Cenário de Estímulo Equitativo s_2</i>	28
3.1.3	<i>Cenário de Equalização da Produção s_3</i>	29
3.1.4	<i>Cenário de Internalização das Externalidades</i>	29
3.1.4.1	<i>Cenário de Internalização das Externalidades para Frente s_4</i>	30
3.1.4.2	<i>Cenário de Internalização das Externalidades para Trás s_5</i>	30
3.2	Aumentando a Dimensionalidade	30
3.2.1	<i>Cenários Combinados</i>	32
3.2.2	<i>Exemplo: Cenário Combinado Uniforme</i>	33
3.3	Universo de Cenários	34
3.4	Utilidade Arbitrária e Índice de Concentração Setorial	35
4	SIMULAÇÕES E RESULTADOS COM MIPR/CE DO IPECE	37
4.1	Cenários determinísticos	38
4.2	Universo de Cenários e Cenários Combinados	44
4.3	Função de Utilidade Arbitrária	46
4.3.1	<i>Cenários Combinados</i>	47
5	COMENTÁRIOS FINAIS	50
5.1	Limitações	51
5.2	Direções para Pesquisas Futuras	51

REFERÊNCIAS	52
APÊNDICE A – CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS	54
APÊNDICE B – UNIVERSO DE CENÁRIOS	55
APÊNDICE C – UTILIDADES	56
APÊNDICE D – DIRECIONAMENTO TOTAL DE RECURSOS	58
APÊNDICE E – PESO SETORIAL CENÁRIO COMBINADO	60
ANEXO A – SETORES MIPR/CE	61

1 INTRODUÇÃO

Compreender as particularidades de uma economia regional é fundamental para avaliar os determinantes da geração de produto, a interdependência entre setores e os encadeamentos que decorrem das trocas interindustriais. Esses elementos, somados à composição da demanda final, moldam a dinâmica de produção e comercial local, influenciando diretamente decisões de políticas públicas, estratégias de desenvolvimento e a alocação de recursos.

No estado do Ceará, órgãos governamentais como a Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará (SEPLAG/CE) e a Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S/A (ADECE) atuam de forma complementar na gestão e alocação de investimentos públicos. A SEPLAG/CE é responsável pela coordenação de projetos estratégicos e programas prioritários voltados ao desenvolvimento econômico e social do estado, enquanto a ADECE desempenha papel relevante por meio das Câmaras Setoriais. Nesse contexto, surge uma questão central: como a reestruturação da demanda final pode orientar políticas setoriais e ajudar a identificar os arranjos mais eficientes para o estímulo econômico do estado?

Este trabalho busca, à luz da Teoria do Insumo-Produto e de técnicas de reorganização vetorial, equacionar tais indagações. Por meio do modelo padrão de Insumo-Produto, desenvolvido por Wassily Leontief (1906–1999), a Matriz Insumo-Produto (MIP) permite quantificar o fluxo de bens e serviços em uma economia, fornecendo subsídios para análises interindustriais e geográficas, do nível regional ao internacional (LEONTIEF, 1936; TINTNER, 1957; LEONTIEF, 1986; GUILHOTO, 2011; MILLER; BLAIR, 2022). Sua aplicação também abrange análises integradas de indicadores sociais, como emprego e distribuição de renda, além de indicadores industriais de produção (SANT’ANNA; YOUNG, 2007; HADDAD *et al.*, 2011; HADDAD *et al.*, 2017). Adicionalmente, modelos ambientalmente estendidos têm permitido avaliar o consumo de energia e as emissões de poluentes relacionadas às atividades interindustriais e turísticas (CAI, 2016; KRONENBERG *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2024).

O estado do Ceará dispõe da Matriz Insumo-Produto Regional (Matriz Insumo-Produto do Ceará (MIPR/CE)), com ano-base de 2013 (PAIVA; TROMPIERI-NETO, 2020), elaborada pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Essa ferramenta fornece um panorama abrangente das interações entre os setores cearenses, permitindo identificar os de maior relevância relativa, estimar efeitos multiplicadores de produção e mapear os principais entraves ao crescimento regional.

Por meio dos multiplicadores de produção, é possível avaliar como alterações na

demanda final de um setor impactam os demais, classificando aqueles com maior potencial para impulsionar o crescimento do produto e gerar efeitos *spillover*. Contudo, a interpretação exclusiva dos multiplicadores de produção para formulação de políticas públicas exige cautela, pois, dependendo da composição da demanda final, os impactos sobre o produto agregado podem variar substancialmente, mesmo entre setores com multiplicadores semelhantes.

Diante disso, o objetivo deste estudo é avaliar cenários alternativos de variação da demanda final, a fim de compreender como diferentes arranjos vetoriais afetam o comportamento da produção em termos de Valor Bruto da Produção (Valor Bruto da Produção (VBP)). Para tanto, adota-se uma metodologia inédita baseada em simulações de rearranjos vetoriais da demanda final — alguns focados em setores com altos multiplicadores, outros em setores estratégicos, como infraestrutura, comércio e atividades científicas — integrando o modelo Insumo-Produto a técnicas de otimização vetorial para análise comparativa dos resultados agregados.

Portanto, foram simulados diferentes cenários de variação da demanda final, nos quais também se avaliou o grau de concentração setorial da produção em cada um deles. Além disso, visando subsidiar formulações de políticas públicas, propõe-se discutir a implementação desse processo por meio de uma função de utilidade arbitrária, capaz de equilibrar eficiência, por meio de maiores ganhos em termos de VBP, e equidade setorial, com produtos setoriais melhor distribuídos.

Os resultados sugerem que cenários combinados, além de contribuírem para reduzir os riscos associados à concentração setorial do produto, maximizam a utilidade. Ao juntar cenários distintos, os potenciais benefícios de diferentes vetores são aproveitados, conferindo aos gestores públicos uma base mais consistente para guiar sua tomada de decisão.

O trabalho está estruturado em cinco seções principais. Na próxima seção, revisa-se a literatura sobre análise Insumo-Produto, com ênfase no modelo teórico, em suas aplicações e na relevância dos multiplicadores. A terceira seção descreve a metodologia de construção e simulação dos vetores de demanda final, detalhando os critérios de montagem e as equações utilizadas na avaliação. Já a quarta seção apresenta e discute os resultados obtidos com a aplicação da metodologia à MIPR/CE. Por fim, o trabalho conclui com as considerações finais, nas quais se analisam as implicações e limitações dos achados e se sugerem direções para pesquisas futuras.

2 ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

No trabalho *Tableau Économique*, François Quesnay (1694-1774), pai da Escola Fisiocrata, emprega tabelas esquemáticas para examinar o fluxo de produção e renda entre os setores de agricultura e manufatura, estabelecendo as bases para conceitos centrais de geração de produto e fluxo circular de renda (GUILHOTO, 2011). Essas ideias foram imprescindíveis para o desenvolvimento modelos econômicos mais complexos que posteriormente seriam capazes de explicar a interdependência setorial e a dinâmica de funcionamento das economias nacionais.

O modelo seminal de matriz Insumo-Produto proposto por Wassily Leontief (1906–1999) representa a economia de um país como um sistema integrado, caracterizando as relações produtivas e de demanda de uma região (LEONTIEF, 1936). Conforme exposto por Guilhoto (2011) e Miller e Blair (2022), os setores interagem entre si e atendem a demanda final, permitindo estudar mudanças estruturais na economia, fluxos comerciais, relações intersetoriais, distribuição de renda e até impactos ambientais.

Nesse sentido, diversos trabalhos tanto nacionais quanto internacionais se utilizaram desse *framework* para analisar as mais variadas questões econômicas. Contudo, ainda há lacunas na literatura com respeito a simulações *ex-ante* para a variação da demanda que merecem ser investigadas.

2.1 Panorama Estrutural Recente da Economia Brasileira

O panorama estrutural recente da economia brasileira, com base em modelos de Insumo-Produto, é marcado por gargalos e mudanças significativas. Haddad *et al.* (2017) aplicam o método *IIOAS* para a estimação de Matrizes Insumo-Produto em cenários de informação limitada e observam que a região Sudeste se destaca pela maior expressividade e autossuficiência nos fluxos de comércio, em contraste com as regiões Norte e Nordeste. Por sua vez, Guilhoto e Sesso Filho (2010) utilizam dados preliminares das contas nacionais e demonstram que suas estimativas foram consistentes com a Matriz Insumo-Produto disponibilizada pelo IBGE.

Ao investigar transformações estruturais entre 2005 e 2014, Morrone (2021) verifica uma redução nas conexões inter e intrasetoriais, indicando perda de dinamismo, embora setores como *produtos químicos e de borracha* tenham aumentado sua relevância relativa. De forma semelhante, Marcato e Ultremare (2015) apontam um desadensamento do sistema produtivo brasileiro entre 2000 e 2009, refletindo a fragilidade do setor industrial. Já para o agronegócio,

(Z) com a demanda final (Y). Além disso, tem-se o valor adicionado (VA), que corresponde à renda gerada no processo produtivo, incluindo salários, lucros, juros e aluguéis, bem como as importações (M) e os impostos (T) utilizados e pagos durante a produção.

A produção setorial, de um setor i , é composta pela parcela destinada à demanda intersetorial (z_{ij}) e pela parcela direcionada à demanda final (y_i). Dessa forma, o valor bruto da produção isolado do setor i é dado por:

$$x_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + y_i \quad (2.1)$$

Para avaliar a importância relativa de um setor em relação aos demais, estimam-se os coeficientes técnicos de produção (a_{ij}), calculados com base no consumo intersetorial (z_{ij}) e na produção total (X_j). Esses coeficientes indicam a proporção de insumos fornecida pelo setor i para a produção de uma unidade de produto no setor j . O cálculo é realizado dividindo cada componente do consumo intermediário pelo valor da produção total bruta correspondente em cada coluna. Assim, obtém-se a matriz de coeficientes técnicos, representada por $A = Z \cdot X^{-1}$.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad ; \quad a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad \therefore \quad z_{ij} = a_{ij}X_j \quad (2.2)$$

A matriz de coeficientes técnicos (2.2) representa a estrutura da demanda intermediária, evidenciando as relações de dependência entre os diferentes setores, assim como as proporções de origem e destino dos insumos e produtos no sistema. Além disso, essa matriz possibilita o cálculo das proporções relativas da produção total de cada setor em resposta a um aumento na demanda final.

Observe que, ao substituir a expressão (2.2), $z_{ij} = a_{ij}X_j$, na equação (2.1) e em sua extensão equivalente para n setores, obtém-se o seguinte sistema de equações lineares:

$$X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1n}X_n + Y_1$$

$$X_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2n}X_n + Y_2$$

$$\vdots$$

$$X_n = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \cdots + a_{nn}X_n + Y_n$$

ou, matricialmente:

$$X = AX + Y \quad (2.3)$$

Onde $X_{n \times 1}$ é o vetor de valores brutos da produção, $A_{n \times n}$ representa a matriz de coeficientes técnicos de produção e $Y_{n \times 1}$ é o vetor de demanda final. Ao resolver para X , obtém-se a seguinte expressão:

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (2.4)$$

$$X = BY \quad (2.5)$$

Aqui, I_n representa a matriz identidade de ordem n , e $B_{n \times n} = (I - A)^{-1}$ é conhecida como Matriz Inversa de Leontief. Essa matriz é derivada dos coeficientes técnicos de produção e captura os impactos diretos e indiretos decorrentes de uma variação unitária na demanda final setorial.

Assumindo que os coeficientes técnicos permaneçam constantes no curto prazo, é possível estimar o impacto de um aumento unitário na demanda final sobre a produção bruta de cada setor. Em outras palavras, o modelo Insumo-Produto permite calcular o nível necessário de produção bruta em cada setor para atender ao acréscimo inicial na demanda final.

$$\Delta X = (I - A)^{-1} \Delta Y \quad (2.6)$$

Em síntese, conforme expressão (2.6), o modelo Insumo-Produto permite estimar a produção setorial bruta necessária para atender a um aumento na demanda final, considerando a estrutura econômica vigente.

2.2.1 *Multiplicadores de Produção*

Como a Matriz Inversa de Leontief, representada por $B = (I - A)^{-1}$, capta os efeitos diretos e indiretos da produção em resposta a uma variação na demanda final. Cada um de seus elementos b_{ij} indica o quanto de produção é gerado em todos os setores da economia para cada unidade monetária adicional de demanda final requerida no setor j .

Dessa forma, o multiplicador total do setor j , denotado por M_j^P , representa o impacto total desse setor na economia. Assim sendo, M_j^P , mede o efeito de cada unidade monetária de

demanda final adicional no setor j sobre a produção total da economia. O multiplicador pode ser expresso pela seguinte equação:

$$M_j^p = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (2.7)$$

A equação (2.7) sugere que o efeito total de uma unidade monetária adicional na demanda agregada sobre a produção total dos setores é dado pela soma dos elementos de cada coluna da Matriz Inversa de Leontief. Por exemplo, um investimento de R\$ 1,00 no setor j gerará um impacto total no setor j de $b_{ij} \forall i=j$, representando o incremento da produção no próprio setor, mais $\sum_{i=1, i \neq j}^n b_{ij}$, referente ao aumento da produção dos demais setores, totalizando, assim, o efeito multiplicador.

Portanto, o impacto das políticas públicas no crescimento econômico pode ser analisado por meio dos multiplicadores, que mensuram os efeitos diretos e indiretos das atividades produtivas. Esses multiplicadores revelam como a expansão de um setor pode influenciar outros setores ao longo das cadeias produtivas.

2.3 Modelos Insumo-Produto Aplicados

Modelos Insumo-Produto têm sido amplamente utilizados para avaliar políticas públicas e objetivos específicos no Brasil. Sant'Anna e Young (2007) realizaram exercícios contrafactuais e estimaram que uma redistribuição de renda em 1996 poderia aumentar o PIB brasileiro em 3%, com reflexos positivos na produção e no emprego. De maneira similar, Haddad *et al.* (2011) analisaram transferências governamentais entre estados brasileiros e constataram que, embora a região Nordeste receba altos volumes de transferências, os impactos em termos de valor agregado permanecem abaixo da média nacional, pois a estrutura produtiva vigente favorece regiões mais desenvolvidas.

Focando em investimentos habitacionais, Gonçalves Junior *et al.* (2014) estudaram os R\$ 125,7 bilhões destinados ao programa "Minha Casa, Minha Vida" e, com base na Matriz Insumo-Produto Brasileira de 2008, concluíram que o setor de construção civil gerou um efeito multiplicador de R\$ 1,76 por real investido, resultando em um impacto de 6% no PIB de 2010.

