

EFICIÊNCIA RELATIVA DOS SETORES ECONÔMICOS DO ESPÍRITO SANTO: UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA MATRIZ DE INSUMO-PRODUTO

Michelle Moutinho Venâncio¹,
César Malaguti Andrade Soares²,
Adriano Provezano Gomes³e
Celso Bissoli Sessa⁴

Resumo: Este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência alocativa da Economia do Espírito (ES) a partir da Matriz de Insumo-Produto calculada para 2015. Portanto, optou-se pelo método da Análise Envoltória de Dados (DEA), visto que é mais adequada para este tipo de estudo, permitindo identificar os setores mais eficientes na utilização dos insumos produtivos. Encontra-se evidências de que a maior parte dos setores analisados operam com ineficiência técnica e retornos crescentes de escala. Em termos comparativos, o setor de Agricultura e Pecuária apresenta a máxima eficiência técnica pura na economia.

Palavras-chave: Matriz de Insumo-Produto; Análise Envoltória de Dados; Eficiência Alocativa.

Classificação JEL: C00

Sessão Temática: Métodos Matemáticos

Abstract: This paper aims to analyze the allocative efficiency of the Economy of Espírito Santo (ES) from the Input-Output Matrix calculated for 2015. Therefore, the Data Envelopment Analysis (DEA) method was chosen, since it is more adequate for this type of study, allowing to identify the most efficient sectors in the use of productive inputs. There is evidence that most of the sectors analyzed operate with technical inefficiency and increasing returns to scale. In comparative terms, the Agriculture and Livestock sector presents the maximum pure technical efficiency in the economy.

Keywords: Input-Output Matrix; Data Envelopment Analysis; Allocative Efficiency.

JEL Code: C00

Thematic Session: Mathematical and Quantitative Methods: General

¹ e ² Doutorando(a) em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Espírito Santo (PPGEco/UFES), ³ Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal de Viçosa e ⁴ Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal do Espírito Santo.

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo possui uma economia diversificada e dinâmica, desempenhando um papel significativo na economia brasileira. A economia capixaba é marcada por atividades como a indústria extrativa de petróleo e gás natural, a indústria siderúrgica, a produção de celulose, a agropecuária, o setor de serviços e o comércio. A atividade industrial, em particular, desempenha um papel crucial na economia do estado, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) regional e gerando emprego e renda.

O setor petrolífero e a indústria siderúrgica são dois dos principais pilares da economia capixaba. O Espírito Santo é um dos principais produtores de petróleo do Brasil, e a exploração e produção de petróleo e gás natural contribuem de forma expressiva para a economia estadual. Além disso, a presença de grandes usinas siderúrgicas impulsiona a produção de aço e a metalurgia no estado. Essas atividades têm impacto significativo na geração de empregos, investimentos e exportações, tornando o Espírito Santo um importante polo industrial do país.

Outro segmento relevante é o setor agropecuário, que inclui a produção de café, cana-de-açúcar, frutas, avicultura, pecuária e a pesca. A agricultura e a pecuária são atividades tradicionais no estado e desempenham um papel importante na geração de receitas e empregos nas áreas rurais. Além disso, o estado é conhecido por sua produção de café de alta qualidade, contribuindo para o setor agrícola brasileiro.

O setor de serviços também possui um papel relevante na economia capixaba, abrangendo atividades como o turismo, comércio, transporte, educação e saúde. A capital, Vitória, é um importante centro financeiro e comercial da região, atraindo investimentos e impulsionando o setor de serviços. Ademais, o estado possui uma localização estratégica, com portos e infraestrutura de transporte bem desenvolvidos, o que facilita a integração com outros estados e países, aumentando o fluxo de comércio e investimentos. Em conjunto, esses setores econômicos contribuem para a dinamicidade e diversidade da economia do Estado do Espírito Santo.

Nesse contexto, a teoria econômica oferece uma variedade de modelos para compreender as transformações econômicas. A teoria neoclássica de crescimento destaca as melhorias de produtividade resultantes de avanços tecnológicos e organizacionais, enquanto a Nova Teoria do Crescimento e a Teoria do Capital e Investimento, inseridas no paradigma neoclássico, enfatizam os investimentos em capital humano, conhecimento e capital fixo como impulsionadores do crescimento econômico. Essas abordagens teóricas fornecem insights importantes sobre os determinantes do crescimento econômico, contribuindo para a compreensão dos fatores que impulsionam o desenvolvimento das economias, incluindo a economia do Estado do Espírito Santo. Ao combinar essas perspectivas teóricas com as características específicas da economia capixaba, é possível analisar os fatores que influenciam o desempenho econômico do estado, bem como identificar oportunidades de melhoria e desenvolvimento em setores estratégicos.

O processo de crescimento econômico, proveniente de várias fontes, enfrenta um desafio fundamental: a escassez de recursos exige a seleção das melhores combinações de insumos para atingir os objetivos desejados. O conceito de custo de oportunidade é fundamental na escolha de diferentes processos produtivos, pois envolve a renúncia dos benefícios alternativos ao investir em uma determinada atividade. Por exemplo, ao investir na produção de celulose, há um custo de oportunidade representado pela perda dos benefícios que poderiam ser obtidos ao investir na produção de petróleo. Além da eficiência alocativa, que engloba a eficiência técnica e de escala, a eficiência distributiva também deve ser considerada sob uma perspectiva social.

Este trabalho tem como objetivo responder à seguinte questão: quais setores da economia apresentam a melhor combinação no uso eficiente dos recursos escassos disponíveis na sociedade, visando à acumulação de capital de maneira eficiente do ponto de vista social? Em outras palavras, se fosse disponibilizada uma quantia de um milhão de reais para investimento, considerando a eficiência no uso dos recursos escassos da sociedade, quais setores seriam os mais beneficiados?

