



## IMPACTOS ECONÔMICOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SETOR DE TRANSPORTES DO BRASIL: UMA ANÁLISE VIA MATRIZ INSUMO-PRODUTO

### *ECONOMIC IMPACTS OF THE ENERGY TRANSITION IN BRAZIL'S TRANSPORT SECTOR: AN INPUT-OUTPUT MATRIX ANALYSIS*

**Grupo de Trabalho (GT): GT04 Sociobioeconomia e exploração dos recursos naturais na Amazônia**

*Guilherme Henrique Fonseca Nogueira – Universidade Federal de Viçosa, e-mail: guilherme.h.nogueira@ufv.br*

*Ian Michael Trotter – Universidade Federal de Viçosa, e-mail: ian.trotter@ufv.br*

#### **Resumo**

A transição energética consolidou-se como uma estratégia fundamental para abordar os desafios interligados das mudanças climáticas, segurança energética e desenvolvimento sustentável. No Brasil, o setor de transportes é notável por sua elevada dependência de combustíveis fósseis, um fato que contrasta com a natureza predominantemente renovável da matriz elétrica do país. O presente estudo tem como propósito analisar os impactos econômicos da transição energética no setor de transportes brasileiro, com foco no nível nacional. Para esse fim, será empregada uma matriz insumo-produto detalhada para os setores energéticos, permitindo capturar os efeitos diretos, indiretos e induzidos da substituição de fontes fósseis por alternativas mais limpas. O estudo considera a introdução de tecnologias como eletrificação e biocombustíveis, avaliando os impactos em variáveis econômicas como PIB, emprego e estrutura setorial. Espera-se que os resultados revelem uma heterogeneidade dos impactos econômicos entre os setores da economia nacional em resposta à transição.

**Palavras-chave:** transição energética; setor de transportes; matriz insumo-produto; biocombustíveis.

#### **Abstract**

*The energy transition has emerged as a core strategy to address intertwined challenges of climate change, energy security, and sustainable development. In Brazil, the transport sector remains highly dependent on fossil fuels, in contrast with the country's predominantly renewable power mix. This study evaluates the economic impacts of the energy transition in Brazil's transport sector at the national level. Using an input-output matrix with detailed energy sectors, we quantify direct, indirect, and induced effects from substituting fossil fuels with cleaner alternatives, focusing on electrification and biofuels. We assess outcomes for GDP, employment, and the economy's sectoral structure. The expected findings point to heterogeneous impacts across sectors, reflecting differing factor intensities, supply-chain linkages, and technology adoption pathways. The results aim to inform policy design that balances decarbonization goals with economic performance and labor-market implications.*

**Key words:** energy transition; transport sector; input-output matrix; biofuels

## **1. Introdução**

### **1.1 Considerações Iniciais**

A transição energética consolidou-se, nas últimas décadas, como uma das estratégias centrais para enfrentar os desafios interligados das mudanças climáticas, da segurança energética e do desenvolvimento sustentável (MONTEIRO NETO, 2024). A intensificação do aquecimento global, fortemente associada à crescente emissão de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da queima de combustíveis fósseis, tem provocado impactos sistêmicos de natureza econômica, social e ambiental (MONTEIRO NETO, 2024). Diante desse cenário, a reestruturação dos sistemas energéticos globais tem sido objeto de esforços coordenados por governos, organismos multilaterais e agentes privados, os quais buscam fomentar a expansão



de fontes limpas e renováveis, incentivar a eficiência energética e promover a descarbonização dos setores mais intensivos em emissões, como a indústria, a agricultura e os transportes.

No debate sobre a transição energética, o caso brasileiro apresenta singularidades relevantes. O Brasil é reconhecido mundialmente por sua matriz energética relativamente limpa, com uma considerável proporção de fontes renováveis, posicionando-se entre as grandes economias com uma das mais avançadas abordagens sustentáveis. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025), 50% da matriz energética total brasileira é composta por fontes renováveis - valor muito superior à média mundial, que gira em torno de 10,4%, reportada pela IEA - *Key World Energy Statistics*.