2.3.1 Modelos Insumo-Produto aplicados ao Turismo

O uso de matrizes Insumo-Produto também pode ser ampliado para análises dos impactos econômicos e ambientais do turismo. No âmbito internacional, Kronenberg *et al.* (2018) e Cai (2016) investigaram os efeitos do turismo local na Suécia e Itália, respectivamente. Enquanto Lee *et al.* (2024) analisaram, no contexto da pandemia de COVID-19 na China, os impactos ambientais associados, incluindo emissões de CO_2 e economia de recursos naturais por unidade monetária gasta no turismo.

No Brasil, estudos como o de Casemiro Filho e Guilhoto (2003) destacam a desagregação de informações setoriais do turismo, consolidando setores específicos como *Restaurantes e Estabelecimentos de Alimentação*, que representam, respectivamente, 34,98% da produção e 33,14% do valor agregado. Semelhantemente, Gonçalves *et al.* (2023) construíram uma Matriz Insumo-Produto regionalizada para municípios da costa nordestina, revelando que cada R\$ 1 milhão na demanda final do setor de *Abate e Produtos de Carne* gera R\$ 2,33 milhões em valor bruto de produção na economia local.

Complementarmente, Carvalho *et al.* (2010) analisaram o impacto econômico do turismo português em Pernambuco, mostrando que o setor de *Serviços Prestados a Empresas* gerou impactos agregados de R\$ 327,9 milhões em 2004 e R\$ 220,5 milhões em 2005, reforçando a relevância econômica do turismo em contextos regionais.

2.3.2 Modelos Insumo-Produto aplicados à Teoria dos Jogos

A aplicação conjunta de modelos Insumo-Produto e da Teoria dos Jogos tem sido explorado por alguns estudos recentes, especialmente no contexto da análise de decisões estratégicas de localização. Rocha *et al.* (2019), por exemplo, propõem uma integração entre a Teoria dos Jogos Evolucionária e a análise Insumo-Produto para estudar a decisão de localização de empresas do setor *automobilístico* entre o Brasil e o Mercosul.

De forma semelhante, Silveira *et al.* (2020) aplicam uma variação da mesma estrutura metodológica para investigar decisões locacionais de empresas em contextos de incerteza, como o Brexit, avaliando os impactos da saída do Reino Unido da União Europeia sobre cadeias produtivas regionais e escolhas de localização.

Esses estudos demonstram o potencial técnico, ainda latente, da combinação entre os dois modelos para explicar comportamentos estratégicos em ambientes com forte interdepen-

dência setorial e regional ou sob incerteza.

2.4 Modelos Insumo-Produto e Reorganização Vetorial da Demanda Final

Diante do exposto, matrizes Insumo-Produto têm sido amplamente utilizadas como ferramentas analíticas para avaliação de desempenho econômico em diversos contextos (Casemiro Filho; GUILHOTO, 2003; CARVALHO *et al.*, 2010; CAI, 2016; KRONENBERG *et al.*, 2018; SESSA; CASOTTO, 2018; GONÇALVES *et al.*, 2023; LEE *et al.*, 2024).

Contudo, a literatura ainda apresenta lacunas quanto à proposta de metodologias voltadas à reorganização do vetor de demanda final *ex-ante* como instrumento técnico para orientar possíveis políticas econômicas. Em particular, de acordo com a metodologia aqui proposta, não foram encontrados estudos que explorem simulações de diferentes arranjos vetoriais da demanda final com base em critérios de eficiência econômica e distribuição setorial.

Neste estudo, propõe-se uma abordagem inédita que simula, analisa e compara diferentes cenários factíveis da variação do vetor da demanda final aplicado no estado do Ceará, a partir da Matriz Insumo-Produto Regional (MIPR/CE). Esses cenários são representados por vetores alternativos que permitem avaliar os impactos sobre o Valor Bruto da Produção (VBP) e o grau de concentração setorial associado a cada configuração.

O objetivo principal é analisar como diferentes rearranjos vetoriais da demanda final influenciam a dinâmica da produção setorial, identificando combinações que maximizem o VBP agregado e minimizem a concentração setorial. Para isso, adota-se um critério de avaliação baseado em técnicas de otimização vetorial e em uma função de utilidade arbitrária, cujos detalhes metodológicos são apresentados na próxima seção.

3 MODELAGEM

Esta seção apresenta os aspectos metodológicos adotados para a análise dos impactos econômicos dos diferentes rearranjos da demanda final. O foco principal recai sobre a simulação de vetores alternativos de demanda final Y e sua avaliação quanto aos efeitos sobre o Valor Bruto da Produção (VBP) e o grau de concentração setorial.

No contexto da MIP, a demanda final é um dos principais vetores de ativação dos fluxos produtivos intersetoriais. Essa variável, composta pelo consumo C , investimento I , gastos do governo G e exportações E , é considerada exógena ao sistema e exerce um papel central na determinação dos níveis de produção da economia.

Nesse sentido, diferentes arranjos desse vetor permitem simular cenários hipotéticos *ex-ante*, que, futuramente, podem fornecer subsídios à formulação de políticas de estímulo à economia regional.

Portanto, os cenários propostos representam distribuições setoriais distintas da demanda final, cujas etapas de construção dos vetores, os critérios de avaliação adotados e as equações utilizadas são detalhados nas seções subsequentes.

3.1 Modelagem de Cenários

O processo de construção dos diferentes cenários simulados é representado por vetores alternativos de demanda final Y_k , cada um indicando uma forma distinta de distribuição da demanda final entre os setores da MIP. Tais vetores são definidos a partir de uma matriz de cenários ou de pesos setoriais S , que estabelece as regras de alocação do montante total de estímulo econômico à demanda final, denotado por N , entre os setores.

Esse montante de estímulo econômico pode ser interpretado como a soma de todos os instrumentos disponíveis aos órgãos governamentais e formuladores de políticas públicas para estimular os componentes básicos da demanda final. Compras governamentais, incentivos fiscais e subsídios ao consumo são alguns exemplos de mecanismos pelos quais o setor público pode atuar nesse sentido. No entanto, não é escopo deste estudo aprofundar-se em como tais instrumentos são utilizados para impulsionar a demanda final; o objetivo principal está em apresentar uma proposta de variação por meio de simulações.

Para fins de simplificação e de comparabilidade entre os cenários simulados, considera-se que o montante total de estímulo N está restrito à quantidade de setores definidos na MIP. Essa

hipótese viabiliza a aplicação do exercício dentro da estrutura do modelo de Insumo-Produto padrão, no qual se computa a variação unitária (ou proporcional) da demanda final em cada setor e, a partir disso, expande-se a simulação para diferentes composições vetoriais dessa variável.

Nesse sentido, supõe-se que existam inúmeras formas possíveis de redistribuição do montante de estímulo N entre os setores. Cada uma dessas possibilidades é representada por um cenário $s_k \in S$ no conjunto de estados factíveis, que define as regras de alocação da demanda final entre os setores da economia. Deste modo, considera-se $S = \{s_1, s_2, \dots, s_S\}$, com $s_k = 1, \dots, S$, como o conjunto dos cenários distintos.

Além disso, cada cenário é caracterizado por um vetor de pesos setoriais $s_k = [s_{k1}; s_{k2}; \dots; s_{kn}]$, com $\sum_{j=1}^n s_{kj} = 1$ e $s_{kj} \geq 0$ para todo j , o qual indica a proporção relativa da variação da demanda final em cada setor da MIP. Portanto, o vetor de demanda final correspondente ao cenário k é obtido pela ponderação do montante de estímulo N com seu vetor respectivo de pesos setoriais s_k , tal que: $Y_k(s_k) = N \times s_k$.

Dessa forma, cada cenário simulado (s_k) possui um vetor de demanda final associado $Y_k(s_k)$ e, portanto, ao ser integralizado no cálculo do modelo Insumo-Produto, conforme a Seção 2.2, é possível estabelecer uma correspondência direta entre $Y_k(s_k)$ e X_k , onde X_k é o vetor de produção setorial gerado na economia em decorrência da implementação do cenário s_k , e está definido em $\mathbb{R}^n$, com n representando o número de setores da economia.

Esse raciocínio pode ser expandido para todos os cenários, tal que:

$$\begin{aligned} Y_1(s_1) &\mapsto X_1 \\ Y_2(s_2) &\mapsto X_2 \\ &\vdots \\ Y_k(s_k) &\mapsto X_k \end{aligned}$$

Em suma, a ideia central é que os pesos setoriais presentes em cada cenário ponderem a distribuição do estímulo à demanda final N entre os setores, resultando no vetor de demanda final $Y_k(s_k)$. Cada um desses vetores será aplicado conforme a expressão (2.6), como uma variação parcial do vetor da demanda final dentro da estrutura Insumo-Produto. Assim, é mensurado o efeito de cada cenário sobre os produtos setoriais da economia.

Logo, um possível formulador de políticas públicas pode agir racionalmente ao escolher o cenário $s^* \in S$ tal que, frente a uma relação de preferência $\succeq$, a condição $s^* \succeq s_k \Rightarrow U(X_{s^*}) \geq U(X_{s_k})$, para todo $s_k \in S$, seja satisfeita.

Portanto, uma possível função de utilidade $U(\cdot)$ quantificaria o benefício que a

sociedade obtém ao ser escolhido determinado cenário. Da mesma forma, é possível estabelecer a correspondência direta (*mapping*) entre a utilidade $U(X_{s_k})$ e o cenário s_k . No entanto, é importante destacar que valores mais altos de X_{s_k} , embora indiquem maiores retornos em termos de VBP, não garantem, necessariamente, uma distribuição equilibrada dos produtos setoriais — aspecto que será discutido posteriormente.

Logo, o cenário s^* pode ser considerado ótimo por maximizar, isoladamente, o produto setorial agregado, resolvendo o problema $\max_{s_k \in S} U(X_{s_k})$. Assim, os resultados obtidos a partir da simulação podem fornecer subsídios para que formuladores de políticas públicas identifiquem o cenário com maior retorno entre as opções disponíveis, tal que resolva:

$$s^* = \arg \max_{s_k \in S} U(X_{s_k}). \quad (3.1)$$

Desse modo, com base na expressão (3.1), é possível selecionar o cenário que fornece maior retorno em termos de utilidade. Embora cenários que maximizem o VBP sejam desejáveis do ponto de vista do crescimento do produto setorial agregado, é importante destacar que esses arranjos podem implicar em elevados níveis de concentração setorial. Assim, a avaliação de cada cenário deve considerar não apenas o retorno em termos de VBP agregado, mas também aspectos de equilíbrio produtivo e diversificação setorial.

A seguir, são desenvolvidos os procedimentos metodológicos de construção de alguns cenários estratégicos, a ampliação da dimensionalidade do problema e os critérios de avaliação utilizados neste estudo.

3.1.1 *Cenário do Efeito Multiplicador* s_1^+

O “Cenário do Efeito Multiplicador”, s_1^+ , representa um exercício extremo, no qual toda variação da demanda final se concentraria no setor com o maior efeito multiplicador de produção, denotado por M_j^+ . O vetor de demanda final associado é, portanto, dado por $Y = [0, \dots, N, \dots, 0]_{n \times 1}^T$, em que N é direcionado exclusivamente ao setor identificado por M_j^+ , sendo nulo nos demais¹, conforme a ponderação descrita na Seção (3.1).

Portanto, a estrutura de modelagem para esse cenário é:

¹ Imagine todas as políticas, *ceteris paribus*, de estímulo à demanda final focadas em um único setor.

$$X_{n \times 1}^{s_1} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \begin{bmatrix} N \cdot 0 \\ \vdots \\ N \cdot 1 \\ N \cdot 0 \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} X_1^{s_1} \\ \vdots \\ X_n^{s_1} \end{bmatrix}_{n \times 1} \Rightarrow X^{s_1} = \sum_{i=1}^n X_i^{s_1} \quad (3.2)$$

Onde $X^{s_1} = \sum_{i=1}^n X_i^{s_1}$ indica o retorno agregado resultante desse cenário, representado pela soma dos VBPs setoriais.

Contudo, do ponto de vista econômico, concentrar todas as políticas de estímulo à demanda final, via N , em um único setor, *ceteris paribus*, não é uma estratégia ideal. A realidade prática é marcada por assimetrias de informação e incertezas estruturais que evidenciam os riscos dessa abordagem, podendo levar a resultados subótimos. Caso haja alterações na estrutura produtiva, como uma mudança no setor com o maior multiplicador, essa escolha pode se tornar rapidamente defasada e inadequada para a formulação de políticas públicas de longo prazo.

3.1.2 Cenário de Estímulo Equitativo s_2

No “Cenário de Estímulo Equitativo”, s_2 , considera-se uma situação em que não há informações prévias sobre os efeitos multiplicadores setoriais, e, portanto, assume-se uma distribuição igualitária da variação da demanda final entre todos os setores da economia. Esse cenário corresponde à estrutura clássica do modelo de Insumo-Produto, em que se analisa a variação uniforme da demanda final em cada setor, assumindo pesos proporcionais entre os setores.

Como o montante total de estímulo N é distribuído igualmente entre os n setores da MIP, o vetor resultante de demanda final é um vetor unitário dado por $Y = [1; 1; \dots; 1]_{n \times 1}^T$. Portanto, o retorno associado a esse cenário é calculado da seguinte forma:

$$X_{n \times 1}^{s_2} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \begin{bmatrix} N \cdot \frac{1}{n} \\ \vdots \\ N \cdot \frac{1}{n} \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} X_1^{s_2} \\ \vdots \\ X_n^{s_2} \end{bmatrix}_{n \times 1} \Rightarrow X^{s_2} = \sum_{i=1}^n X_i^{s_2} \quad (3.3)$$

Onde X^{s_2} representa o retorno agregado, em termos de VBP, decorrente da variação equitativa da demanda final entre os setores da economia.

3.1.3 Cenário de Equalização da Produção s_3

O “Cenário de Equalização da Produção”, s_3 , é uma formulação ilustrativa que busca descobrir qual seria o vetor de demanda final necessário para igualar o nível de produção entre todos os n setores da economia, tal que $X_i^{s_3} = \bar{X}$, para todo i .

Dado que o montante total de estímulo econômico N está limitado ao número de setores definidos na MIP, impõe-se a restrição de que a soma dos elementos do vetor de demanda final seja igual a N , ou seja, $\sum_i y_i = N$. Isso configura um problema de programação matemática, cuja solução permite identificar o vetor de demanda final necessário para equalizar os níveis de produção entre os setores. O retorno desse cenário é dado por:

$$X_{n \times 1}^{s_3} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \vdots \\ \bar{X} \end{bmatrix}_{n \times 1} \implies X^{s_3} = n \times \bar{X} \quad (3.4)$$

Em outras palavras, o vetor de demanda final resultante representa a respectiva variação setorial necessária para equalizar a produção em todos os setores da economia.