A região de estudo deste trabalho é a economia do Espírito Santo. Para atingir esse objetivo, são considerados os fluxos de Valor Bruto de Produção setorial como benefícios, enquanto os fluxos de insumos variáveis utilizados nos processos produtivos são considerados custos. A metodologia utilizada é a Análise Envoltória de Dados (DEA), que avalia a eficiência

técnica e de escala como critérios de análise. Essa abordagem permite identificar os setores que estão utilizando os recursos de forma mais eficiente e que têm maior potencial para a acumulação de capital de maneira sustentável.

2. METODOLOGIA E FONTE DE DADOS

Os autores Charnes, Cooper e Rhodes (1978) pioneiramente introduziram a abordagem não-paramétrica conhecida como Data Envelopment Analysis (DEA) para analisar a eficiência relativa de empresas que operam com múltiplos insumos e produtos. Nesta análise, as empresas são tratadas como Unidades de Tomada de Decisão (DMUs), permitindo medir sua eficiência relativa na tomada de decisões. A DMU é conceituada como um sistema produtivo que converte insumos em produtos, podendo representar diversas formas de unidades comparáveis, como empresas do mesmo setor, o Produto Interno Bruto (PIB) de regiões ou países e setores da economia. O objetivo deste estudo é comparar setores com tecnologias distintas e não homogêneas, considerando a homogeneidade dos fluxos monetários. Em suma, o modelo DEA possibilita identificar os setores que demonstram maior eficiência no uso dos recursos disponíveis na sociedade.

2.1. O MODELO DEA: PRESSUPOSTOS DE PARTIDA

A técnica DEA parte da suposição fundamental de que, se uma determinada Unidade de Tomada de Decisão (DMU) "A" é capaz de produzir $Y(A)$ unidades de produto, utilizando $X(A)$ unidades de insumos, então outras DMU's também seriam capazes de realizar o mesmo, desde que operem de forma eficiente. Da mesma forma, se uma DMU "B" é capaz de produzir $Y(B)$ unidades de produto, utilizando $X(B)$ unidades de insumos, então outras DMU's também poderiam realizar esse mesmo esquema de produção. No caso em que as DMU's "A" e "B" são eficientes, elas podem ser combinadas para formar uma DMU composta, que utiliza uma combinação de insumos para produzir uma combinação de produtos. Essa DMU composta, que pode não existir efetivamente, é chamada de DMU virtual. A análise DEA consiste em encontrar a melhor DMU virtual para cada DMU na amostra. Se a DMU virtual for superior à DMU original, seja por produzir mais com a mesma quantidade de insumos ou por produzir a mesma quantidade utilizando menos insumos, a DMU original é considerada ineficiente.

Neste estudo, considera-se um setor da economia do estado do Espírito Santo como uma Unidade de Tomada de Decisão (DMU). Portanto, ao identificar um setor como ineficiente em comparação com uma DMU virtual ou padrão, não estamos concluindo que esse setor não seja competitivo, mas sim que os recursos da sociedade estão sendo utilizados com maior eficiência na produção de outros setores, que apresentam uma produtividade melhor no uso dos fatores de produção. Como os recursos da sociedade são limitados, ela pode se especializar na produção de determinados produtos e obter benefícios por meio do comércio, seja em nível regional ou internacional. É importante considerar também que existem restrições de mercado e especificidades dos ativos, o que impede a conversão completa da produção de um setor para outro, aproveitando os fatores de produção liberados. No entanto, é possível afirmar que a alocação de novos fatores de produção e/ou novos investimentos pode ser mais produtiva para a sociedade em determinados setores-chave para o crescimento econômico. Além disso, é possível delinear como os novos recursos devem ser aplicados, seja na expansão de setores eficientes, seja na eliminação das ineficiências dos setores menos produtivos.

2.2.DESCRICÃO DO MODELO DEA

Suponha que haja k insumos em produtos para cada uma das n Unidades de Tomada de Decisão (DMU's). Duas matrizes são construídas: a matriz X , de dimensões $(k \times n)$, que representa os dados de insumos, e a matriz Y , de dimensões $(m \times n)$, que representa os dados de produtos. Na matriz X , cada linha representa um insumo e cada coluna representa uma DMU. Da mesma forma, na matriz Y , cada linha representa um produto e cada coluna representa uma DMU. Dessa forma, para a i -ésima DMU, são representados os vetores x_i e y_i , respectivamente, para os insumos e produtos. Para cada DMU, é possível obter uma medida de eficiência, que é a razão entre a quantidade total de produtos e a quantidade total de insumos. Portanto, para a i -ésima DMU, temos:

$$\text{Eficiência da DMU}_i = \frac{u'y_i}{v'x_i} = \frac{u_1y_{1i} + u_2y_{2i} + \dots + u_my_{mi}}{v_1x_{1i} + v_2x_{2i} + \dots + v_kx_{ki}} \quad (1)$$

Em que u é um vetor de pesos $(m \times 1)$ nos produtos e v é um vetor de pesos $(k \times 1)$ nos insumos. É importante observar que a medida de eficiência resultante será um escalar, devido às ordens dos vetores que a compõem.

A suposição inicial é que a medida de eficiência requer um conjunto comum de pesos que será aplicado a todas as Unidades de Tomada de Decisão (DMU's). No entanto, há uma dificuldade em obter um conjunto comum de pesos para determinar a eficiência relativa de cada DMU. Isso ocorre porque as DMU's podem atribuir valores diferentes aos insumos e produtos e, conseqüentemente, adotar pesos diferentes. É necessário, portanto, estabelecer um problema que permita que cada DMU possa adotar o conjunto de pesos mais favorável em termos de comparação com as outras unidades.