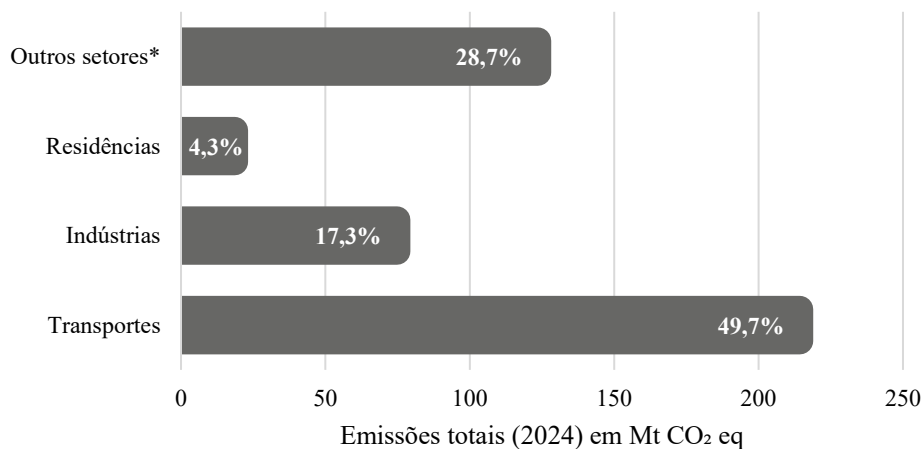
A capacidade da matriz elétrica brasileira decorre, em grande medida, do potencial hídrico, historicamente explorado desde a segunda metade do século XX, como discutido por Silva e Soares (2021). Nos últimos anos, o crescimento da capacidade instalada de geração eólica e solar também contribuiu para a diversificação da oferta energética renovável, especialmente, nas regiões Nordeste e Sudeste, com base no que foi divulgado no Balanço Energético Nacional (EPE, 2023b). Segundo o Balanço Energético Nacional, a adoção de políticas públicas como os leilões de energia, o marco legal da microgeração e minigeração distribuída e incentivos ao desenvolvimento tecnológico nacional permitiram avanços relevantes na expansão dessas fontes, com benefícios econômicos e ambientais. Ainda assim, a matriz energética como um todo, que inclui, além da eletricidade, os insumos energéticos para transporte, indústria e aquecimento - mantém elevada dependência de combustíveis fósseis, sobretudo petróleo e derivados.

Apesar desses avanços, a descarbonização da economia mundial enfrenta desafios importantes, sobretudo nos setores mais intensivos em combustíveis fósseis, como o de transportes. Globalmente, o setor de transportes é responsável por cerca de 22,6% das emissões diretas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) oriundas da queima de combustíveis. Segundo estimativas da Agência Internacional de Energia (IEA, 2023a), o setor de transportes emitiu aproximadamente 8,3 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> de um total global de 36,8 Gt em 2022.

Nesse contexto, trata-se de um setor historicamente associado ao elevado consumo de derivados de petróleo, estrutura modal predominantemente rodoviária e barreiras institucionais à inovação tecnológica (IEA, 2023b). Essa configuração confere ao setor uma inércia tecnológica significativa e torna sua descarbonização mais complexa do que em outros segmentos econômicos. Dessa forma, a eletrificação da frota, o desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração, o uso de hidrogênio verde e a reorganização dos sistemas modais são algumas das estratégias em curso para promover sua transformação, como demonstrado nos resultados de RIMPAS et al. (2025).

O setor de transportes no Brasil ainda representa um dos principais desafios para a sustentabilidade da matriz energética nacional. Em 2024, como mostrado na Figura 1, ele foi responsável por 49,7% das emissões totais de CO<sub>2</sub> equivalente, totalizando 214,3 MtCO<sub>2e</sub>. Isso coloca o setor como o maior emissor dentro do setor energético, superando as indústrias (17,3%), os outros setores (28,7%) e as residências (4,3%). Esses dados evidenciam a importância de reduzir as emissões no setor de transportes para avançar na transição energética e atingir as metas climáticas do país.