3.1.4 Cenário de Internalização das Externalidades

Diante da noção de multiplicador total, discutida na Subseção (2.2.1), sabe-se que estímulos à produção de um setor i geram impactos positivos tanto sobre o próprio setor quanto sobre os demais setores j . Esses efeitos positivos intersetoriais podem ser interpretados, e internalizados, como externalidades de positivas induzidas pelo processo produtivo.

A partir da matriz Inversa de Leontief, B , é possível atribuir pesos setoriais proporcionais aos efeitos indiretos — representados pelos elementos fora da diagonal principal de B — induzidos por cada setor. A intensidade dessas externalidades depende do grau de encadeamento do setor i em questão, isto é, de sua capacidade de gerar impactos em toda a estrutura produtiva. Ressalta-se, no entanto, que essa abordagem ignora os efeitos internos do setor sobre si mesmo.

Dessa forma, a internalização das externalidades pode ser feita por duas óticas distintas: i) *forward looking* (encadeamento para frente), utilizando-se a soma das linhas da Inversa de Leontief modificada²; ou ii) *backward looking* (encadeamento para trás), a partir da soma das colunas da Inversa de Leontief modificada ($\tilde{B}$).

² Essa matriz considera apenas os efeitos indiretos sobre os demais setores, ou seja, sua diagonal principal é zerada. Essa modificação é aplicada apenas para calcular as proporções setoriais; as simulações utilizam a matriz Leontief B original.

3.1.4.1 Cenário de Internalização das Externalidades para Frente s_4

No primeiro caso, busca-se internalizar as externalidades para a frente (*forward looking*), ou seja, pela ótica da oferta intersetorial representada pelas linhas da Inversa de Leontief. Esse cenário atribui pesos maiores aos setores que mais fornecem insumos aos demais, ou seja, setores que geram mais externalidades recebem peso maior.

Desse modo, seja, $\tilde{B} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \tilde{b}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{b}_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix}_{n \times n}$ a Inversa de Leontief Modificada, e $\tilde{b}_i =$

$\sum_{j=1}^n \tilde{b}_{ij}$ a soma de seus elementos na linha. Esse cenário, s_4 , distribuirá os pesos setoriais de acordo com a regra $s_4 = \frac{\tilde{b}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{b}_i}$, que indica a proporção da externalidade gerada pelo setor i em relação à externalidade total para frente da economia. Seguindo a mesma lógica de ponderação do montante N , obtém-se o vetor de demanda final como $Y = N \times s_4$.

$$\mathbf{X}_{n \times 1}^{s_4} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \begin{bmatrix} N \cdot s_{14} \\ \vdots \\ N \cdot s_{n4} \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} X_1^{s_4} \\ \vdots \\ X_n^{s_4} \end{bmatrix}_{n \times 1} \Rightarrow X^{s_4} = \sum_{i=1}^n X_i^{s_4} \quad (3.5)$$

3.1.4.2 Cenário de Internalização das Externalidades para Trás s_5

No caso da internalização das externalidades para trás (*backward*), a lógica é a mesma, contudo, olhando do lado da demanda intersetorial. O cenário atribuirá maiores pesos aos setores que possuem maior capacidade de impulsionar a produção dos demais. Basicamente, tem-se que $Y = N \times s_5$, onde $s_5 = \frac{\tilde{b}_j}{\sum_{j=1}^n \tilde{b}_j}$ indica a regra de ponderação para a demanda final, com $\tilde{b}_j = \sum_{i=1}^n \tilde{b}_{ij}$, indicando a soma dos elementos da coluna. Diante disso, o vetor de produção resultante é obtido por:

$$\mathbf{X}_{n \times 1}^{s_5} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \begin{bmatrix} N \cdot s_{51} \\ \vdots \\ N \cdot s_{5n} \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} X_1^{s_5} \\ \vdots \\ X_n^{s_5} \end{bmatrix}_{n \times 1} \Rightarrow X^{s_5} = \sum_{i=1}^n X_i^{s_5} \quad (3.6)$$

3.2 Aumentando a Dimensionalidade

A fim de avaliar diferentes formas de reorganização vetorial da demanda final, é necessário ampliar a dimensionalidade do problema, incorporando um número maior de

possibilidades de alocação. Como cada cenário corresponde a um vetor de distribuição setorial $s \in S$, que pondera o montante total de estímulo N , é possível reunir os cenários anteriormente definidos em uma matriz que generaliza o problema, construindo assim um conjunto expandido de estados, representado por:

$$\bar{S}_{n \times m} = \begin{bmatrix} I_{n \times n} & S_{n \times 4}^p & S_{n \times q}^r \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

A matriz $\bar{S}_{n \times m}$ generaliza e expande o conjunto de cenários determinísticos, onde n representa o número de setores definidos pela MIP, e m indica a quantidade total de estados hipotéticos para demanda final considerados, com $m > n$. Cada coluna dessa matriz corresponde a um vetor distinto de distribuição setorial, ou cenário (s_k). Dessa forma, a matriz organiza em um conjunto mais amplo os pesos para os cenários estudados.

Essa matriz é formada por três blocos principais: o primeiro bloco, representado por uma matriz identidade, $I_{n \times n}$, indica o direcionamento total do montante de estímulo, concentrando-o em cada um dos setores da MIP, de modo que o cenário do efeito multiplicador $s_1^+ \subset I_{n \times n}$. O segundo bloco, a matriz $S_{n \times 4}^p$, contém os cenários discutidos na seção anterior, $\{s_2, \dots, s_5\} \subset S_{n \times 4}^p$. Já o terceiro e maior bloco, $S_{n \times q}^r$, requer um pouco de atenção, pois possui suas colunas oriundas de diferentes amostras geradas por meio de um processo baseado na distribuição de Dirichlet.

O processo de Dirichlet utilizado para gerar o terceiro bloco de cenários, S^r , consiste na extração de valores aleatórios, denotados por θ_i , a partir da distribuição de Dirichlet. Optou-se pela distribuição Dirichlet por garantir que seus vetores sejam sempre positivos e com soma igual a 1. Desse modo, os valores de θ_i podem ser interpretados como proporções para a ordenação setorial da demanda final, determinando assim os pesos relativos atribuídos a cada setor da MIP.

Essa classe de dados se enquadra na categoria de *compositional data*, ou seja, o suporte dessa distribuição - os valores que essa variável pode assumir - estão confinados no intervalo $[0, 1]$ em um espaço geométrico denominado *simplex* (BISHOP, 2006; LIN, 2016; TOMARCHIO *et al.*, 2024).

Portanto, cada novo cenário, representado pelos vetores no bloco S^r respeita:

$$(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \sim \text{Dir}(\delta) \quad \text{e} \quad \theta_i \in [0, 1], \forall i \in \{1, \dots, n\}, \quad \text{tal que} \quad \sum_{i=1}^n \theta_i = 1. \quad (3.8)$$

Em suma, o processo baseado na distribuição de Dirichlet simplifica significativamente o mecanismo de geração um número elevado vetores distintos, expandindo rapidamente a dimensionalidade do problema. Como todos os vetores são proporções de alocação da demanda final que, como os demais cenários, satisfazem as condições de soma unitária ($\sum_{i=1}^n \theta_i = 1$) e positividade ($\theta_i > 0$).

Dessa forma, o bloco S^r amplia consideravelmente o espaço de cenários simuláveis. Contudo, por serem gerados aleatoriamente, esses vetores carecem de interpretação econômica imediata e não seguem uma lógica estrutural explícita, diferentemente dos cenários selecionados discutidos anteriormente.

3.2.1 Cenários Combinados

Até o momento, todos os cenários foram tratados de forma determinística, ou seja, com base em vetores únicos de distribuição da demanda final. Uma alternativa a explorar é a combinação linear ponderada desses cenários, chamados de *cenários combinados*, para analisar seus efeitos sobre os níveis de produção e de concentração setorial. Cada cenário combinado é, portanto, obtido a partir de uma combinação linear dos diversos vetores presentes na matriz $\bar{S}_{n \times m}$, conforme a expressão (3.7).

Nesse sentido, seja $S_K = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$ um subconjunto de K cenários presentes em $S_K \subseteq \bar{S}$ da seção anterior. Um cenário combinado s_c pode ser representado por um vetor de pesos P , onde cada elemento $p_k \in P$ expressa a probabilidade de escolha atribuída a cada cenário $s \in S_k$ de tal modo que:

$$s_c = \{p_1, p_2, \dots, p_K\} \quad \text{com} \quad \sum_{k=1}^K p_k = 1 \quad \text{e} \quad p_k \geq 0, \forall k \quad (3.9)$$

Assume-se, ainda, que o vetor de probabilidades seja não degenerado, ou seja, todas as probabilidades são estritamente positivas, garantindo a efetiva participação de todos os cenários na combinação linear.

A partir disso, obtém-se um novo vetor de distribuição setorial combinado, s_c , construído pela combinação ponderada dos K cenários originais, tal que:

$$s_c = \sum_{k=1}^K p_k \cdot s_k \quad (3.10)$$

Seguindo a mesma lógica de ponderação da seção anterior, é possível obter o vetor de investimentos $Y(s_c)$ ao multiplicá-lo pelo montante de estímulo à demanda final, obtêm-se:

$$Y(s_c) = N \cdot \begin{bmatrix} p_1 \cdot s_1 \\ p_2 \cdot s_2 \\ \vdots \\ p_k \cdot s_k \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

O principal objetivo de incorporar os cenários combinados às simulações é adicionar uma camada extra para o reordenamento da demanda final, reduzindo assim os riscos associados a alocações baseadas em vetores únicos.

3.2.2 Exemplo: Cenário Combinado Uniforme

Para fins ilustrativos, considere um exemplo em que nenhum cenário é favorecido na ponderação. Nesse caso, adota-se um peso de probabilidade uniforme $P = \{\frac{1}{m}, \dots, \frac{1}{m}\}$ para os m cenários representados nas colunas da matriz $\bar{S}$.

Dessa forma, os potenciais benefícios médios de todos os cenários presentes em $\bar{S}$ podem ser avaliados simultaneamente. O vetor combinado resultante, portanto, corresponde à média aritmética dos vetores de cenários e é dado por:

$$s_c = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_k \quad (3.12)$$

A produção setorial, em termos de VBP agregado, resultante desse cenário pode ser obtida a partir de:

$$\mathbf{X}_{n \times 1}^{s_c} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \begin{bmatrix} N \cdot s_{c_1} \\ \vdots \\ N \cdot s_{c_n} \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} x_1^{s_c} \\ \vdots \\ x_n^{s_c} \end{bmatrix}_{n \times 1} \Rightarrow X^{s_c} = \sum_{i=1}^n x_i^{s_c} \quad (3.13)$$

Portanto, os cenários combinados ampliam o escopo da análise e reduzem os riscos inerentes à escolha de vetores únicos de alocação, permitindo capturar os benefícios de múltiplos arranjos setoriais da demanda final.

3.3 Universo de Cenários

Para condensar toda a metodologia apresentada, agrupa-se em uma matriz-universo todos os cenários usados nesta simulação. Considera-se que os cenários combinados derivam de combinações lineares das colunas da matriz $\bar{S}_{n \times m}$, descrita na Seção 3.2, resultando em uma matriz de pesos setoriais expandida, chamada universo de cenários $\mathcal{U}_{n \times (m+r)}$:

$$\mathcal{U}_{n \times (m+r)} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{n \times m} & S_{n \times r}^M \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

A matriz $\mathcal{U}$ é composta por dois blocos: o primeiro, $\bar{S}_{n \times m}$, reúne os cenários determinísticos, como os de concentração representados por I , os cenários estratégicos em S^p e os vetores gerados pelo processo de Dirichlet; o segundo bloco, $S_{n \times r}^M$, corresponde aos cenários combinados, construídos por combinações ponderadas dos vetores do primeiro bloco.

Assim, a matriz universo $\mathcal{U}$, por meio dos vetores de distribuição setorial, materializa todo o conjunto S de possibilidades de reordenamento da demanda final, tornando o processo de ponderação do estímulo N mais simples para qualquer cenário $s \in S$, de tal forma que se obtenha uma nova matriz contendo todos os vetores de demanda final utilizados na simulação, tal que:

$$Y_{n \times (m+r)} = N \times \mathcal{U}_{n \times (m+r)} \quad (3.15)$$

Conforme discutido na Seção (3.2), o cenário de concentrar todo o montante de estímulo N no setor com o maior efeito multiplicador de fato maximiza isoladamente o retorno, caso a única métrica a ser considerada seja a maximização do VBP. No entanto, essa escolha desconsidera os outros arranjos vetoriais presentes em $\bar{S}_{n \times m}$, como os de externalidades positivas geradas sobre os demais setores, ou os diferentes cenários provenientes do processo Dirichlet. Ademais, a opção pela concentração resulta em uma distribuição dos produtos setoriais altamente desequilibrada, aumentando a vulnerabilidade da economia a choques setoriais.

Portanto, espera-se que o conjunto de “cenários combinados” ofereça uma solução de alocação mais equilibrada, diversificando os investimentos para mitigar riscos e reduzir a exposição da economia a choques setoriais.

3.4 Utilidade Arbitrária e Índice de Concentração Setorial

Diante do exposto, surge, então, a necessidade de incluir, em uma possível função de utilidade arbitrária, alguma métrica de concentração setorial, de modo que a utilidade não dependa exclusivamente do Valor Bruto da Produção (VBP), mas também do grau de desigualdade na distribuição dos produtos entre os setores.

Cada cenário $s_i \in \mathcal{U}$, ao ser ponderado pelo estímulo N (expressão (3.15)) e aplicado no modelo Insumo-Produto (expressão (2.5)), gera uma matriz com todos os vetores de produção X_i , na mesma dimensão de $\mathcal{U}$. Contudo, observa-se, em termos setoriais, variações na distribuição dos produtos entre os diferentes cenários.

Portanto, com o objetivo de captar essas desigualdades, construiu-se um Índice de Concentração Setorial³ para cada cenário $s_i \in \mathcal{U}$, definido como:

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_i - x_j|}{2n^2 \bar{x}} \quad (3.16)$$

Em que D_i representa o índice de concentração setorial da produção associado a cada cenário s_i ; n é o número de setores considerados na MIP; x_i e x_j são os produtos setoriais dos setores i e j ; e $\bar{x}$ é o produto setorial médio em cada cenário.

Nesse sentido, cada cenário (s_i) simulado possui um nível de concentração setorial (D_i) correspondente. Um valor de $D_i = 0$ indica uma distribuição perfeitamente uniforme dos produtos setoriais, ou seja, concentração zero, enquanto valores próximos de $D_i \rightarrow 1$ refletem elevada concentração produtiva em poucos setores.