Para determinar os pesos ótimos para cada Unidade de Tomada de Decisão (DMU), é necessário formular um problema de programação matemática. Especificamente, para a i -ésima DMU, temos:

$$\begin{aligned} & \min_{\lambda, \theta} \theta & (2) \\ \text{s.a.} & & \\ & y_i - Y\lambda < 0; & \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0; & \\ & \lambda \geq 0 & \end{aligned}$$

em que:

y_i - vetor $(m \times 1)$ de quantidades de produto da i -ésima DMU;

x_i - vetor $(k \times 1)$ de quantidades de insumo da i -ésima DMU;

Y - matriz $(n \times m)$ de produtos das n DMUs;

X - matriz $(n \times k)$ de insumos das n DMUs;

λ - vetor $(n \times 1)$ de pesos; e

θ - escalar, cujo valor será a medida de eficiência da i -ésima DMU.

$N1$ - um vetor $(n \times 1)$ de números uns.

Essa formulação envolve encontrar valores para u e v de forma a maximizar a medida de eficiência para a i -ésima Unidade de Tomada de Decisão (DMU), sujeito à restrição de que as medidas de eficiência de todas as DMUs sejam menores ou iguais a um. Se a eficiência obtida para a DMU em teste for igual a um, ela será considerada eficiente em relação às outras DMUs. Caso contrário, será considerada ineficiente.

Caso o valor de θ seja igual a um, a Unidade de Tomada de Decisão (DMU) será considerada eficiente. Caso contrário, o valor de θ será inferior a um. O vetor λ ($n \times 1$) consiste em constantes cujos valores são calculados para obter a solução ótima. Para uma DMU eficiente, todos os valores em λ são zero. Por outro lado, para uma DMU ineficiente, os valores em λ correspondem aos pesos utilizados na combinação linear de outras DMUs eficientes que influenciam na projeção da DMU ineficiente sobre a fronteira calculada. Isso implica que, para uma DMU ineficiente, há pelo menos uma DMU eficiente cujos pesos calculados fornecerão a DMU virtual da unidade ineficiente por meio de uma combinação linear. As DMUs eficientes que, quando combinadas, resultam na DMU virtual para a unidade ineficiente são conhecidas como pares ou benchmarks dessa DMU.

O modelo, nessa forma, assume retornos constantes de escala, mas pode ser reformulado para permitir retornos variáveis para as Unidades de Tomada de Decisão (DMUs) analisadas. Essa proposta foi inicialmente apresentada por Banker, Charnes e Cooper (1984) e ficou conhecida como modelo BCC, em referência às iniciais dos nomes dos autores.

Ao utilizar a especificação de retornos constantes, pode ocorrer uma confusão entre a eficiência técnica e a eficiência de escala, especialmente quando nem todas as Unidades de Tomada de Decisão (DMUs) estão operando na escala ótima. Para evitar esse problema, é recomendado o uso da especificação de retornos variáveis, que permite calcular as eficiências técnicas de forma independente dos efeitos de escala. Dessa forma, é possível obter uma avaliação mais precisa da eficiência das DMUs, considerando sua capacidade de utilizar os recursos de maneira eficiente, independentemente da escala em que operam.

O problema de programação linear com retornos constantes pode ser modificado para incorporar a suposição de retornos variáveis, por meio da inclusão de uma restrição de convexidade. Ao considerar o modelo dual, temos:

$$\begin{aligned} & \min_{\lambda, \theta} \theta & (3) \\ \text{s.a.} & & \\ & y_i - Y\lambda \leq 0; & \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0; & \\ & N_1' \lambda \leq 1; & \\ & \lambda \geq 0 & \end{aligned}$$

em que:

y_i - vetor ($m \times 1$) de quantidades de produto da i -ésima DMU;

x_i - vetor ($k \times 1$) de quantidades de insumo da i -ésima DMU;

Y - matriz ($n \times m$) de produtos das n DMUs;

X - matriz ($n \times k$) de insumos das n DMUs;

λ - vetor ($n \times 1$) de pesos; e

θ - escalar, cujo valor será a medida de eficiência da i -ésima DMU.

N_1 - um vetor ($n \times 1$) de números uns.

O problema apresentado em (3) é resolvido n vezes, sendo uma vez para cada DMU, e, como resultado, apresenta os valores de θ e λ , sendo θ o escore de eficiência da DMU sob análise e λ fornece as DMUs eficientes que servem de referência ou benchmark para a i -ésima DMU ineficiente.

Essa abordagem resulta em uma superfície convexa formada por planos interseccionados, o que permite representar os dados de forma mais compacta em comparação com o modelo de retornos constantes. Como consequência, os valores de eficiência técnica obtidos com a suposição de retornos variáveis são maiores do que aqueles obtidos com retornos constantes.

A Figura 1 ilustra uma situação que envolve um insumo e um produto. Podem-se traçar as fronteiras eficientes calculadas pela DEA, isto é, a fronteira obtida com retornos constantes (RC), e a obtida com retornos variáveis (RV), sendo esta última descrita pela linha pontilhada.