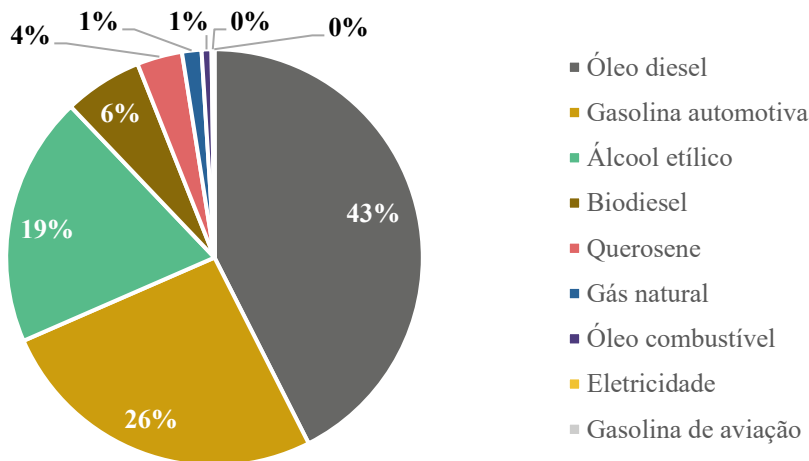
Figura 1 – Emissões Totais de CO<sub>2</sub> equivalente (MtCO<sub>2</sub>e) por Setor no Brasil em 2024



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2025)

Embora o país seja pioneiro na utilização de biocombustíveis - com políticas estruturadas desde a década de 1970, como o Proálcool, e mais recentemente o RenovaBio - os combustíveis fósseis ainda dominam o consumo energético no transporte. De acordo com o Balanço Energético Nacional 2025, aproximadamente 69,2% da energia consumida no setor de transportes no Brasil, em 2024, foi proveniente de derivados de petróleo, especialmente, diesel e gasolina (EPE, 2025 a, p. 82). Os resultados detalhados são apresentados na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Distribuição da Participação de Fontes de Energia no Setor de Transportes em 2024



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2025)

O grupo de combustíveis fósseis é o maior responsável pela energia consumida no setor de transportes. O óleo diesel lidera, representando 42,5% da oferta, equivalente a 40.760 10<sup>3</sup> tep (toe), seguido pela gasolina automotiva, com 25,9% ou 24.846 10<sup>3</sup> tep (toe). O querosene, utilizado na aviação, contribui com 3,5%, ou 3.367 10<sup>3</sup> tep (toe), enquanto o gás natural tem uma participação de 1,5%, equivalente a 1.448 10<sup>3</sup> tep (toe). O óleo combustível representa 0,8%, ou 736 10<sup>3</sup> tep (toe), sendo utilizado principalmente em setores industriais e no transporte marítimo.

No que diz respeito aos biocombustíveis, o etanol e o biodiesel juntos somam 21,5% da energia consumida no setor de transportes, o que equivale a 20.457 10<sup>3</sup> tep (toe). O biodiesel



tem uma participação de 6,1% ou  $5.835 \cdot 10^3$  tep (toe), enquanto o álcool etílico (etanol) responde por 19,4%, ou  $18.622 \cdot 10^3$  tep (toe). Esse padrão revela uma discrepância entre a matriz elétrica e a matriz energética do transporte, sinalizando a necessidade de políticas públicas que considerem tanto a diversificação da oferta quanto a reorganização da demanda por modais mais sustentáveis.

Essa dependência também reflete a configuração histórica da matriz modal nacional de transportes, que privilegia o modal rodoviário em detrimento de alternativas menos emissoras, como o ferroviário e o hidroviário (SANTANA; MAŁDZIEL, 2019). Conforme o Plano Nacional de Logística 2035, elaborado pela Empresa de Planejamento e Logística (EPL), em 2017, 67,6% da carga transportada no Brasil era movimentada por rodovias, destacando a predominância desse modal na matriz de transportes nacional (EPL, 2021, p. 15). Isso, por muitas vezes em condições precárias de conservação e com veículos movidos a combustíveis fósseis.