Portanto, caso um formulador de políticas públicas busque, simultaneamente, mitigar riscos por meio da diversificação setorial do estímulo N e maximizar os retornos agregados em termos de VBP, é necessário adotar uma função de utilidade que contemple essas duas dimensões. Em outras palavras, a utilidade $U(X_{Ti}^+, D_i^-)$ deve ser afetada positivamente pelo valor agregado da produção X_{Ti} e negativamente impactada pelo grau de concentração setorial D_i .

O intuito de modelar funções de utilidade é um desafio que advém da necessidade de filtrar vetores subótimos, aqueles que apresentam altos VBPs, mas também elevados níveis de concentração setorial. Dessa forma, o gestor público seria capaz de delimitar e selecionar cenários que maximizam, simultaneamente, o retorno em termos de produto setorial agregado (VBP) e minimizam a concentração setorial (D_i).

³ Trata-se de uma adaptação da fórmula do Índice de Gini, ajustada ao contexto da produção setorial.

Diante do exposto, o problema recai sobre qual forma funcional a função de utilidade $U(X_{Ti}, D_i)$ deve assumir. Portanto, toma-se a liberdade de modelar livremente uma utilidade que penalize estratégias concentradas⁴. Assume-se, portanto, a seguinte forma funcional para a utilidade:

$$U(X_i, D_i) = \alpha \left(\frac{X_i}{X_{\text{máximo}}} \right) - \lambda D_i^2 \quad (3.17)$$

A função de utilidade escolhida normaliza os produtos setoriais pelo máximo em cada estratégia e penaliza estratégias concentradas. Outras formulações alternativas foram testadas e encontram-se no Apêndice (C), embora a investigação sobre suas propriedades e aplicações ainda requeira aprofundamentos futuros.

Nesse caso, pode-se dizer que o equilíbrio dado pela utilidade se comportaria como um equilíbrio estável, pois combina ganhos de eficiência, representados por maiores VBPs, com maior equidade na distribuição dos investimentos, refletida em menores D_i . O capítulo posterior se dedica à aplicação de toda a metodologia desenvolvida no contexto da MIPR/CE.

⁴ Os parâmetros utilizados nessa forma funcional foram definidos livremente como $\alpha = \lambda = 0,5$

4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS COM MIPR/CE DO IPECE

No estado do Ceará, a gestão dos investimentos públicos desempenha papel estratégico, evidenciado pelos esforços da SEPLAG/CE em implementar a Metodologia de Gestão de Investimento Público (GIP)⁵. Diante disso, esta seção aplica a metodologia de modelagem de cenários desenvolvida anteriormente à Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará (MIPR/CE), simulando e comparando diferentes arranjos de distribuição da demanda final e seus efeitos na economia estadual.

Elaborada pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), a MIPR/CE tem ano-base 2013 e abrange 32 setores de atividade econômica. Esse nível de desagregação setorial permite examinar com precisão os impactos individuais e agregados dos cenários simulados, fornecendo subsídios para a formulação de políticas públicas. A lista completa dos setores encontra-se no Apêndice(A).

A escolha da MIPR/CE justifica-se tanto por sua abrangência setorial quanto por seu papel estratégico no planejamento econômico regional, ao fornecer uma representação detalhada das interações intersetoriais na economia cearense, complementando o referencial teórico e analítico do estado (PAIVA; TROMPIERI-NETO, 2020).

Considera-se cada cenário $s_k = [s_{k1}, s_{k2}, \dots, s_{kn}]$ como um vetor de pesos setoriais que expressa diferentes maneiras de redistribuição do estímulo à demanda final. Para adequar esse vetor ao número de setores na MIPR/CE, supõe-se um estímulo setorial total de $N = 32$ unidades monetárias⁶, e busca-se distribuí-las conforme os critérios estabelecidos por cada vetor s_k .

A simulação com a MIPR/CE possibilita, portanto, avaliar os impactos econômicos de cada cenário por meio de duas métricas principais: o Valor Bruto da Produção (VBP) agregado, que captura a eficiência produtiva do arranjo setorial, e o índice de concentração setorial (D_i), que expressa o grau de desigualdade na distribuição dos produtos entre os setores. Dessa forma, por meio de uma função de utilidade arbitrária, torna-se possível identificar quais cenários são capazes de conciliar retornos elevados com menor concentração setorial.

Nesse sentido foi utilizada a inversa de Leontief para calcular o Valor Bruto da Produção (VBP) agregado em cada cenário, e recuperar os índices de concentração setorial D_i .

⁵ A GIP visa aprimorar a alocação eficiente de recursos em projetos de investimento, oferecendo suporte à tomada de decisão governamental no Ceará (CEARÁ. Secretaria do Planejamento e Gestão, 2024).

⁶ Hipótese adotada para fins de comparabilidade com a matriz do IPECE; o valor de N pode ser ajustado conforme orientações empíricas.

A partir desses dois indicadores, uma função de utilidade arbitrária identifica os cenários que conciliam retornos elevados com menor concentração setorial, auxiliando na escolha de arranjos que promovam crescimento equilibrado.

Nas seções seguintes, os resultados são apresentados de acordo com cada grupo de cenários descritos anteriormente, com destaque para as comparações entre arranjos determinísticos e combinados. A aplicação da função de utilidade arbitrária complementa essa análise, automatizando a seleção dos melhores arranjos.

4.1 Cenários determinísticos

Desse modo, foi testado um bloco de 1.036 cenários determinísticos, cujo conjunto de pesos setoriais que pondera o montante de recursos N está disposto segundo a matriz abaixo:

$$\bar{S}_{32 \times 1036} = \begin{bmatrix} I_{32 \times 32} & S_{32 \times 4}^p & S_{32 \times 1000}^r \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Os primeiros 32 cenários da matriz (4.1), por meio da matriz identidade, representam o direcionamento total do estímulo para cada um dos setores da MIPR/CE, incluindo o *cenário do efeito multiplicador* (s_1^+). Em seguida, estão os quatro cenários selecionados na Seção (3.1): *cenário do estímulo equitativo* (s_2), *cenário de equalização da produção* (s_3), e os *cenários de internalização das externalidades* (s_4 e s_5). Por fim, o último bloco apresenta 1.000 cenários que derivam de pesos gerados a partir do processo aleatório de distribuição de Dirichlet.

Através de um mapa de calor, a Tabela (1) apresenta os pesos setoriais (s_k) que orientam a distribuição do estímulo N para cinco cenários estratégicos selecionados. Optou-se por destacar esses cenários pela facilidade de interpretação. Nas linhas, estão os setores de atividade, enquanto as colunas exibem os pesos atribuídos em cada estratégia.

Tabela 1 – Pesos Setoriais - Cenários Determinísticos

Setor	s_1^+	s_2	s_3	s_4	s_5
Agropecuária	0,00	0,03	0,03	0,01	0,03
Indústrias extrativas	0,00	0,03	0,03	0,04	0,05
Fabricação de produtos alimentícios	0,00	0,03	0,04	0,05	0,01
Fabricação de bebidas	0,00	0,03	0,04	0,05	0,01
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,00	0,03	0,04	0,02	0,00
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,00	0,03	0,04	0,03	0,01
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	1,00	0,03	0,04	0,07	0,00
Fabricação de produtos químicos	0,00	0,03	0,04	0,03	0,01
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,00	0,03	0,04	0,02	0,01
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,00	0,03	0,04	0,04	0,01
Metalurgia	0,00	0,03	0,04	0,04	0,01
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,00	0,03	0,04	0,02	0,01
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,00	0,03	0,04	0,02	0,00
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,00	0,03	0,04	0,04	0,00
Outras atividades industriais	0,00	0,03	0,04	0,02	0,00
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,00	0,03	0,04	0,02	0,01
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0,00	0,03	0,01	0,03	0,08
Construção	0,00	0,03	0,04	0,03	0,01
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	0,00	0,03	-0,04	0,03	0,23
Transporte, armazenagem e correio	0,00	0,03	0,00	0,03	0,13
Serviços de alojamento	0,00	0,03	0,04	0,05	0,01
Serviços de alimentação	0,00	0,03	0,04	0,04	0,02
Informação e comunicação	0,00	0,03	0,03	0,04	0,04
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,00	0,03	0,01	0,04	0,09
Atividades imobiliárias	0,00	0,03	0,03	0,01	0,04
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	0,00	0,03	0,00	0,02	0,16
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,00	0,03	0,04	0,03	0,01
Educação e saúde privadas	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,00	0,03	0,04	0,05	0,01
Serviços domésticos	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Desvio Padrão	0,18	0,00	0,02	0,01	0,05
Média dos Desvios			0,05		

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

(s_1^+) Cenário do Multiplicador; (s_2) Estímulo Equitativo; (s_3) Equalização da Produção; (s_4) Externalidade p/ Frente; (s_5) Externalidade p/ Trás.

Segundo os dados da MIPR/CE, o setor com maior efeito multiplicador é o de “Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis”, com um efeito total de

1,6841. O “cenário do efeito multiplicador” (s_1^+) direciona todo o investimento público a esse setor, resultando em um vetor com todo o peso em sua linha correspondente. Já o “cenário de estímulo equitativo” (s_2) distribui os recursos igualmente entre os setores, atribuindo um peso de $1/32 = 0,03$ a cada setor.

Quanto ao cenário de “equalização da produção” (s_3), inicialmente, este não apresenta solução factível ao impor $s_k > 0$ para todo i . No entanto, ao relaxar essa restrição, os pesos setoriais se distribuem de forma mais equilibrada, exceto para o setor de “Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas”, que assume valores negativos. Isso sugere a necessidade de um “desinvestimento” nesse setor para alcançar um VBP igualitário entre todos os setores, o que é coerente, dado seu alto VBP na MIPR/CE.

Já nos cenários de internalização das externalidades para frente e para trás (s_4 e s_5), a distribuição do montante de estímulo ocorre de forma diretamente proporcional às externalidades geradas por cada setor. Observa-se que setores que geram, relativamente, mais externalidades positivas em relação ao total receberão mais estímulos.

Os principais resultados são apresentados na Tabela (2), a qual exhibe o Valor Bruto da Produção (VBP) nos cenários selecionados. Além disso, a tabela inclui os níveis de concentração setorial (D_i) e o retorno agregado por unidade monetária investida.

Conforme esperado, o “cenário do efeito multiplicador” gera o maior VBP agregado. Ao concentrar todo o montante de estímulo no setor de “Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis”, o VBP total atinge $X_{s_1} = 53,89$ reais, com um retorno de R\$ 1,68 por real investido. No entanto, embora essa estratégia maximize isoladamente o VBP em relação às demais, ela resulta em um nível de concentração setorial excessivamente alto, com $D_1^+ = 0,89$. Esse valor reflete uma distribuição desequilibrada, em que a produção permanece baixa na maioria dos setores, concentrando-se principalmente em apenas cinco: “Refino de Petróleo”, “Indústrias Extrativas”, “Comércio”, “Transporte” e “Atividades Profissionais”.

Uma visão detalhada dos cenários de concentração integral do montante de estímulo em cada um dos setores da MIPR/CE pode ser vista no Apêndice (D). Uma evidência relevante é que a concentração total dos recursos resulta em uma distribuição dos produtos setoriais altamente desequilibrada. O nível máximo de concentração ocorre quando todos os recursos são destinados ao setor de *Serviços Domésticos*, atingindo $D_{32} = 0,969$, reflexo do baixo encadeamento desse setor na economia.

Tabela 2 – Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial - Cenários Determinísticos

Setor	X_{s_1}	X_{s_2}	X_{s_3}	X_{s_4}	X_{s_5}
Agropecuária	1,22	1,34	1,35	0,90	1,12
Indústrias extrativas	9,17	1,45	1,35	2,01	1,57
Fabricação de produtos alimentícios	0,11	1,20	1,35	1,84	0,55
Fabricação de bebidas	0,00	1,13	1,35	1,64	0,31
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,01	1,10	1,35	0,82	0,17
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,06	1,18	1,35	1,12	0,61
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	32,12	1,01	1,35	2,23	0,04
Fabricação de produtos químicos	0,06	1,17	1,35	1,05	0,44
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,00	1,03	1,35	1,04	0,04
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,02	1,08	1,35	0,81	0,25
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,02	1,17	1,35	1,35	0,49
Metalurgia	0,02	1,19	1,35	1,53	0,49
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,02	1,08	1,35	0,68	0,23
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,02	1,04	1,35	1,03	0,10
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,02	1,02	1,35	0,68	0,04
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,01	1,04	1,35	1,26	0,07
Outras atividades industriais	0,00	1,01	1,35	0,64	0,02
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,07	1,08	1,35	0,75	0,32
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0,33	2,10	1,35	2,12	3,97
Construção	0,12	1,20	1,35	1,11	0,61
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	2,76	3,31	1,35	3,41	9,13
Transporte, armazenagem e correio	3,71	2,35	1,35	2,70	5,63
Serviços de alojamento	0,02	1,06	1,35	1,57	0,23
Serviços de alimentação	0,03	1,17	1,35	1,59	0,67
Informação e comunicação	0,24	1,61	1,35	2,16	2,19
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,92	2,06	1,35	2,33	4,41
Atividades imobiliárias	0,22	1,35	1,35	0,65	1,70
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	2,42	2,65	1,35	2,67	7,51
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,09	1,13	1,35	0,97	0,61
Educação e saúde privadas	0,03	1,06	1,35	0,92	0,20
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,06	1,09	1,35	1,84	0,38
Serviços domésticos	0,00	1,00	1,35	0,00	0,00
TOTAL	53,89	43,44	43,14	45,42	44,08
Índice de Concentração Setorial (D_i)	0,89	0,17	0,00	0,28	0,69
Retorno Agregado do Investimento (para cada R\$ investido)	1,68	1,36	1,35	1,42	1,38

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

VBP gerado: pela Estratégia do Multiplicador (X^{s_1}); por “Investimentos Equitativos” (X^{s_2}); pela cenário de cenário de equalização da produção (X^{s_3}); pela Externalidade p/ Frente (X^{s_4}); pela Externalidade p/ Trás (X^{s_5})

O cenário de estímulo equitativo (s_2), embora apresente um retorno abaixo do cenário do multiplicador (R\$ 1,36 por real investido, correspondendo a um VBP agregado de $X_{s_2} = 43,44$ reais), oferece uma distribuição setorial bem mais parcimoniosa, evidenciada pelo

baixo índice de concentração setorial ($D_2 = 0,17$)