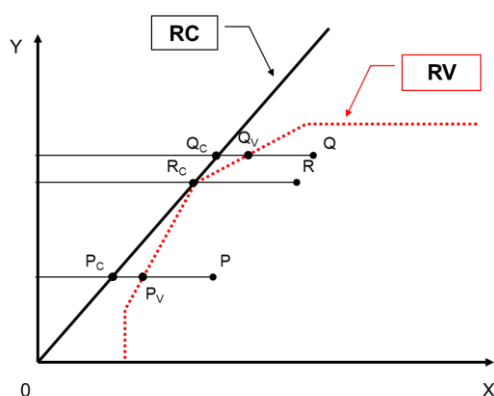
Considere o ponto P na Figura 1. Na hipótese de retornos constantes, a ineficiência técnica do ponto P é determinada pela distância PP_C , enquanto na hipótese de retornos variáveis, a ineficiência técnica é representada pela distância PP_V . A diferença entre essas duas distâncias, $P_C P_V$, indica a ineficiência de escala. As medidas de eficiência do ponto P, expressas como uma razão limitada entre zero e um, são obtidas por meio da seguinte equação:

$$\begin{aligned} ET_{I,RC} &= \frac{AP_C}{AP}, \\ ET_{I,RV} &= \frac{AP_V}{AP}, \\ EE_I &= \frac{AP_C}{AP_V} \end{aligned} \quad (4)$$

Em que o subscrito I indica modelos com orientação insumo; RC representa retornos constantes; e RV representa retornos variáveis. Como $AP_C/AP = (AP_V/AP) \times (AP_C/AP_V)$, podemos concluir que $ET_{I,RC} = ET_{I,RV} \times EE_I$, ou seja, a medida de eficiência técnica com retornos constantes à escala é composta pela eficiência técnica pura e pela eficiência de escala.

De forma alternativa, é possível formular um problema de programação que imponha a suposição de retornos não decrescentes à escala. Para isso, basta substituir a restrição $N_1\lambda \leq 1$, presente no modelo com retornos não crescentes, pela restrição $N_1\lambda \geq 1$. Dessa forma, para determinar se uma empresa ou setor está operando com retornos crescentes ou decrescentes, basta comparar o resultado obtido para a eficiência técnica no modelo com retornos variáveis (RV) com o resultado obtido no modelo com retornos não decrescentes (RND). Ou seja, se $ET_{RND} = ET_{RV} \rightarrow$ retornos crescentes; se $ET_{RND} \neq ET_{RV} \rightarrow$ retornos decrescentes.

Figura 1: Retornos Constantes e Retornos Variáveis



Fonte: Adaptado de Coelli, Rao e Battese (1998)

Uma limitação dessa medida de eficiência de escala é que ela não indica se a Unidade de Tomada de Decisão (DMU) está operando na faixa de retornos crescentes ou decrescentes à escala. Apenas sabemos que se a medida de eficiência de escala for igual a um, a firma está operando com retornos constantes à escala. No entanto, se for menor que um, pode haver retornos crescentes ou decrescentes. Para lidar com essa questão, é necessário formular outro problema de programação que imponha a suposição de retornos não crescentes ou não decrescentes. No caso de retornos não crescentes, a formulação envolve modificar a suposição de retornos variáveis no modelo DEA. Isso pode ser alcançado substituindo a restrição $N_1\lambda = 1$, presente na expressão (3), pela restrição $N_1\lambda \leq 1$.

A fronteira obtida para o modelo com retornos não crescentes (RNC) está representada na Figura 1. Ela é composta por uma faixa inicial da fronteira com retornos constantes, originada em 0, e posteriormente por uma faixa da fronteira com retornos variáveis. Para determinar a natureza de escala de uma determinada Unidade de Tomada de Decisão (DMU), basta comparar o coeficiente de eficiência técnica no modelo com retornos não crescentes com o coeficiente no modelo com retornos variáveis. Se os coeficientes forem diferentes, como é o caso do ponto P, então a DMU apresenta retornos crescentes à escala. Se os coeficientes forem iguais, como é o caso do ponto Q, ocorre uma situação de retornos decrescentes, ou seja: se $ET_{RNC} = ET_{RV} \rightarrow$ retornos decrescentes; se $ET_{RNC} \neq ET_{RV} \rightarrow$ retornos crescentes.

Após a aplicação dos modelos DEA, as Unidades de Tomada de Decisão (DMUs) podem ser classificadas em duas categorias, descritas abaixo, para descrições mais detalhadas da metodologia DEA recomenda-se a consulta de livros textos como, por exemplo, Zhu (2014), Cooper et al. (2011), Ferreira e Gomes (2020) e Coelli et al. (2005).

1. Com base na eficiência técnica pura obtida no modelo que pressupõe retornos variáveis. Nesse caso, as DMUs podem ser classificadas como tecnicamente eficientes ou ineficientes. As DMUs eficientes são aquelas que estão produzindo uma quantidade adequada em relação ao uso dos insumos, enquanto as ineficientes estão utilizando uma quantidade excessiva de insumos. Isso implica que as DMUs ineficientes podem se tornar eficientes reduzindo a quantidade de insumos mantendo a mesma produção, ou aumentando a produção utilizando a mesma quantidade de insumos;
2. Com base na eficiência de escala, que é calculada pela razão entre as medidas de eficiência técnica nos modelos com retornos constantes e retornos variáveis. Nessa categoria, as DMUs podem estar operando com retornos constantes,

crescentes ou decrescentes. A produção com retornos constantes é considerada a escala ótima.

Dessa forma, quando uma Unidade de Tomada de Decisão (DMU) opera com retornos crescentes, ela está abaixo da escala ótima, o que indica a necessidade de expandir a produção. Por outro lado, a operação com retornos decrescentes indica uma situação acima da escala ótima, o que sugere a necessidade de reduzir o volume produzido ou aprimorar a tecnologia, ou seja, deslocar a fronteira de produção por meio de ajustes qualitativos.

Decorre também dessa análise que a produção sobre a fronteira é condição necessária, mas não suficiente, para a completa eficiência técnica. Uma vez que diante da eficiência relativa, a máxima eficiência técnica pode ser obtida, mesmo diante a utilização não ótima de recursos. Esse desperdício é abordado na literatura como congestão de recursos (Seiford e Thrall, 1990). Ressalta-se, também, que por ser uma abordagem de eficiência relativa, a DEA é muito sensível a presença de Outliers o que requer uma boa Análise Exploratória de Dados.