Diante disso, tal estrutura modal não apenas intensifica as emissões de carbono, devido ao uso predominante de veículos movidos a combustíveis fósseis, como também eleva os custos logísticos e acentua desigualdades regionais na integração econômica do território nacional (BARBOSA; DE SOUSA; DE OLIVEIRA, 2022). Além disso, a concentração do transporte de cargas e passageiros nas rodovias, limita a eficiência e a sustentabilidade do sistema de transportes brasileiro (CORREA; RAMOS, 2010). Logo, a diversificação da matriz de transportes é essencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, melhorar a competitividade econômica e promover uma integração regional mais equitativa.

A complexidade da transição energética no Brasil acentua-se quando considera-se a heterogeneidade regional do país. A distribuição desigual de infraestrutura logística, capacidade tecnológica, políticas públicas e acesso a fontes energéticas renováveis impõe obstáculos distintos à descarbonização do transporte em cada região (FERREIRA; SANTANA; RAPINI, 2021). Enquanto áreas mais industrializadas e conectadas, como o Sudeste e o Sul, apresentam melhores condições para a implementação de alternativas de baixo carbono, regiões periféricas enfrentam barreiras que vão desde a escassez de recursos técnicos e financeiros à limitações institucionais (CATAIA; DUARTE, 2022).

À vista disso, a literatura contemporânea tem destacado a importância de incorporar a dimensão regional às análises de políticas energéticas e ambientais, como demonstrado nos trabalhos de Santos et al. (2023), Hansen e Coenen (2015) e Binz, Truffer e Coenen (2014). Pois, compreender como os diferentes territórios reagem a choques energéticos, adoção de novas tecnologias ou mudanças nos padrões de consumo energético é essencial para o desenho de estratégias mais eficazes, equitativas e aderentes às realidades locais. Entretanto, embora a análise de impactos regionais seja de grande relevância em um país de dimensões continentais como o Brasil, a complexidade e a disponibilidade de dados para Matrizes Insumo-Produto regionais direcionam o presente estudo para uma análise no nível nacional.

Vale destacar que, diante da crescente pressão internacional por compromissos ambientais - como os assumidos no Acordo de Paris e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 - o Brasil tem a oportunidade estratégica de alinhar sua vocação energética renovável com políticas de desenvolvimento sustentável e integração territorial. Ante o exposto, para além dos avanços tecnológicos, serão necessárias reformas institucionais, coordenação intergovernamental e mecanismos de financiamento que considerem as particularidades de cada região.

Por fim, a transição energética não se resume à simples troca de combustíveis fósseis por fontes renováveis. Ela envolve a reestruturação dos sistemas de produção, o desenvolvimento de novas tecnologias, a adaptação de políticas públicas e o engajamento da



sociedade na adoção de padrões de consumo mais sustentáveis (MARKARD; ROSENBLOOM, 2023). Diante disso, o estudo dos impactos econômicos da transição energética, especialmente em setores estratégicos como o transporte, sob uma perspectiva nacional, torna-se eficaz para orientar políticas públicas mais justas, eficazes e integradas.

## 1.2 O Problema e Sua Importância

A elevada dependência de combustíveis fósseis no setor de transportes contrasta com a predominância de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira. Esse descompasso evidencia um desafio da política energética nacional: promover a descarbonização do transporte sem comprometer o dinamismo econômico. Diante disso, considerando a substituição de combustíveis fósseis por fontes limpas, a pergunta que orienta este estudo é: quais são os impactos econômicos da transição energética no setor de transportes do Brasil?

Responder essa questão é fundamental para subsidiar políticas públicas alinhadas aos objetivos do Plano Nacional de Energia (PNE 2055) e do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2034), que estabelecem diretrizes de longo prazo para o setor energético nacional. Além disso, a análise ganha relevância diante dos compromissos assumidos pelo Brasil em acordos internacionais e da necessidade de compatibilizar metas ambientais com desenvolvimento econômico e inclusão produtiva.