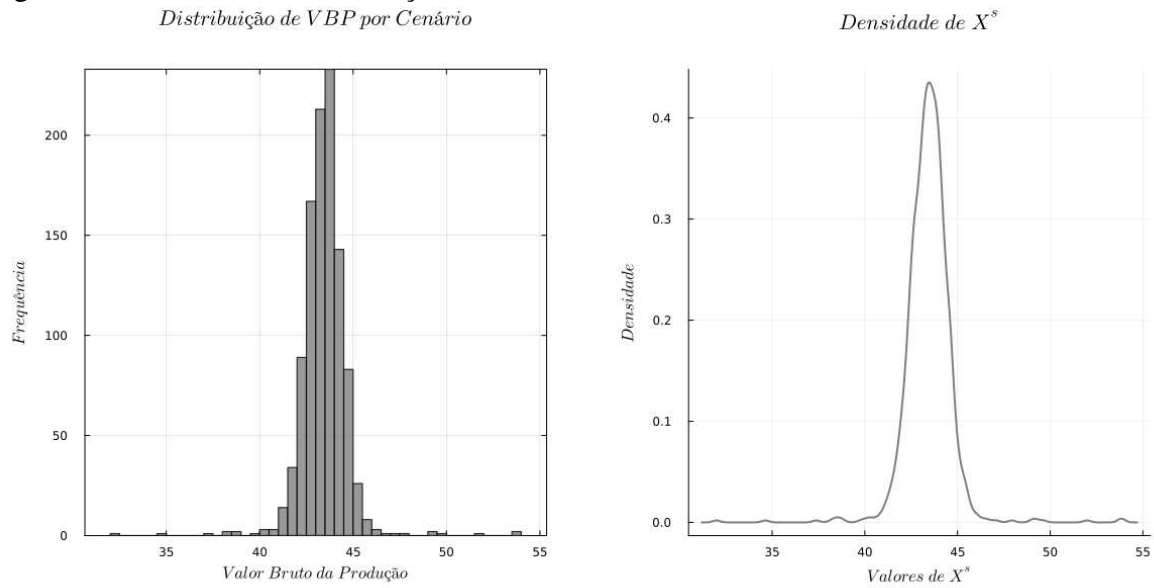
Quanto ao cenário ilustrativo de “*equalização da produção*” (s_3), ao resolver o problema de programação matemática, a produção comum entre os 32 setores da MIPR/CE foi de R\$ 1,35 por setor, com um VBP agregado de $X_{s_3} = 43,14$. Como a produção setorial é uniformemente distribuída, o índice de concentração é $D_3 = 0$, caracterizando uma alocação perfeitamente equitativa entre os setores. Esse arranjo é dito ilustrativo, uma vez que não é razoável esperar que todos os setores da economia tenham o mesmo retorno setorial. Ela serve apenas como uma maneira didática de recuperar o vetor de produção necessário.

Já para os “*cenários de internalização das externalidades*” (s_4 e s_5), observa-se o seguinte: no “*cenário de internalização para frente*” (s_4), o VBP agregado é de $X_{s_4} = 45,42$, com um retorno de R\$ 1,42 por real investido e uma distribuição de produtos setoriais bastante equilibrada, representada por $D_4 = 0,28$. Por outro lado, no “*cenário de internalização para trás*” (s_5), embora apresente um VBP agregado de $X_{s_5} = 44,08$ e um retorno de R\$ 1,38 por real investido, verificam-se níveis mais elevados de concentração da produção, com $D_5 = 0,69$, principalmente nos setores de “*Comércio e reparação*”, “*Atividades profissionais e científicas*”, “*Transporte e armazenagem*” e “*Eletricidade e Gás*”.

Ambos os cenários de internalização de externalidades superam os arranjos s_2 e s_3 em termos de VBP, o que pode ser um fator relevante na tomada de decisão sobre a alocação do montante de estímulo setorial. No entanto, apenas o “*cenário de internalização para frente*” (s_4) garante um nível baixo de concentração dos produtos setoriais, tornando-o uma opção mais equilibrada.

Diante disso, ao se considerar o conjunto completo de vetores determinísticos simulados em $\bar{S}$, a Figura (2) exibe a distribuição de frequência dos valores de VBP e sua densidade associada. Observa-se uma baixa variabilidade dos valores agregados de VBP; dentre os 1.036 vetores de distribuição setorial testados, a maioria se concentra no intervalo de R\$ 42,00 a R\$ 45,00.

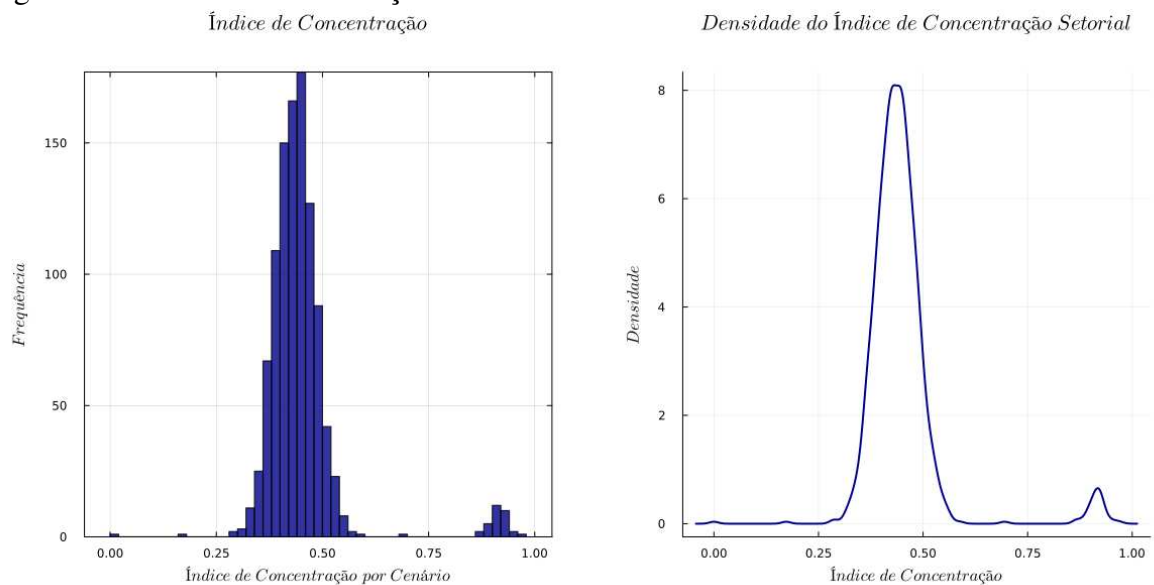
Figura 2 – Valor Bruto da Produção em Cenários Determinísticos



Fonte: Elaboração própria (2025).

Além disso, a Figura (3) mostra que a maior parte da distribuição de frequência dos índices de concentração setorial D_i para as estratégias puras situa-se entre 0,27 e 0,55, refletindo um nível moderado de concentração na maioria dos cenários simulados.

Figura 3 – Índice de Concentração Setorial



Fonte: Elaboração própria (2025).

No entanto, alguns cenários determinísticos apresentam níveis significativamente mais altos de concentração, evidenciados pela leve assimetria à direita da distribuição de densidade, conforme ilustrado na própria Figura (3). Dentre esses, destacam-se os vetores relacionados

ao direcionamento total do estímulo (Apêndice D) e algumas variações oriundas do processo Dirichlet, que levam D_i a se aproximar de 1.

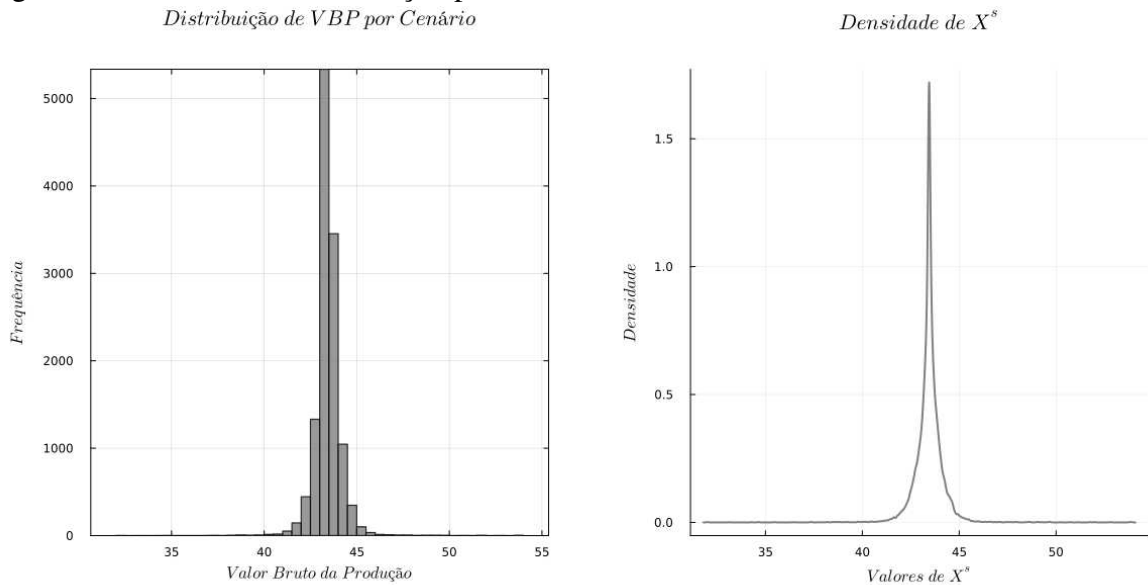
4.2 Universo de Cenários e Cenários Combinados

Diante do exposto, para abranger o conjunto completo de arranjos simulados para a demanda final, diferentes vetores de pesos foram iterados a partir dos cenários determinísticos, originando um conjunto de vetores combinados. Esse processo resultou em 11.397 vetores combinados de distribuição do montante de estímulo à demanda final. Assim, a matriz-universo reúne todos os pesos setoriais utilizados na formação dos vetores de demanda final, tanto para os cenários determinísticos quanto para os combinados, com a seguinte dimensão:

$$\mathcal{U}_{32 \times 12433} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{32 \times 1036} & S^M_{32 \times 11397} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

De acordo com a Figura (4), constata-se que, em termos de VBP agregado, a distribuição permaneceu inalterada. Mesmo após a inclusão dos vetores combinados no cálculo de Insumo-Produto, os produtos setoriais agregados exibiram comportamento semelhante ao da situação anterior, composto exclusivamente por cenários determinísticos (Figura (2)), diferenciando-se apenas na frequência, o que levou a uma distribuição mais “afunilada” em torno da média.

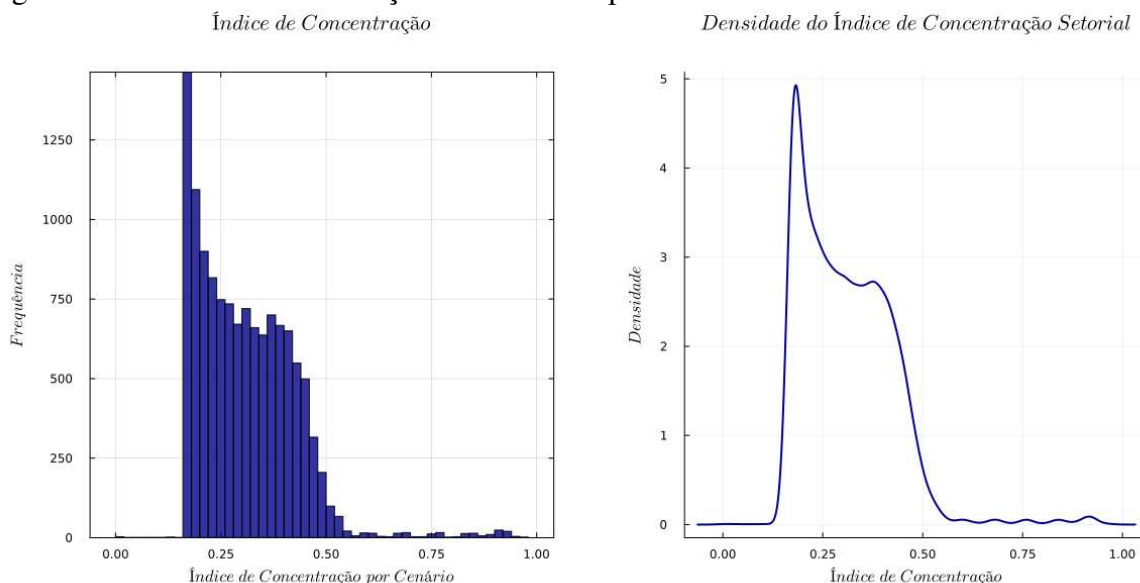
Figura 4 – Valor Bruto da Produção para todas os cenários



Fonte: Elaboração própria (2025).

Em relação aos índices de concentração setorial agregados, a Figura (5) aponta uma distribuição mais assimétrica à esquerda, indicando que a maioria dos cenários possui baixo nível de concentração. Esse padrão sugere que a interação dos diferentes vetores na combinação linear contribui para a redução da concentração setorial agregada, ou seja, há mais possibilidades de presença de vetores menos concentrados.

Figura 5 – Índice de Concentração Setorial Completo

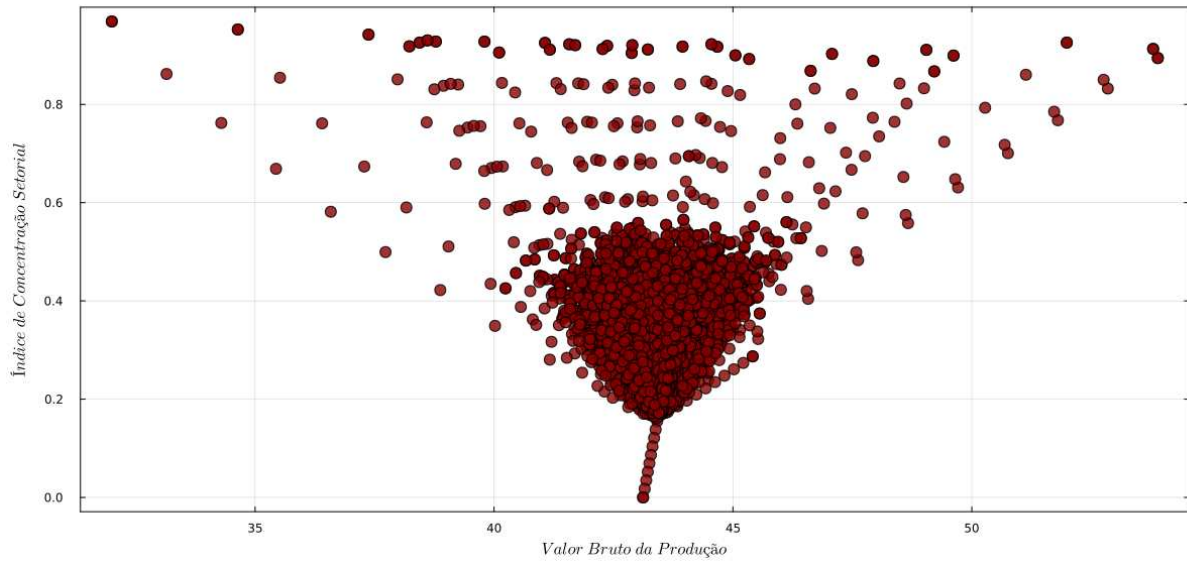


Fonte: Elaboração própria (2025).