Nessa linha, os autores retromencionados discorrem que, na maioria das vezes, a orientação não influi muito na magnitude do valor da eficiência técnica. Além disso, o critério de escolha dependerá do objetivo que se visa com a análise realizada, ou seja, se a decisão primária é regularizar a utilização de insumos ou possibilitar aumento na produção.

2.4. FONTE DE DADOS

Os dados utilizados neste estudo foram extraídos da Tabela de Insumo-Produto de 2015 (a mais recente disponível). As informações utilizadas são a preços básicos e encontra-se em milhões de reais. Para a compilação das matrizes e obtenção dos valores de exportação e importação, adotou-se o modelo de tecnologia do setor (Ramos, 1996), cuja hipótese central é que a tecnologia é uma característica das atividades, isto é, a tecnologia para a produção dos produtos é determinada pela atividade que os produz.

Tabela 1: Agregação setorial utilizada na metodologia apresentada

Código	Atividades	DMU	Agregação Setorial
0191	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	1	Agricultura e Pecuária
0192	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	2	Agricultura e Pecuária
0280	Produção florestal; pesca e aquicultura	3	Agricultura e Pecuária
0580	Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos e metálicos não ferrosos	4	Indústria
0680	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	5	Indústria
0791	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	6	Indústria
1000	Alimentos e bebidas	7	Agroindústria
1300	Fabricação de produtos têxteis, artefatos do vestuário e acessórios, artefatos de couro e calçados	8	Agroindústria
1600	Fabricação de produtos da madeira, móveis e das indústrias diversas	9	Agroindústria
1700	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	10	Indústria
1900	Refino de petróleo, coquearias e fabricação de biocombustíveis	11	Indústria
2000	Fabricação de químicos, borracha e de material plásticos	12	Indústria
2300	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	13	Indústria
2400	Metalurgia	14	Indústria
2500	Fabricação de produtos de metal, máquinas e equipamentos	15	Indústria

2900	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, peças e outros equipamentos de transporte	16	Indústria o
3500	Geração e distribuição de eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	17	Indústria o
4180	Construção	18	Indústria
4500	Comércio por atacado e a varejo	19	Serviços
4900	Transporte	20	Serviços
5280	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	21	Serviços
5500	Alojamento e alimentação	22	Serviços
5800	Serviço de informação	23	Serviços
6480	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	24	Serviços
6800	Atividades imobiliárias	25	Serviços
6900	Atividades profissionais, científicas e técnicas	26	Serviços
7800	Atividades administrativas e serviços complementares	27	Serviços
8400	Administração Pública	28	Serviços
8591	Educação pública	29	Serviços
8592	Educação privada	30	Serviços
8691	Saúde pública	31	Serviços
8692	Saúde privada	32	Serviços
9080	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	33	Serviços
9480	Organizações associativas e outros serviços pessoais	34	Serviços
9700	Serviços domésticos	35	Serviços

Fonte: Elaborado pelos autores

Para a análise da eficiência dos recursos produtivos dos setores do estado do Espírito Santo, por meio do modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA), utilizou-se um produto e oito insumos, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Produto e insumos de produção

Produto	Valor Bruto da Produção
Insumos	Consumo intermediário: agropecuária; Consumo intermediário: agroindústria Consumo intermediário: indústria Consumo intermediário: serviços Importação interestadual e internacional Impostos sobre produtos nacionais e importados Salários

Fonte: Elaborado pelos autores

O modelo de insumo-produto regional representa uma abordagem metodológica amplamente utilizada para investigar as interações entre as indústrias locais e suas conexões com setores externos à região, além de examinar as relações com os setores de demanda final. Essa metodologia é fundamental para a compreensão das dinâmicas econômicas e das redes de suprimentos em áreas geográficas específicas. Por meio desse modelo, é possível realizar uma

análise detalhada das interconexões entre as atividades industriais locais e outras atividades econômicas, ao mesmo tempo em que oferece perspectivas esclarecedoras sobre os impactos econômicos das importações e outros pagamentos finais. Essas análises têm uma importância significativa para o planejamento regional, a formulação de políticas e a tomada de decisões estratégicas, uma vez que proporcionam uma visão abrangente das interdependências entre os diversos setores econômicos e suas contribuições para o desenvolvimento da região em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise da eficiência dos recursos produtivos dos setores do estado do Espírito Santo, através do modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA), utilizou-se um produto (Valor Bruto da Produção) e oito insumos (consumo intermediário dos setores de agropecuária e agroindústria; consumo intermediário dos setores industriais; consumo intermediário dos setores de serviços; importação regional e exterior; impostos sobre produtos nacionais e importados e salários).

Esta pesquisa realiza uma análise comparativa entre os diversos setores da economia capixaba, o que implica que as métricas de eficiência relativa estão relacionadas aos recursos disponíveis na sociedade como um todo. Em outras palavras, o estudo visa avaliar a eficiência no uso de insumos em cada setor, considerando as médias agregadas das empresas. Isso abrange a eficiência técnica, que envolve a combinação de insumos, e a eficiência de escala, que diz respeito à relação e proporção entre o nível de insumos e o nível de produtos. Essa abordagem proporciona uma visão holística da eficiência produtiva, permitindo uma compreensão mais abrangente do desempenho relativo dos setores econômicos dentro da economia como um todo.

Do ponto de vista das empresas, o conceito de retornos constantes indica que a produção está operando em escala ótima, ou seja, na capacidade máxima de eficiência. Isso se traduz em uma relação entre insumos e produtos que permite manter a mesma combinação tecnológica para a transformação dos recursos em produtos, mesmo com um aumento na produção. Em termos setoriais, a existência de retornos de escala crescentes aponta para a possibilidade de aumentar o desempenho do setor, ao ampliar o tamanho das empresas que o compõem, resultando em uma redução nos custos de produção conforme a produção cresce.