Embora existam bases regionais relevantes, a escolha por uma abordagem nacional se justifica pela complexidade envolvida na modelagem regional e pela limitação temporal imposta pelo cronograma do mestrado. Assim, este trabalho concentrar-se-á em nível nacional, com base na matriz insumo-produto recentemente desenvolvida pela EPE e FIPE (2023), que oferece maior desagregação dos setores energéticos e será explorada com mais profundidade no referencial analítico.

Parte-se da hipótese de que a transição energética no setor de transportes no Brasil, caracterizada pela substituição gradual de combustíveis fósseis por fontes de energia mais limpas, resultará em impactos econômicos heterogêneos entre os setores da economia nacional. Essa hipótese encontra respaldo em estudos que indicam que a transição para uma economia de baixo carbono tende a favorecer setores vinculados à produção e difusão de tecnologias limpas, enquanto impõe desafios aos segmentos intensivos em combustíveis fósseis (SACHS, 2015; MARKARD; ROSENBLOOM, 2023; JACOBSON et al., 2022; JANNUZZI, 2024).

Espera-se, portanto, que essa transformação gere um impulso positivo em setores relacionados à oferta de energias renováveis e inovação tecnológica, ao passo que setores dependentes da cadeia fóssil enfrentem efeitos adversos. Assim, tais impactos devem se manifestar de forma assimétrica sobre o produto e o emprego nos diferentes segmentos produtivos do país.

O objetivo geral deste trabalho é analisar os impactos econômicos e setoriais da transição energética no setor de transportes brasileiro, em nível nacional, considerando a introdução de fontes alternativas de energia limpas. A proposta é investigar como as mudanças na matriz energética do transporte afetam o desempenho econômico dos diferentes segmentos produtivos do país, identificando setores beneficiados e setores que possam enfrentar desafios de reestruturação.

Para atingir esse objetivo, o estudo será guiado pelos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a matriz energética atual do setor de transportes no Brasil e projetar a sua evolução segundo os cenários oficiais de transição energética;
- Identificar as principais estratégias e tecnologias envolvidas na descarbonização do transporte, como a eletrificação, os biocombustíveis e o hidrogênio verde;



- Utilizar e adaptar uma matriz insumo-produto existente, de modo a capturar os efeitos diretos e indiretos da substituição de fontes fósseis por renováveis;
- Simular os impactos econômicos e setoriais de diferentes trajetórias de transição energética sobre indicadores como Produto Interno Bruto (PIB), emprego e estrutura produtiva.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1 Transição energética: conceitos, desafios e oportunidades

A transição energética configura-se como um dos maiores desafios globais do século XXI, sendo essencial para a construção de um futuro sustentável e resiliente frente às crescentes ameaças das mudanças climáticas (JACOBSON et al., 2022). Este processo envolve a substituição das fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis por alternativas renováveis, como a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa, entre outras. Além das mudanças tecnológicas e econômicas, a transição energética está intrinsecamente ligada a um redesenho das políticas públicas, que devem ser desenhadas de modo a facilitar a adoção dessas novas fontes de energia, ao mesmo tempo em que mitigam os impactos sociais e econômicos dessa mudança (MARKARD; ROSENBLOOM, 2023).

O conceito de transição energética, segundo Sachs (2015), vai além da simples mudança de fontes de energia. Ele enfatiza que a transição energética é uma reestruturação do setor energético, que engloba a geração de energia, a distribuição, o consumo e, principalmente, a integração de sistemas inteligentes de gestão de energia. De acordo com o autor, a implementação de energias renováveis exige investimentos em infraestrutura e tecnologia, além da criação de novos mercados e modelos de negócios que permitam a integração eficiente dessas fontes ao sistema energético existente, de maneira economicamente viável. Sachs argumenta que, para que a transição seja bem-sucedida, é necessário um avanço tecnológico, mas, sobretudo, uma transformação nos sistemas econômicos, sociais e políticos.