A presença de menores índices de concentração dos produtos setoriais, em contraste com a escolha deliberada de cenários, pode ser interpretada como uma diluição de riscos, pois, ao ponderar as potencialidades dos cenários determinísticos na formação dos cenários combinados, surgem mais opções de alocações equilibradas.

Uma visão geral e resumida pode ser observada na Figura (6), que compara os 12.433 vetores simulados em um gráfico, com o Valor Bruto da Produção (VBP) no eixo horizontal e os índices de concentração setorial (D_i) no eixo vertical. Nota-se que, nos extremos do gráfico, existem tanto arranjos que apresentam um VBP mais elevado, associado a uma alta concentração setorial, quanto outras estratégias que alcançam valores de VBP relativamente baixos, também acompanhados de alta concentração.

Figura 6 – Valor Bruto da Produção $\times$ Índice de Concentração Setorial
Relação entre VBP $\times$ Concentração Setorial



Fonte: Elaboração própria (2025).

Contudo, a maior parte dos resultados concentra-se no intervalo de R\$ 42,00 a R\$ 45,00, com índices de concentração variando entre 0,2 e 0,5. Esse núcleo central confirma a discussão anterior, indicando que, ao se distribuir o estímulo à demanda final entre os diferentes vetores de alocação, o VBP tende a permanecer em patamares intermediários, com concentrações moderadas.

4.3 Função de Utilidade Arbitrária

Com o intuito de subsidiar a formulação de políticas públicas, o principal *trade-off* enfrentado por um gestor consiste em identificar uma função de utilidade que combine altos valores de produtos setoriais com níveis moderados de concentração, isto é, selecionar cenários posicionados no quarto quadrante da Figura(6).

Ao adotar a forma funcional de utilidade descrita na Seção 3.4, optou-se por descartar o “cenário de equalização da produção” (s_3), uma vez que seu índice $D_i = 0$ é meramente ilustrativo para a recuperação do vetor de demanda, podendo enviesar os resultados da análise.

A Tabela (3) apresenta os cinco cenários de maior utilidade segundo essa forma funcional⁷. Observa-se que quatro são cenários combinados, com destaque para s_{1421} , enquanto a presença isolada de s_4 indica que a internalização de externalidades para frente ainda pode ser competitiva mesmo sem combinação linear.

⁷ As cinco maiores utilidades de outras funções sugeridas encontram-se no Apêndice C.

Tabela 3 – Utilidade por Cenário - Top 5

Cenário	Tipo	Utilidade $U(\mathbf{X}, \mathbf{D})$
s_{1421}	Cenário Combinado	0.8015
s_4	Cenário Determinístico	0.8014
s_{1422}	Cenário Combinado	0.8014
s_{1420}	Cenário Combinado	0.8013
s_{1419}	Cenário Combinado	0.8010

Fonte: Elaboração própria (2025).

Diante da grande quantidade de cenários combinados simulados para a ordenação dos pesos setoriais, opta-se por seguir o ranqueamento fornecido pela forma funcional de utilidade descrita na Tabela (3), para identificar os quatro arranjos combinados mais relevantes para serem analisados na subseção seguinte.

4.3.1 Cenários Combinados

A Tabela (4) apresenta os VBPs agregados, os produtos setoriais correspondentes, o retorno agregado por real investido e o índice de concentração setorial D_i para os quatro principais cenários combinados selecionados pela função de utilidade.

Nota-se que os produtos a nível setorial são, em média, similares e bem distribuídos entre os setores da MIPR/CE, o que se reflete também nos baixos índices de concentração.

Dentre os arranjos selecionados, o vetor s_{1421} se destaca por, segundo a função de utilidade, apresentar simultaneamente o maior VBP e um baixo índice de concentração setorial, com um retorno de $X_{s_{1421}} = 45,21$ e R\$ 1,41 por real investido. Além disso, seu índice de concentração setorial é de $D_{1421} = 0,27$.

Nota-se que o maior VBP está no cenário s_{1422} , com um retorno de $X_{s_{1422}} = 45,41$ e R\$ 1,41 por real investido. Contudo, sua concentração setorial é levemente maior, com $D_{1422} = 0,29$, quando comparada às demais.

Além disso, observa-se que o arranjo s_{1419} apresenta o menor índice de concentração setorial. No entanto, esse menor nível de concentração também está associado a um retorno relativamente inferior em comparação com os demais vetores selecionados na Tabela (4).

Tabela 4 – Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial - Cenários Combinados

Setor	$X_{S_{1421}}$	$X_{S_{1422}}$	$X_{S_{1420}}$	$X_{S_{1419}}$
Agropecuária	0,94	0,90	0,99	1,03
Indústrias extrativas	1,95	2,01	1,88	1,82
Fabricação de produtos alimentícios	1,78	1,84	1,72	1,66
Fabricação de bebidas	1,59	1,64	1,53	1,48
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,85	0,82	0,87	0,89
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	1,13	1,12	1,15	1,16
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	2,11	2,23	1,99	1,86
Fabricação de produtos químicos	1,06	1,05	1,07	1,08
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	1,04	1,04	1,04	1,04
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,84	0,81	0,87	0,90
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	1,34	1,35	1,32	1,30
Metalurgia	1,49	1,53	1,46	1,42
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,72	0,68	0,77	0,81
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	1,03	1,03	1,04	1,04
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,71	0,68	0,75	0,78
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	1,23	1,25	1,21	1,19
Outras atividades industriais	0,67	0,63	0,71	0,75
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,78	0,75	0,81	0,84
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	2,12	2,12	2,11	2,10
Construção	1,12	1,11	1,13	1,14
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	3,40	3,41	3,39	3,38
Transporte, armazenagem e correio	2,66	2,70	2,63	2,60
Serviços de alojamento	1,52	1,57	1,47	1,42
Serviços de alimentação	1,55	1,59	1,51	1,46
Informação e comunicação	2,11	2,16	2,05	1,99
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	2,30	2,33	2,28	2,26
Atividades imobiliárias	0,72	0,65	0,79	0,85
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	2,67	2,67	2,66	2,66
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,98	0,97	0,99	1,01
Educação e saúde privadas	0,94	0,92	0,96	0,97
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	1,76	1,84	1,69	1,62
Serviços domésticos	0,10	0,00	0,19	0,29
TOTAL	45,21	45,41	45,02	44,82
Índice de Concentração Setorial (D_i)	0,27	0,29	0,26	0,24
Retorno Agregado do Investimento (para cada R\$ investido)	1,41	1,41	1,40	1,40

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Embora a interpretação de todos os vetores presentes no universo completo de cenários seja complexa, dada a ampla diversidade de arranjos setoriais para a demanda final, os pesos correspondentes à distribuição do montante nos cenários combinados (Tabela 4) estão disponíveis no Apêndice (E).

Diante do exposto, verifica-se que, por meio de arranjos combinados, embora os produtos se concentrem em valores centrais da distribuição e não haja grandes diferenças em termos de VBP, o retorno dos produtos setoriais é mais equilibrado e distribuído, como evidenciado pelo baixo índice de concentração setorial presente nessas estratégias.

Em síntese, embora este estudo apresente uma metodologia inédita de simulação de rearranjos da demanda final, ainda que carente de literatura especializada, seus achados corroboram com evidências consolidadas sobre a economia brasileira. Os resultados de Morrone (2021) identificaram a erosão das conexões intersetoriais entre 2005-2014, comprometendo o crescimento; e de Marcato e Ultremare (2015), que alertam para os riscos do desadensamento produtivo. Corroborando para que alocações concentradas tendem a amplificar vulnerabilidades estruturais, enquanto distribuições diversificadas reduzem o risco e ineficiências setoriais.

Nesse contexto, a diversificação dos estímulos setoriais assume importante relevância para o Ceará, podendo ser expandida para o Nordeste, cuja estrutura produtiva apresenta fragilidades reconhecidas por (HADDAD *et al.*, 2017). A adoção de novos arranjos setoriais para a demanda final pode contribuir para mitigar riscos decorrentes de choques setoriais e fomentar o fortalecimento das ligações produtivas no estado, oferecendo subsídios para formulação de políticas públicas.

5 COMENTÁRIOS FINAIS

Este estudo associa o modelo Insumo-Produto com técnicas de reorganização vetorial com o objetivo de simular os impactos econômicos de diferentes arranjos vetoriais da demanda final. Embora preliminar, a abordagem proposta mostrou-se capaz de identificar cenários eficientes, em termos de produto, e equilibrados quanto à distribuição setorial, oferecendo subsídios para decisões de política pública no contexto do estado do Ceará.

Por meio da Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará (MIPR/CE), ano-base 2013, foram simulados 12.433 cenários de variação setorial da demanda final, sendo 1.036 determinísticos e 11.397 combinados. Os resultados sugerem que a distribuição do montante de estímulo à demanda final pode ser eficazmente modelada por meio de diferentes arranjos vetoriais.

Embora o cenário concentrado no setor com maior efeito multiplicador de produção apresente o maior Valor Bruto da Produção (VBP) ($X_{s_1} = 53,89$), isso resulta em alta concentração setorial ($D_1^+ = 0,89$), expondo a economia a riscos e níveis subótimos de utilidade. Por outro lado, os cenários combinados, ao diversificarem os estímulos entre diferentes setores, conseguiram reduzir significativamente a concentração do produto, sem impactar os níveis médios da produção agregada.

Dentre os cenários determinísticos de alocação, destaca-se o de “*internalização da externalidade para frente*” (s_4), que resultou em um VBP agregado de $X_{s_4} = 45,42$, com um retorno de R\$ 1,42 por real investido e uma distribuição setorial bastante equilibrada ($D_4 = 0,28$). Esses resultados evidenciam a relevância de setores da economia cearense como ofertantes no sistema produtivo.

Em particular, a função de utilidade selecionou o cenário combinado s_{1421} , que se destaca por simultaneamente conciliar um VBP de R\$ 45,21 com um índice reduzido de concentração ($D_{1421} = 0,27$), garantindo uma distribuição equilibrada dos recursos. Tais resultados reforçam a importância de rearranjos diversificados em contextos regionais como o Nordeste brasileiro, cuja estrutura produtiva apresenta vulnerabilidades reconhecidas pela literatura (HADDAD *et al.*, 2017).

Portanto, diante dos milhares de arranjos vetoriais, observou-se que cenários combinados reduzem riscos agregados, evidenciados por índices de concentração mais baixos (Figura 5). Contudo, considerando o intervalo predominante do VBP (R\$ 42,00–45,00) e concentração moderada (D_i entre 0,2 e 0,5), o desafio permanece na definição da função de utilidade para estabelecer o ranqueamento de cenários que equilibram eficiência produtiva e equidade setorial.

5.1 Limitações

Apesar dos avanços metodológicos e do cumprimento dos objetivos propostos, é importante ressaltar algumas limitações. O uso da MIPR/CE com ano-base 2013 restringe a interpretação dos resultados, pois não contempla mudanças estruturais recentes na economia cearense. Além disso, assumiu-se que toda a variação da demanda final decorre exclusivamente do conjunto de políticas de estímulo à demanda final, desconsiderando a interação de outros componentes como consumo privado e exportações, o que limita a generalização para contextos mais complexos.

A função de utilidade adotada, embora coerente com os objetivos do estudo, permaneceu em caráter ilustrativo, o que restringe seu uso como instrumento de ordenação. Ademais, a ausência de outras MIPs para o Ceará impôs uma abordagem estática, inviabilizando análises intertemporais ou dinâmicas.

Por fim, reconhece-se a escassez de literatura aplicada com foco específico em simulações baseadas em matrizes Insumo-Produto para o estado do Ceará, o que dificulta paralelos diretos com resultados anteriores e limita a capacidade de validação externa dos resultados aqui obtidos.

5.2 Direções para Pesquisas Futuras

Com base nas limitações destacadas, sugerem-se algumas direções para pesquisas futuras. Primeiramente, é fundamental dispor de matrizes Insumo-Produto regionais atualizadas, permitindo simulações mais aderentes à realidade econômica atual do Ceará.

Do ponto de vista metodológico, para aumentar o realismo do exercício, recomenda-se estudar como a interação de outros componentes da demanda, como consumo privado, exportações e investimentos privados, afeta os resultados. Além disso, o refinamento e a estimação empírica das funções de utilidade poderiam fornecer parâmetros mais realistas para o ranqueamento dos vetores, auxiliando a tomada de decisão.

Finalmente, destaca-se o potencial da integração da modelagem de cenários com modelos de equilíbrio geral computável (EGC), como o modelo *MARES*, também estimado para o Ceará, bem como a realização de análises estocásticas e multi-períodos. Tais avanços poderiam ampliar significativamente a robustez e a aplicabilidade das simulações, fornecendo subsídios ainda mais eficazes para a formulação de políticas regionais.