A existência de retornos de escala crescentes implica que as empresas pertencentes a um determinado setor, ao compararem-se com as empresas de outro setor que apresenta maior eficiência em termos de escala, devem ampliar sua produção para alcançar desempenhos semelhantes. Em termos práticos, isso exigiria um aumento na eficiência técnica através do aumento da utilização dos fatores de produção, visando a convergência das produtividades marginais dos diversos setores da economia para um mesmo patamar de eficiência econômica. Por outro lado, os retornos decrescentes indicam que é possível manter a produção utilizando uma quantidade menor de insumos ou, alternativamente, aumentar o valor da produção mantendo constante o nível dos fatores de produção.

A constatação anterior indica que a alocação de recursos da sociedade nesses setores é menos eficiente, uma vez que esses recursos poderiam ser direcionados para investimentos alternativos que gerariam um maior retorno e valores de produção mais elevados. Em síntese, a análise dos resultados obtidos pelo modelo DEA permite a identificação da eficiência técnica pura, da eficiência de escala e do tipo de retorno, o que contribui significativamente para a compreensão das características e desempenho dos setores econômicos em relação à utilização de recursos e à obtenção de produção eficiente. Essa abordagem analítica pode oferecer insights valiosos para o aprimoramento das políticas públicas e estratégias de gestão visando ao desenvolvimento econômico sustentável e à otimização dos recursos disponíveis.

Tabela 3: eficiência técnica pura, eficiência de escala e o tipo de retorno

	Setor	Agregação	CCR	BCC	EfEs	Rendimentos	Ponto na Figura 1
2	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	Agricultura e Pecuária	1	1	1	Constante	Rc
5	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	Indústria	1	1	1	Constante	Rc
6	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	Indústria	1	1	1	Constante	Rc
8	Fabricação de produtos têxteis, artefatos do vestuário e acessórios, artefatos de couro e calçados	Agroindústria	1	1	1	Constante	Rc
14	Metalurgia	Indústria	1	1	1	Constante	Rc
25	Atividades imobiliárias	Serviços	1	1	1	Constante	Rc
28	Administração Pública	Serviços	1	1	1	Constante	Rc
29	Educação pública	Serviços	1	1	1	Constante	Rc
31	Saúde pública	Serviços	1	1	1	Constante	Rc
33	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	Serviços	1	1	1	Constante	Rc
35	Serviços domésticos	Serviços	1	1	1	Constante	Rc
11	Refino de petróleo, coqueiras e fabricação de biocombustíveis	Indústria	0,999966	1	0,999966	Crescente	Pv
24	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	Serviços	0,987654	1	0,987654	Decrescente	Qv
4	Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos e metálicos não ferrosos	Indústria	0,925166	1	0,925166	Crescente	Pv
32	Saúde privada	Serviços	0,916592	1	0,916592	Decrescente	Qv
7	Alimentos e bebidas	Agroindústria	0,910788	1	0,910788	Decrescente	Qv
18	Construção	Indústria	0,896397	0,896785	0,999566	Crescente	P
16	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, peças e outros equipamentos de transporte	Indústria	0,892914	1	0,892914	Crescente	Pv
1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Agricultura e Pecuária	0,877194	0,891177	0,984309	Crescente	P
10	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	Indústria	0,859789	0,906699	0,948262	Crescente	P
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	Indústria	0,772525	0,778251	0,992642	Crescente	P
3	Produção florestal; pesca e aquicultura	Agricultura e Pecuária	0,715603	1	0,715603	Crescente	Pv
21	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	Serviços	0,671412	0,671414	0,999997	Crescente	P
12	Fabricação de químicos, borracha e de material plásticos	Indústria	0,622428	0,681916	0,912764	Crescente	P
26	Atividades profissionais, científicas e técnicas	Serviços	0,617736	0,625326	0,987862	Crescente	P
9	Fabricação de produtos da madeira, móveis e das indústrias diversas	Agroindústria	0,610534	0,714166	0,854891	Crescente	P
15	Fabricação de produtos de metal, máquinas e equipamentos	Indústria	0,60822	0,611502	0,994633	Crescente	P
34	Organizações associativas e outros serviços pessoais	Serviços	0,59742	0,602483	0,991596	Crescente	P
19	Comércio por atacado e a varejo	Serviços	0,509914	1	0,509914	Decrescente	Qv
30	Educação privada	Serviços	0,49201	0,591168	0,832268	Crescente	P

17	Geração e distribuição de eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	Indústria	0,377225	0,377226	0,999999	Crescente	P
23	Serviço de informação	Serviços	0,371775	0,371776	0,999998	Crescente	P
27	Atividades administrativas e serviços complementares	Serviços	0,335218	0,350088	0,957525	Crescente	P
20	Transporte	Serviços	0,255812	0,257064	0,99513	Decrescente	Q
22	Alojamento e alimentação	Serviços	0,251338	0,261381	0,961575	Crescente	P

Fonte: Cálculos dos autores

A coluna 4 da Tabela 3 mostra os índices de eficiência técnica sob retornos constantes à escala, revela que: dos 3 três setores da agroindústria, um possui máxima eficiência técnica, dos 17(dezessete) setores de serviços, seis possuem máxima eficiência técnica, dos 3(três) setores da Agricultura e Pecuária, um possui máxima eficiência técnica, dos 12(doze) setores da Indústria, 3(três) possui máxima eficiência técnica, nenhum setor da economia não obteve eficiência técnica, com base no modelo de retornos constantes, que incorpora, como dito, rendimentos de escala. Na coluna 4 da Tabela 2, podem-se observar os índices de eficiência técnica pura. Assim, os índices de eficiência técnica sob retornos variáveis revelam que, sem rendimentos de escala, a agricultura e pecuária possuem 2 (dois) setores, 2 (dois) setores da agroindústria, 6 (seis) setores da indústria, juntamente com 9 (nove) setores de serviços.