Conforme a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020), a transição energética precisa ser realizada de forma planejada e coordenada, considerando as peculiaridades de cada região, país e setor. Para atingir as metas globais de emissões líquidas zero até 2050, a IEA destaca a necessidade de acelerar a implementação de tecnologias de baixo carbono, como veículos elétricos e soluções de armazenamento de energia, além de políticas de incentivo à eficiência energética. No entanto, a transição enfrenta alguns desafios. Em termos tecnológicos, as energias renováveis ainda enfrentam barreiras de intermitência, como é o caso das gerações solar e eólica, que dependem de condições climáticas específicas. A adequação das redes de distribuição e o armazenamento de energia também representam desafios técnicos que exigem inovação contínua.

Ademais, como descrito pela IEA (2020), em relação ao cenário político-econômico, a transição energética depara-se com questões de governança. Por isso, é necessária uma regulação eficiente, que favoreça o mercado de energias renováveis sem prejudicar os setores tradicionais, como o petróleo e o carvão, ainda predominantes em muitos países. Além disso, a dependência de recursos naturais, como gás e petróleo, gera resistência à mudança, uma vez que os impactos econômicos e sociais dessa transição são significativos. A IEA observa que um dos maiores desafios é garantir que as políticas públicas possam balancear o incentivo à adoção de tecnologias limpas com a necessidade de adaptação das economias e regiões mais dependentes dos combustíveis fósseis.



Por outro lado, a transição energética também traz inúmeras oportunidades. Sachs (2015) destaca que a expansão do mercado de energias renováveis impulsiona a inovação tecnológica, o que abre caminho para novos negócios e setores econômicos, além de gerar empregos verdes. Países que adaptarem-se rapidamente a essa nova realidade poderão tornar-se líderes em um mercado global de baixo carbono. Desse modo, o direcionamento para fontes de energia renováveis pode resultar em economias operacionais consideráveis no decorrer do tempo, em especial pela contenção dos custos com combustíveis fósseis e pela redução das consequências ecológicas adversas.

Portanto, a transição energética é um processo que, quando bem gerido, pode trazer oportunidades para o desenvolvimento econômico sustentável (FALCONE, 2023). Nesse contexto, o setor de transportes desempenha um papel fundamental, visto que é responsável por uma parcela significativa das emissões e do consumo de energia. Desse modo, para que a transição seja bem-sucedida, é essencial que as políticas públicas promovam soluções de mobilidade sustentável, garantindo a colaboração entre governos, empresas e sociedade civil (TOSUN; RINSCHIED, 2021).

## **2.2 Transporte e energia: interações e políticas públicas**

Para a transição energética, o setor de transporte possui grande relevância, devido à sua influência nas emissões de gases de efeito estufa e na demanda por energia. Nesse sentido, o trabalho de Gonçalves, Goes e D'Agosto (2020) analisa como a transição no Brasil pode contribuir para adequar o setor de transportes com as metas climáticas globais estabelecidas pelo Acordo de Paris. A pesquisa destaca a necessidade urgente de descarbonização do setor, enfatizando a transição para tecnologias mais limpas, como veículos elétricos, e a integração dessas tecnologias com uma matriz energética renovável.

O estudo também aborda como as políticas públicas brasileiras devem ser adaptadas para acelerar a adoção de soluções sustentáveis no setor de transportes, incluindo o incentivo à eletromobilidade e ao transporte público eficiente. Em complemento, a introdução de biocombustíveis também é apontada como um meio fundamental para a redução de emissões no curto e médio prazo, principalmente em setores onde a eletrificação do transporte permanece um desafio, tal qual o transporte rodoviário de cargas.

Além do mais, o artigo enfatiza a importância de uma abordagem integrada que conecte as políticas de transporte com as de energia e infraestrutura. Dado que a transição energética no Brasil exige uma adaptação das infraestruturas urbanas e rurais, com ênfase na criação de um sistema de transporte mais eficiente e sustentável, garantindo que todas as regiões do país possam beneficiar-se da transição energética de maneira equitativa. Com isso, a adaptação das políticas deve ser feita de forma coordenada, levando em consideração as particularidades locais, como a diversificação das fontes de energia e o perfil de transporte de cada região.