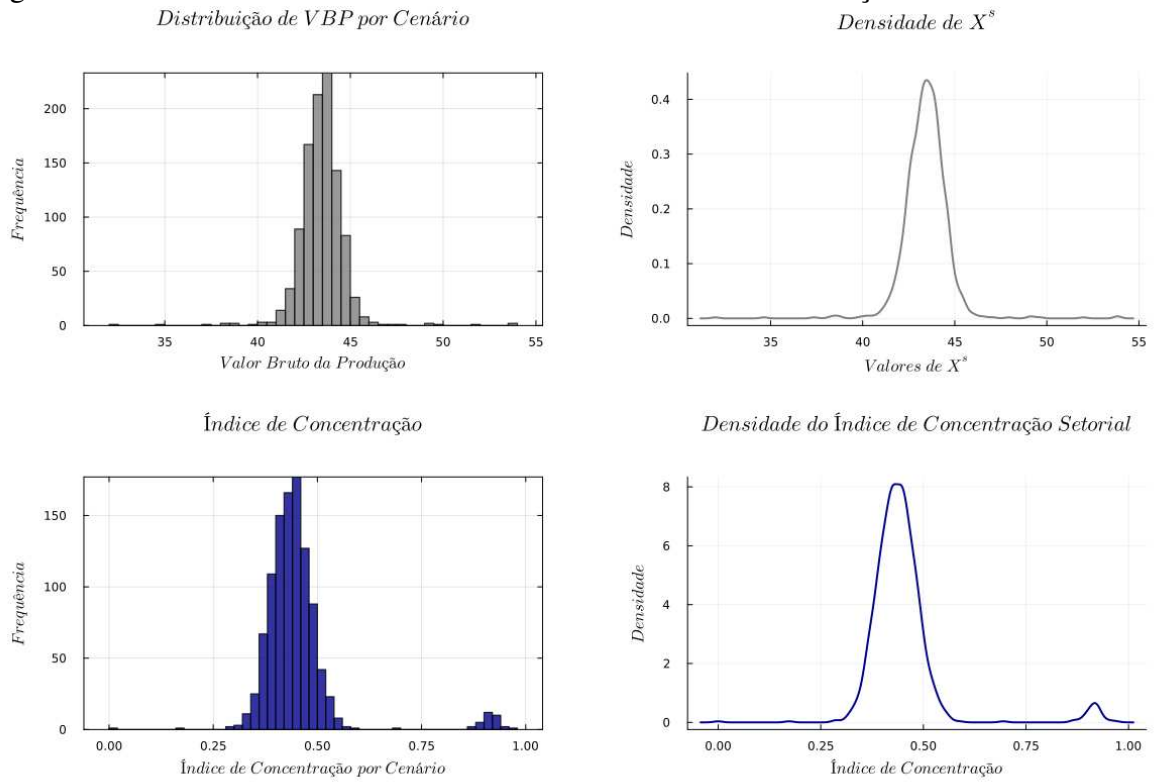
REFERÊNCIAS

- BISHOP, C. M. **Pattern Recognition and Machine Learning**. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2006. Printed in Singapore. ISBN 978-0-387-31073-2.
- CAI, M. Greenhouse gas emissions from tourist activities in South Tyrol: A multiregional input–output approach. **Tourism Economics**, v. 22, n. 6, p. 1301–1314, 2016.
- CARVALHO, R. G.; JÚNIOR, A. J. d. A. T.; COSTA, E. de F. Caracterização e impacto econômico do turista português em Pernambuco: uma análise descritiva e de insumo-produto. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 8, n. 1, 2010.
- Casemiro Filho, F.; GUILHOTO, J. Matriz de insumo-produto para a economia turística brasileira: construção e análise das relações intersetoriais. **Análise Econômica**, v. 21, Out, 2003.
- CEARÁ. Secretaria do Planejamento e Gestão. **Seplag realiza reunião com Grupo Técnico de Gestão do Investimento Público sobre Metodologia GIP**. 2024. Disponível em: <https://www.seplag.ce.gov.br/2024/02/14/seplag-realiza-reuniao-com-grupo-tecnico-de-gestao-do-investimento-publico-sobre-metodologia-gip/>. Acesso em: 2 out. 2024.
- GONÇALVES, R. R.; MAGALHÃES, J. P. R.; OLIVEIRA, C. R. de. Estrutura econômica da região costeira nordestina: uma abordagem do tipo insumo-produto. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 54, n. 4, p. 153–172, 2023.
- Gonçalves Junior, C. A.; DUTRA, R. d. L.; LOPES, R. L.; RODRIGUES, R. L. O impacto do Programa Minha Casa, Minha Vida na economia brasileira: uma análise de insumo-produto. **Ambiente Construído**, FapUNIFESP (SciELO), v. 14, n. 1, p. 177–189, mar. 2014.
- GUILHOTO, J. J. M. Input-Output analysis: theory and foundations. **Munich Personal RePEc Archive**, v. 72, 2011.
- GUILHOTO, J. J. M.; Sessa Filho, U. A. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005. **Revista Economia & Tecnologia**, Universidade Federal do Paraná, v. 6, n. 4, dez. 2010.
- HADDAD, E. A.; JÚNIOR, C. A. G.; NASCIMENTO, T. O. Matriz interestadual de insumo-produto para o Brasil: uma aplicação do método IIOAS. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 11, n. 4, p. 424–446, 2017.
- HADDAD, E. A.; LUQUE, C. A.; LIMA, G. T.; SAKURAI, S. N.; COSTA, S. M. Impact assessment of interregional government transfers in Brazil: an input output approach. **Texto para Discussão**, v. 9, 2011.
- KRONENBERG, K.; FUCHS, M.; LEXHAGEN, M. A multi-period perspective on tourism's economic contribution – a regional Input-Output analysis for Sweden. **Tourism Review**, v. 73, 01 2018.
- LEE, L.-C.; WANG, Y.; ZHANG, L.; PING, L.; ZUO, J.; ZHANG, H. Impact of COVID-19 on the economic loss and resource conservation of China's tourism industry from the supply chain perspective. **Cities**, v. 144, 2024.

- LEONTIEF, W. **Input-Output Economics**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1986.
- LEONTIEF, W. W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. **The Review of Economic Statistics**, JSTOR, p. 105–125, 1936.
- LIN, J. **On the Dirichlet Distribution**. Dissertação (Master of Science Thesis) – Queen’s University, 2016.
- LUZ, A.; FOCHEZATTO, A. O transbordamento do PIB do Agronegócio do Brasil: uma análise da importância setorial via Matrizes de Insumo-Produto. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, 01 2023.
- MARCATO, M.; ULTREMARE, F. O sequestro da produção doméstica no Brasil: uma análise insumo-produto do vazamento de demanda. **Revista de Economia**, v. 41, 05 2015.
- MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input–Output Analysis: Foundations and Extensions**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- MORRONE, H. Qualitative Input-Output Analysis Of The Brazilian Structural Transformation, 2005 - 2014. **Revista de Economia Contemporânea**, Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. 25, 2021.
- PAIVA, W. d. L.; TROMPIERI-NETO, N. **TABELA DE RECURSOS E USOS E MATRIZ INSUMO-PRODUTO REGIONAIS PARA ECONOMIA CEARENSE**. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2020. (Nota Técnica, n. 70).
- ROCHA, A.; SILVEIRA, D.; PEROBELLI, F. S.; VASCONCELOS, S. Modelling the Location Choice: Evidence from an Evolutionary Game Based on Regional Input–Output Analysis. **Regional Studies**, v. 53, n. 12, p. 1–13, 2019.
- SANT’ANNA, A. A.; YOUNG, C. E. Anais do XXXV Encontro Nacional de Economia, **The Use Of Input-Output Analysis To Simulate Effects Of Income Redistribution On Economic Growth**. 2007.
- SESSA, C.; CASOTTO, M. Economia do Insumo-Produto: uma análise de impacto dos investimentos anunciados para o Espírito Santo entre 2011-2016. **Revista Economia Ensaios**, EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia, v. 32, n. 2, 2018.
- SILVEIRA, D.; SILVA, I.; VASCONCELOS, S.; PEROBELLI, F. The brexit game: uncertainty and location decision. **Papers in Regional Science**, v. 99, n. 6, p. 1515–1539, 2020. ISSN 1056-8190.
- TINTNER, G. Game theory, linear programming and Input-Output analysis. **Zeitschrift für Nationalökonomie**, Springer, v. 17, n. 1, p. 1–38, 1957.
- TOMARCHIO, S. D.; PUNZO, A.; FERREIRA, J. T.; BEKKER, A. A New Look at the Dirichlet Distribution: Robustness, Clustering, and Both Together. **Journal of Classification**, Springer Science and Business Media LLC, jul, 2024.

APÊNDICE A – CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS

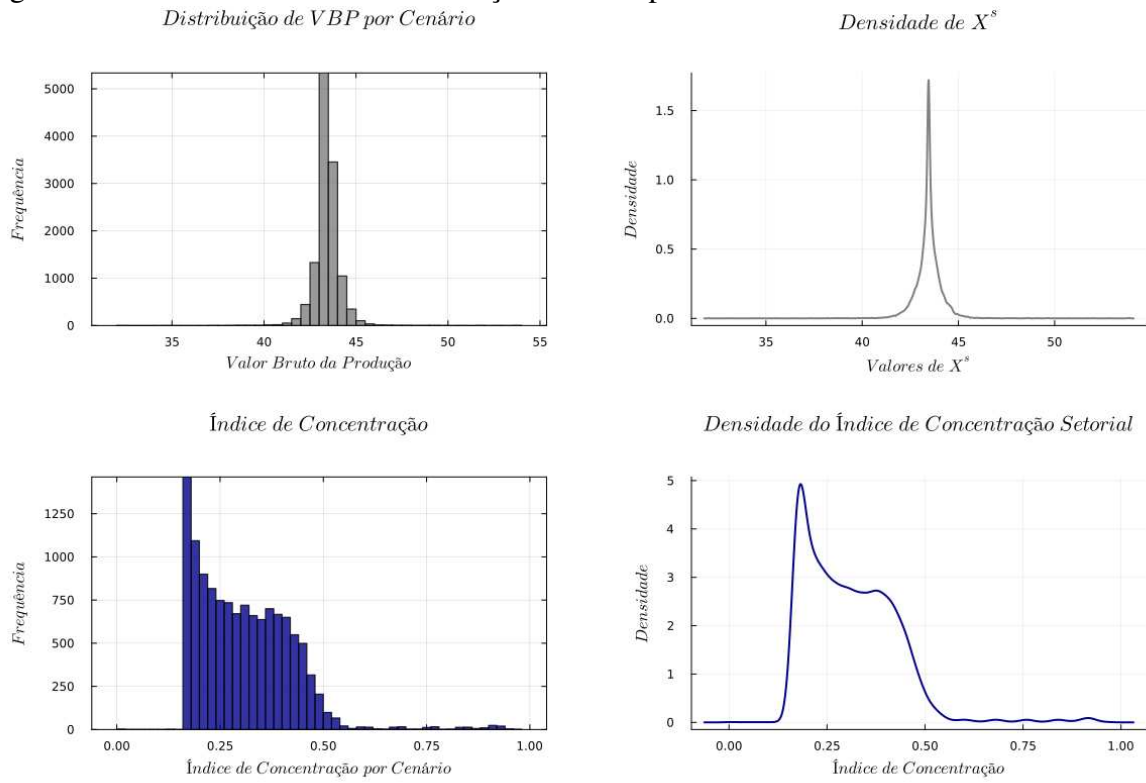
Figura 7 – VBPs de Cenários Determinísticos e Índice de Concentração Setorial



Fonte: Elaboração própria (2025).

APÊNDICE B – UNIVERSO DE CENÁRIOS

Figura 8 – VBPs e Índice de Concentração Setorial para todos os cenários



Fonte: Elaboração própria (2025).

APÊNDICE C – UTILIDADES

Quadro 1 – Funções de utilidade

Utilidade	Equação	Descrição
$U_1(X, D)$	$\left(\frac{X}{X_{\text{máximo}}}\right)^{\alpha} (1 - D)^{1-\alpha}$	Cobb-Douglas (Multiplicativa)
$U_2(X, D)$	$\alpha \left(\frac{X}{X_{\text{máximo}}}\right) - (1 - \alpha)D$	Linear ponderada
$U_3(X, D)$	$\alpha \left(\frac{X}{X_{\text{máximo}}}\right) - \lambda D^2$	Quadrática penalizada
$U_4(X, D)$	$\log \left(1 + \frac{X}{X_{\text{máximo}}}\right) - \beta D$	Logarítmica
$U_5(X, D)$	$\left(\frac{X}{X_{\text{máximo}}}\right)^{\alpha} \left(\frac{1}{1+D}\right)^{1-\alpha}$	Cobb-Douglas

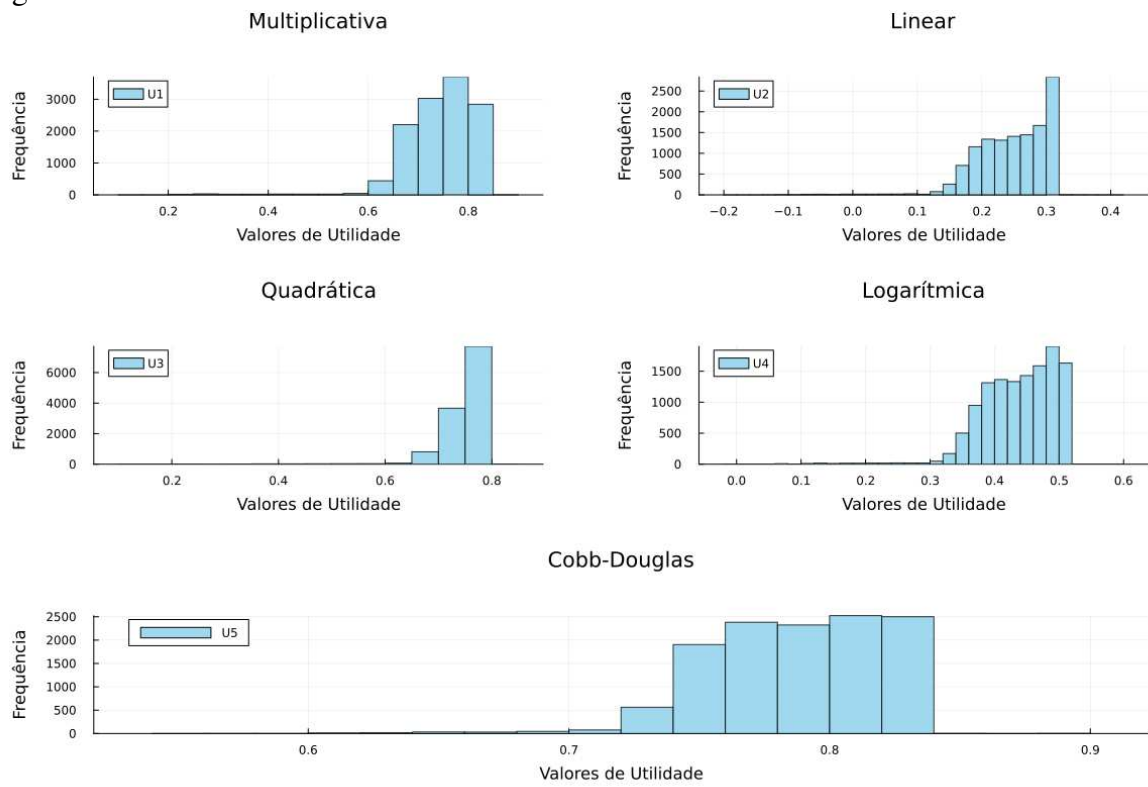
Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 5 – Utilidades

Estratégia	Tipo	Utilidades (U(X,D))			
		Linear	Cobb-Douglas	Multiplicativa	Logarítmica
s_{1410}	Cenário Combinado	0.391683	0.88716414	0.887030554	0.579509
s_{1409}	Cenário Combinado	0.383323	0.880038711	0.879509346	0.5711835
s_{1408}	Cenário Combinado	0.374977	0.873103598	0.871923263	0.5628709
s_{1407}	Cenário Combinado	0.366644	0.866350676	0.864270595	0.5545714
s_{1406}	Cenário Combinado	0.358325	0.859772296	0.85654956	0.5462849

Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 9 – Utilidades Simuladas



Fonte: Elaboração própria (2025).