As colunas 6 e 7 mostram os índices de eficiência de escala e o tipo de retorno de produção. A coluna 8 mostra o ponto de referência em que o setor se encontra, ilustrado na Figura 1 da metodologia. Os setores da economia capixaba foram ordenados conforme as seis situações possíveis. Dos 35 (trinta e cinco) setores da economia capixaba, 11 foram classificados, segundo a metodologia DEA, como eficientes tecnicamente e em escala, operando no ponto Rc da Figura 1. Os setores de serviços são: Atividades imobiliárias, Administração Pública, Educação pública, Saúde pública, Atividades artísticas, criativas e de espetáculos e Serviços domésticos. Já os 3(três) setores da indústria são: Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio, Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração e Metalurgia. Enquanto na Agroindústria foi identificado o setor de Fabricação de produtos têxteis, artefatos do vestuário e acessórios, artefatos de couro e calçados. Finalmente, o setor de Agricultura e Pecuária é o Pecuária, inclusive o apoio à pecuária. Isso quer dizer que esses setores comparados ao resto da economia, maximizam a produção com a menor proporção de insumos - tecnicamente eficiente e, ainda, utilizam o nível adequado de insumos relacionado ao nível de produto – eficiência de escala, ou seja, não podem aumentar sua eficiência alterando o nível utilizado dos insumos de produção.

O presente estudo realiza uma análise comparativa da eficiência no uso de insumos sob uma perspectiva setorial, considerando apenas as médias agregadas das empresas. Essa análise abrange tanto a eficiência técnica, relacionada à combinação de insumos utilizada na produção, quanto a eficiência de escala, que se refere à relação entre o nível de insumos e o nível de produtos. Do ponto de vista da empresa, o tipo de retorno que indica uma escala ótima de produção é denominado de retornos constantes, indicando que a operação está ocorrendo na escala ideal. Em termos setoriais, isso implica que, para aumentar a produção, as empresas deveriam replicar a mesma combinação tecnológica existente. Já os retornos de escala crescentes sugerem que, ao aumentar o tamanho das empresas no setor, haverá uma melhoria no desempenho com redução dos custos de produção. Isso também indica que empresas de um determinado setor, comparadas com aquelas de outro setor mais eficiente em escala, deveriam aumentar a produção para alcançar desempenhos semelhantes, aumentando a eficiência técnica por meio do aumento no uso de fatores de produção. Por outro lado, os retornos decrescentes indicam que é possível manter a produção utilizando um nível menor de insumos ou,

alternativamente, aumentar o valor da produção mantendo constante o nível dos fatores de produção. Essa situação revela uma menor eficiência na alocação de recursos nesses setores, indicando que os mesmos poderiam ser direcionados para investimentos alternativos, obtendo um maior retorno e valores de produção.

Na Tabela 2, constata-se que oito setores da economia capixaba são considerados tecnicamente eficientes, mas apresentam ineficiências em escala, sendo que quatro setores demonstram retornos crescentes, operando no ponto P_V da Figura 1, e quatro setores apresentam retornos decrescentes, operando no ponto Q_V . Dos setores que operam no ponto P_V , com eficiência técnica e ineficiências de escala devido a retornos crescentes, quatro pertencem à indústria (Refino de petróleo, coquearias e fabricação de biocombustíveis, Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos e metálicos não ferrosos e Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, peças e outros equipamentos de transporte), enquanto um pertence ao setor de Agricultura e Pecuária (Produção florestal; pesca e aquicultura). Esse resultado sugere que as empresas que compõem esses setores, de forma agregada, ao serem comparadas com empresas de outros setores da economia mais eficientes em escala, deveriam aumentar sua produção por meio do incremento no nível de utilização de insumos, buscando atingir desempenhos semelhantes. Isso indicaria a necessidade de investimentos adicionais em capital de giro para a aquisição de mais insumos, visando ao aumento da eficiência produtiva em um nível de produção maior, com o objetivo de maximizar a transformação de insumos em produtos para o estado como um todo.

Quatro setores da economia capixaba operam no ponto Q_V , demonstrando eficiência técnica, mas apresentam ineficiência em escala devido a retornos decrescentes: Serviços (Intermediação financeira, seguros e previdência complementar, Saúde privada e Comércio por atacado e a varejo) e Agroindústria (Alimentos e bebidas). Esse resultado indica que tais setores possuem a capacidade de manter a produção utilizando um nível menor de insumos ou aumentar o valor da produção sem aumentar o nível dos fatores de produção. Em outras palavras, as empresas que compõem esses setores, quando comparadas ao restante da economia, estão operando acima da escala ótima, o que significa que um aumento na produção só seria possível a custos sociais crescentes se a situação atual fosse mantida. Como alternativas para o crescimento, esses setores podem considerar o uso de mais unidades produtivas de tamanhos menores e/ou a adoção de políticas qualitativas para aumentar a produtividade, permitindo obter mais produção sem a necessidade de utilizar mais insumos.

Há 15 (quinze) setores que, além de apresentarem ineficiência técnica, operam com retornos crescentes de escala, localizados no ponto P da Figura 1. Desses, 7 (sete) pertencem ao setor de Serviços (Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio, Atividades profissionais, científicas e técnicas, Organizações associativas e outros serviços pessoais, Educação privada, Serviço de informação, Atividades administrativas e serviços complementares e Alojamento e alimentação), 6 (seis) são da indústria (Construção, Fabricação de celulose, papel e produtos de papel, Fabricação de produtos de minerais não-metálicos, Fabricação de químicos, borracha e de material plásticos, Fabricação de produtos de metal, máquinas e equipamentos e Geração e distribuição de eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana), 1 (um) pertence ao setor de Agroindústria (Fabricação de produtos da madeira, móveis e das indústrias diversas) e 1 (um) é do setor de Agricultura e Pecuária (Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita).