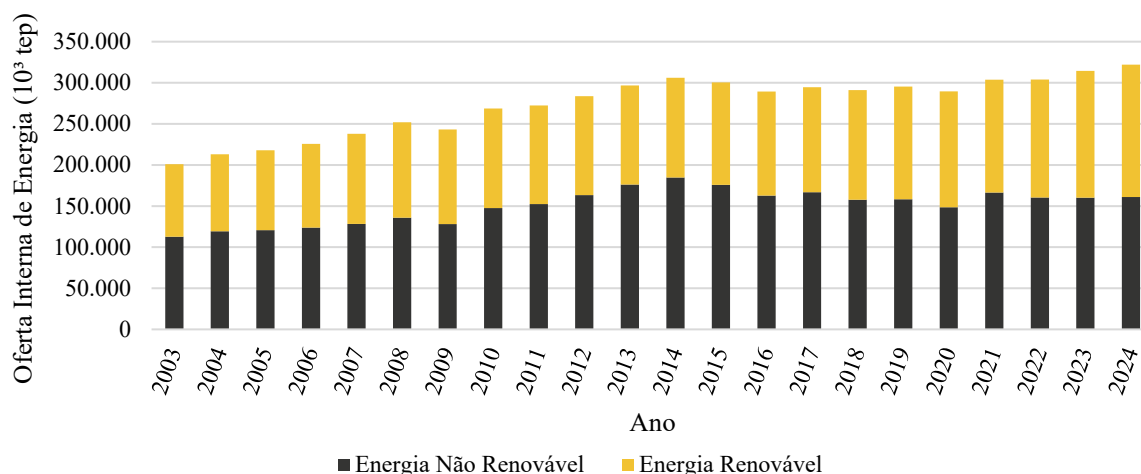
Um outro estudo desenvolvido por Silva (2009) analisou as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil entre 2006 e 2015 a partir de um modelo integrado de equilíbrio macroeconômico e insumo-produto. O trabalho identificou o setor de transportes como o principal responsável pelas emissões nacionais, evidenciando sua elevada sensibilidade a variações na oferta de trabalho e na composição da matriz energética. Os resultados indicam que mudanças na participação de fontes renováveis e não renováveis afetam significativamente o volume de emissões, reforçando a necessidade de políticas específicas para a descarbonização do setor e sua articulação com o planejamento energético nacional.

Por fim, o Caderno de Transição Energética no Setor de Transportes da FGV Energia (2022) aprofunda o tema ao destacar a urgência de políticas integradas para descarbonizar

mobilidade urbana e frete. O documento enfatiza a transformação necessária na governança do setor, sugerindo a combinação de incentivos à eletromobilidade, expansão do transporte coletivo e logística de baixo carbono como instrumentos essenciais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que ajustam a infraestrutura energética e urbana para viabilizar a transição. Dessa forma, essas diretrizes reforçam a necessidade de ação coordenada entre políticas de transporte, energia e planejamento territorial, corroborando a hipótese de que os impactos econômicos da transição serão heterogêneos e exigem abordagens setoriais específicas (FGV Energia, 2022).

Os estudos ressaltam a relevância da transição energética no setor de transportes, com ênfase na descarbonização por meio de tecnologias limpas, como a eletrificação e os biocombustíveis. Para ilustrar esse processo, a Figura 3 mostra a crescente participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia do Brasil, evidenciando os avanços na redução da dependência dos combustíveis fósseis e na consolidação de uma matriz energética mais sustentável.

Figura 3 - Evolução da participação de fontes renováveis na oferta interna de energia (2013–2024)



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2025)

Com base na Figura 3, observa-se que a participação de fontes renováveis na oferta interna de energia do Brasil passou de 44% em 2003 para 50% em 2024. Entre 2003 e 2014, houve uma queda gradual dessa participação, com uma redução mais acentuada em 2013 (41%), impulsionada pelo aumento do uso de fontes não renováveis, especialmente o petróleo e derivados. A partir de 2015, no entanto, a tendência se inverteu, com um crescimento contínuo das fontes renováveis, como eólica, solar e biomassa, resultando em uma significativa recuperação e um aumento expressivo na participação das energias renováveis. Esse movimento reflete a expansão das energias renováveis e a redução do uso de fontes não renováveis, culminando em um equilíbrio entre os dois grupos nos últimos anos. Diante disso, a transição energética é claramente evidenciada no gráfico, com o fortalecimento do setor renovável na matriz energética brasileira.