APÊNDICE D – DIRECIONAMENTO TOTAL DE RECURSOS

Tabela 6 – Cenário Determinístico: Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial

Sectores	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s14	s15	s16	s17
Agropecuária	33,270	0,007	5,182	0,287	0,038	0,318	1,219	0,018	0,010	0,048	0,223	0,035	0,005	0,006	0,004	0,006	0,007
Indústrias extrativas	0,053	32,136	0,144	0,071	0,323	9,167	0,585	0,048	0,061	0,061	1,541	0,594	0,199	0,032	0,020	0,047	0,030
Fabricação de produtos alimentícios	0,867	0,008	34,134	0,681	0,020	0,103	0,107	0,043	0,011	0,006	0,006	0,007	0,004	0,007	0,005	0,008	0,004
Fabricação de bebidas	0,001	0,003	0,017	33,563	0,002	0,003	0,002	0,003	0,007	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,005	0,026	0,015	0,010	33,904	0,014	0,013	0,009	0,017	0,028	0,015	0,013	0,026	0,008	0,005	0,022	0,165
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,027	0,042	0,138	0,227	0,105	33,756	0,056	0,065	0,107	0,102	0,137	0,048	0,074	0,136	0,036	0,062	0,129
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	0,003	0,019	0,008	0,008	0,004	0,006	32,115	0,032	0,040	0,004	0,015	0,011	0,004	0,004	0,002	0,003	0,002
Fabricação de produtos químicos	0,349	0,045	0,092	0,032	0,130	0,583	0,063	34,080	0,108	0,408	0,224	0,079	0,153	0,081	0,015	0,052	0,163
Fab. de produtos farmacêuticos e farmacêuticos	0,025	0,005	0,009	0,001	0,000	0,001	0,003	0,007	32,416	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,022	0,033	0,149	0,253	0,048	0,161	0,030	0,078	0,043	32,864	0,146	0,036	0,040	0,128	0,074	0,178	0,231
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,068	0,031	0,088	0,387	0,006	0,030	0,016	0,058	0,020	0,059	33,567	0,070	0,028	0,037	0,030	0,084	0,158
Metalurgia	0,014	0,075	0,029	0,019	0,003	0,072	0,024	0,012	0,004	0,057	0,093	33,888	1,435	0,615	0,482	0,364	0,400
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,022	0,046	0,076	0,314	0,013	0,032	0,022	0,049	0,016	0,010	0,020	0,171	32,467	0,132	0,192	0,114	0,165
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,008	0,014	0,018	0,023	0,012	0,022	0,018	0,014	0,021	0,008	0,017	0,019	0,006	32,549	0,082	0,030	0,018
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,000	0,056	0,001	0,001	0,001	0,003	0,016	0,001	0,001	0,002	0,004	0,003	0,002	0,009	32,233	0,011	0,000
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,003	0,012	0,010	0,010	0,006	0,006	0,011	0,008	0,010	0,003	0,006	0,009	0,003	0,007	0,005	32,779	0,003
Outras atividades industriais	0,001	0,002	0,002	0,003	0,011	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002	0,003	0,004	32,047
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equip	0,009	0,082	0,112	0,091	0,132	0,190	0,068	0,049	0,061	0,052	0,202	0,250	0,061	0,079	0,088	0,053	0,050
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e	0,312	0,425	0,637	0,963	0,708	0,965	0,333	0,690	0,465	0,899	1,902	4,024	0,518	0,382	0,298	0,575	0,348
Construção	0,018	0,245	0,042	0,055	0,031	0,040	0,115	0,041	0,037	0,026	0,062	0,167	0,035	0,049	0,031	0,064	0,023
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	1,270	1,510	3,190	4,621	1,949	2,174	2,761	2,586	3,963	2,891	2,357	1,815	0,963	3,300	2,571	6,722	1,894
Transporte, armazenagem e correio	0,299	5,701	1,733	1,588	1,102	1,126	3,711	1,983	1,472	0,632	1,345	2,432	0,801	1,471	0,732	0,933	0,626
Serviços de alojamento	0,003	0,022	0,030	0,022	0,016	0,021	0,015	0,022	0,048	0,017	0,022	0,034	0,026	0,033	0,029	0,017	0,025
Serviços de alimentação	0,008	0,047	0,037	0,033	0,025	0,034	0,034	0,038	0,114	0,018	0,028	0,050	0,023	0,030	0,027	0,038	0,016
Informação e comunicação	0,048	0,216	0,296	0,309	0,232	0,283	0,239	0,189	0,284	0,146	0,242	0,219	0,133	0,285	0,143	0,262	0,195
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,354	0,869	1,276	1,118	0,936	1,094	0,923	0,900	0,784	0,630	1,099	1,410	0,595	0,860	0,605	0,661	0,640
Atividades imobiliárias	0,055	0,196	0,264	0,307	0,302	0,266	0,219	0,175	0,249	0,214	0,294	0,233	0,113	0,284	0,209	0,287	0,165
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços	0,216	1,844	1,683	2,494	1,081	1,065	2,421	1,010	1,733	0,697	1,500	1,190	0,592	1,469	0,760	1,141	0,600
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,019	0,107	0,126	0,270	0,099	0,079	0,089	0,090	0,197	0,061	0,092	0,104	0,041	0,133	0,058	0,080	0,052
Educação e saúde privadas	0,004	0,040	0,021	0,022	0,014	0,024	0,027	0,018	0,016	0,010	0,018	0,085	0,026	0,016	0,014	0,020	0,009
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,022	0,085	0,059	0,075	0,066	0,086	0,061	0,040	0,061	0,048	0,073	0,071	0,069	0,126	0,046	0,045	0,059
Serviços domésticos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	37,37	43,95	49,62	47,94	41,07	42,88	53,89	42,89	42,37	39,80	45,05	47,08	38,44	42,27	38,78	44,67	38,23
Índice de Concentração Setorial [DI]	0,942	0,918	0,899	0,888	0,925	0,905	0,894	0,921	0,919	0,928	0,900	0,903	0,926	0,913	0,928	0,917	0,918
Retorno agregado do investimento [para ca da R\$ investido]	1,17	1,37	1,55	1,50	1,28	1,34	1,68	1,34	1,32	1,24	1,41	1,47	1,20	1,32	1,21	1,40	1,19

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Tabela 7 – Cenário Determinístico: Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial

Sectores	s18	s19	s20	s21	s22	s23	s24	s25	s26	s27	s28	s29	s30	s31	s32
Agropecuária	0,003	0,009	0,075	0,017	0,010	0,716	0,974	0,017	0,030	0,002	0,013	0,151	0,073	0,167	0,000
Indústrias extrativas	0,010	0,543	0,330	0,015	0,023	0,050	0,028	0,020	0,014	0,018	0,024	0,023	0,012	0,026	0,000
Fabricação de produtos alimentícios	0,004	0,006	0,006	0,029	0,011	0,394	1,365	0,015	0,045	0,002	0,010	0,167	0,094	0,307	0,000
Fabricação de bebidas	0,002	0,003	0,001	0,003	0,006	0,330	1,835	0,007	0,036	0,001	0,005	0,036	0,029	0,170	0,000
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,004	0,032	0,012	0,015	0,037	0,226	0,041	0,030	0,132	0,005	0,021	0,068	0,012	0,255	0,000
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,027	0,051	0,045	0,165	0,074	0,103	0,088	0,550	0,553	0,040	0,272	0,137	0,070	0,298	0,000
Refino de petróleo e coque e álcool e outros biocombustíveis	0,002	0,025	0,006	0,007	0,053	0,004	0,003	0,003	0,004	0,001	0,004	0,005	0,003	0,008	0,000
Fabricação de produtos químicos	0,064	0,058	0,236	0,023	0,024	0,069	0,022	0,046	0,025	0,037	0,111	0,023	0,026	0,051	0,000
Fab. de produtos farmacêuticos e farmacêuticos	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,000	0,002	0,041	0,218	0,053	0,000
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,049	0,021	0,092	0,020	0,079	0,013	0,035	0,008	0,010	0,002	0,011	0,012	0,014	0,020	0,000
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,026	0,153	2,098	0,012	0,010	0,188	0,076	0,024	0,017	0,067	0,037	0,054	0,018	0,041	0,000
Metalurgia	0,150	0,024	0,320	0,008	0,004	0,010	0,007	0,006	0,004	0,002	0,009	0,009	0,003	0,006	0,000
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,121	0,046	0,219	0,007	0,004	0,051	0,077	0,006	0,005	0,005	0,007	0,016	0,004	0,019	0,000
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,081	0,056	0,069	0,011	0,025	0,023	0,023	0,035	0,012	0,005	0,020	0,012	0,016	0,053	0,000
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,138	0,003	0,016	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,005	0,001	0,000	0,001	0,000
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,261	0,005	0,003	0,014	0,062	0,005	0,009	0,006	0,004	0,001	0,004	0,014	0,006	0,018	0,000
Outras atividades industriais	0,002	0,002	0,002	0,014	0,007	0,015	0,008	0,006	0,003	0,002	0,006	0,005	0,031	0,007	0,000
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equip	32,065	0,033	0,093	0,127	0,050	0,128	0,050	0,103	0,036	0,010	0,044	0,020	0,033	0,043	0,000
descontaminação	0,285	42,879	0,257	0,716	0,409	2,528	0,770	0,798	0,385	0,212	0,930	0,881	0,605	1,125	0,000
Construção	0,019	0,515	34,317	0,072	0,080	0,440	0,043	0,253	0,170	0,051	0,394	0,477	0,116	0,196	0,000
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	3,204	1,461	1,925	33,218	3,323	1,948	4,242	2,031	0,770	0,208	1,391	1,134	2,468	2,002	0,000
Transporte, armazenagem e correio	0,420	1,483	0,536	1,396	34,333	0,559	0,503	0,609	1,686	0,080	0,490	0,594	0,855	3,883	0,000
Serviços de alojamento	0,010	0,012	0,026	0,027	0,020	33,016	0,011	0,051	0,105	0,004	0,021	0,053	0,042	1,047	0,000
Serviços de alimentação	0,022	0,039	0,017	0,038	0,089	0,280	32,019	0,108	0,459	0,014	0,078	0,543	0,349	2,750	0,000
Informação e comunicação	0,110	0,275	0,153	0,546	0,450	0,639	0,295	39,808	2,069	0,320	1,481	0,552	0,464	0,670	0,000
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,539	1,188	0,772	1,301	1,351	1,473	0,784	1,849	37,718	0,644	1,013	1,065	0,617	0,836	0,000
Atividades imobiliárias	0,352	0,139	1,136	1,140	0,559	1,329	0,711	0,724	0,421	32,159	0,545	0,140	0,510	0,560	0,000
complementares	0,579	2,526	1,325	2,333	3,114	2,714	1,174	5,707	3,508	0,662	34,363	1,632	1,413	2,174	0,000
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,034	0,330	0,096	0,210	0,187	0,205	0,100	0,459	0,229	0,064	0,185	32,068	0,113	0,159	0,000
Educação e saúde privadas	0,009	0,026	0,013	0,029	0,071	0,024	0,012	0,041	0,295	0,008	0,131	0,086	32,705	0,065	0,000
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,013	0,045	0,023	0,057	0,084	0,142	0,041	0,472	0,302	0,015	0,072	0,088	0,247	32,204	0,000
Serviços domésticos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	32,000
Total	38,61	51,99	43,22	41,57	44,55	46,63	45,34	53,80	49,05	34,64	41,70	40,11	41,17	49,21	32,00
Índice de Concentração Setorial (DI)	0,930	0,926	0,912	0,922	0,922	0,868	0,892	0,913	0,911	0,952	0,921	0,906	0,911	0,867	0,969
Retorno agregado do investimento (para cada R\$ investido)	1,21	1,62	1,35	1,30	1,39	1,46	1,42	1,68	1,53	1,08	1,30	1,25	1,29	1,54	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

APÊNDICE E – PESO SETORIAL CENÁRIO COMBINADO

Tabela 8 – Valor Bruto da Produção e Concentração Setorial - Cenário Combinado

Setor	S ₁₄₂₁	S ₁₄₂₂	S ₁₄₂₀	S ₁₄₁₉
Agropecuária	0,015	0,013	0,017	0,019
Indústrias extrativas	0,037	0,038	0,036	0,035
Fabricação de produtos alimentícios	0,048	0,049	0,046	0,044
Fabricação de bebidas	0,044	0,046	0,043	0,041
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,024	0,023	0,024	0,025
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,029	0,029	0,030	0,030
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	0,065	0,069	0,062	0,058
Fabricação de produtos químicos	0,028	0,028	0,029	0,029
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,032	0,032	0,032	0,032
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,024	0,023	0,025	0,026
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,036	0,037	0,036	0,035
Metalurgia	0,041	0,042	0,040	0,039
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,020	0,019	0,022	0,023
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,031	0,031	0,031	0,031
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,022	0,021	0,023	0,024
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,037	0,038	0,036	0,036
Outras atividades industriais	0,021	0,020	0,022	0,023
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,022	0,021	0,023	0,024
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0,029	0,029	0,029	0,029
Construção	0,029	0,028	0,029	0,029
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	0,027	0,027	0,027	0,028
Transporte, armazenagem e correio	0,032	0,032	0,032	0,032
Serviços de alojamento	0,045	0,046	0,044	0,042
Serviços de alimentação	0,041	0,042	0,040	0,039
Informação e comunicação	0,043	0,044	0,042	0,040
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,036	0,036	0,035	0,035
Atividades imobiliárias	0,010	0,008	0,012	0,015
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	0,024	0,023	0,025	0,026
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,026	0,026	0,027	0,027
Educação e saúde privadas	0,027	0,027	0,028	0,029
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,052	0,054	0,050	0,047
Serviços domésticos	0,003	0,000	0,006	0,009
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00
Desvio Padrão	0,012	0,014	0,011	0,010
Média dos Desvios	0,012			

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

ANEXO A – SETORES MIPR/CE

Quadro 2 – Descrição das atividades por setor

Setores	Descrição da Atividade
A1	Agropecuária
A2	Indústrias extrativas
A3	Fabricação de produtos alimentícios
A4	Fabricação de bebidas
A5	Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro
A6	Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações
A7	Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis
A8	Fabricação de produtos químicos
A9	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos
A10	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico
A11	Fabricação de produtos de minerais não metálicos
A12	Metalurgia
A13	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos
A14	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos
A15	Fabricação de máquinas e equipamentos
A16	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte
A17	Outras atividades industriais
A18	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
A19	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação
A20	Construção
A21	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
A22	Transporte, armazenagem e correio
A23	Serviços de alojamento
A24	Serviços de alimentação
A25	Informação e comunicação
A26	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados
A27	Atividades imobiliárias
A28	Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares
A29	Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social
A30	Educação e saúde privadas
A31	Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços
A32	Serviços domésticos

Fonte: Elaboração própria (2025) com base em Paiva e Trompieri-Neto (2020).