Para melhorar a eficiência técnica nesses setores, é necessário eliminar os excessos de insumos utilizados, enquanto, para operar em escala ótima, deve-se aumentar a produção. Em resumo, a comparação desses setores com o desempenho dos outros setores econômicos indica que eles devem aumentar a produção, porém, esse aumento deve ser acompanhado pela redução da relação entre as quantidades de insumos utilizados e o volume de produção. Isso significa

que esses setores podem alcançar eficiência produtiva ao aumentar sua produção de forma mais econômica, evitando excessos na utilização de recursos.

Por fim, o setor de serviços denominado "Transporte" apresenta ineficiência técnica e opera com escala de retornos decrescentes, localizando-se no ponto Q da Figura 1, indicando uma operação acima da escala ótima. Para aprimorar a eficiência técnica, é necessário eliminar os insumos que estão sendo excessivamente utilizados, o que resulta em uma produção maior com o mesmo nível de insumos. Quanto ao problema de escala, pode-se adotar duas abordagens: reduzir a produção em cada empresa que compõe o setor, utilizando um maior número de empresas de menor tamanho para alcançar a mesma quantidade de produção anterior, ou melhorar a tecnologia para aumentar a produtividade dos insumos empregados. Essas estratégias visam otimizar a operação do setor e melhorar sua eficiência produtiva.

No entanto, a comparação da eficiência de diferentes setores de uma economia, por meio da metodologia do DEA, traz a luz a existência dos custos de oportunidade que existem na alocação dos recursos escassos da sociedade e indica que se pode priorizar os investimentos em setores que melhor utilizam os insumos disponíveis para a transformação em produtos úteis e que podem ser transacionados com outros estados e com o exterior. A Tabela 4 revela as medidas de eficiência para a média dos setores.

Tabela 4: Medidas de eficiência média para os grupos de setores da economia do ES

Especificação	Eficiência técnica Retornos constantes	Eficiência técnica Retornos variáveis	Eficiência de escala
Agricultura e Pecuária	0,864266	0,963726	0,899971
Indústria	0,829553	0,854365	0,972159
Agroindústria	0,840441	0,904722	0,921893
Serviços	0,706287	0,748865	0,949418

Fonte: Cálculos dos autores

Em uma análise comparativa, constatou-se que o setor da Agricultura e Pecuária apresenta a máxima eficiência técnica pura na economia, seguido pela Indústria, Agroindústria e os setores de serviços. Já em relação à escala, os setores de melhor desempenho são os da Indústria, seguidos pelos setores de serviços, Agroindústria, Agricultura e Pecuária. Esses resultados refletem as características de eficiência produtiva e escala operacional dos diferentes setores econômicos considerados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo aborda as discrepâncias de desempenho produtivo entre 35 setores econômicos do estado do Espírito Santo, utilizando a metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA) e dados das tabelas de insumo-produto e contas econômicas integradas do ano de referência. Os setores foram classificados em seis grupos com base na eficiência técnica e na escala de produção, possibilitando a identificação de ações para corrigir ineficiências e alcançar desempenhos comparáveis, maximizando a eficiência do ponto de vista social.

Os resultados apontam para a existência de 15 setores com ineficiência técnica e que operam com retornos crescentes de escala, a maior parte concentrada em serviços e indústria. Constata-se também oito setores com eficiência técnica e retornos crescentes de escala; e quatro setores que apresentam eficiência técnica e retornos decrescentes (serviços e agroindústria).

Somente o setor de transporte demonstra ineficiência técnica e retornos decrescentes. No que diz respeito a eficiência média, comparativamente, o setor de Agricultura e Pecuária apresenta a máxima eficiência técnica pura na economia, enquanto que a indústria teve melhor desempenho em termos de escala. Esses achados fornecem insights sobre os setores mais eficientes na transformação de insumos em produtos, orientando os agentes produtivos na busca pela melhor alocação dos recursos de produção.

A abordagem da eficiência dos diferentes setores econômicos por meio da metodologia DEA destaca a relevância dos custos de oportunidade na alocação dos recursos escassos da sociedade. Esses resultados indicam a possibilidade de priorizar investimentos em setores que melhor utilizam os insumos disponíveis para a produção de bens e serviços com alto valor agregado, favorecendo transações comerciais inter-regionais e internacionais. Tal análise contribui para uma compreensão mais aprofundada dos cenários econômicos e pode orientar políticas de desenvolvimento que visem a otimização do uso dos recursos disponíveis no estado do Espírito Santo.

REFERÊNCIAS

- CHARNES, A., COOPER, W.W. & RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research***, n. 2, 1978. p. 429-444
- COELLI, T.J., RAO, P., BATTESE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- COELLI, T.J., RAO, D.S.P., O'DONNELL, C.J., BATTESE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**, 2nd ed. New York: Springer, 2005.
- COOPER, W.W., SEIFORD, L.M., TONE, K. **Handbook on data envelopment analysis**, 2nd ed. New York: Springer, 2011.
- FERREIRA, C.M.C., GOMES, A.P., **Introdução à análise envoltória de dados: Teoria, modelos e aplicações**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2020.
- RAMOS, R. L. O. Metodologia para o cálculo de coeficientes técnicos diretos em um modelo de insumo-produto. **Texto para discussão**, Rio de Janeiro. n. 83. IBGE, 1996, p.94
- SEIFORD, L.M.; THRALL, R.M. Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. **Journal of Econometrics**, n. 46, p. 7-38, 1990.
- ZHU, J. **Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets**, 3rd ed. New York: Springer, 2014