### 3. Referencial Analítico

#### 3.1 Matriz Insumo-Produto para Análise do Setor de Energia

A análise proposta nesta dissertação fundamenta-se na utilização da matriz insumo-produto (MIP) como instrumento analítico. A MIP permite representar, de forma sistematizada, as interdependências existentes entre os diferentes setores da economia, evidenciando os fluxos de bens e serviços intermediários e finais (LEONTIEF, 1941). Além disso, é amplamente utilizada como ferramenta analítica em estudos de política econômica, especialmente para mensurar os impactos diretos e indiretos de alterações na estrutura produtiva. Sua capacidade de representar as interações entre setores permite simular cenários e avaliar os efeitos de mudanças na demanda ou na oferta sobre variáveis macroeconômicas, como produção, emprego e valor adicionado (HILGEMBERG; GUILHOTO, 2006).

Essa abordagem é especialmente útil para avaliar os impactos setoriais de choques exógenos, como mudanças na matriz energética dos transportes, fornecendo uma estrutura de avaliação quantitativa dos efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre variáveis econômicas, como produção e emprego. As contribuições originais de Leontief foram posteriormente ampliadas por autores como Miller e Blair, que desenvolveram uma estrutura analítica para o uso da MIP em contextos espaciais e intersetoriais, com aplicação em escalas tanto nacionais quanto subnacionais (MILLER; BLAIR, 2009).

A matriz insumo-produto foi escolhida por sua relevância em análises de política energética, especialmente na avaliação de impactos econômicos da transição energética. Estudos da EPE e FIPE (2023) desenvolveram uma MIP com desagregação de nove setores energéticos, integrando dados físicos e monetários por meio de metodologia híbrida. Com isso, essa estrutura permitiu identificar os setores-chave e simular impactos de políticas energéticas sobre o PIB, emprego e consumo de energia, evidenciando a utilidade da abordagem para análises setoriais e de planejamento.

Por meio da técnica de inversão da matriz de Leontief, é possível simular variações na demanda final por determinados produtos e avaliar como essas mudanças afetam o restante da estrutura produtiva (IPEA, 2021). No caso específico da transição energética, alterações na demanda por combustíveis fósseis ou pela introdução de fontes renováveis implicam na reorganização da estrutura produtiva, com efeitos assimétricos entre os setores econômicos (JANNUZZI, 2024).

#### 3.2 Estrutura do Modelo MIP

Conforme apresentado por Miller e Blair (2009), o Modelo Insumo-Produto representa uma economia composta por  $n$  setores produtivos, nos quais cada setor adquire bens e serviços dos demais como insumos para sua própria produção. A produção resultante pode ser direcionada ao atendimento da demanda intermediária, isto é, utilizada como insumo por outros setores, e ao atendimento da demanda final, que inclui o consumo das famílias, os gastos do governo, os investimentos e as exportações.

Seja  $x_i$  o valor total da produção do setor  $i$ ,  $z_{ij}$  o montante da produção do setor  $i$  utilizado como insumo intermediário pelo setor  $j$ , e  $f_i$  a parte da produção do setor  $i$  destinada diretamente à demanda final. Dessa forma, o volume total produzido pelo setor  $i$  pode ser expresso como a soma das quantidades vendidas aos demais setores e à demanda final:

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

Ao se considerar simultaneamente os  $n$  setores da economia, as equações correspondentes à equação (1) podem ser reorganizadas em forma matricial da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ou, de maneira mais concisa:

$$x = Zi + f \quad (3)$$

Desta forma,  $x$  representa o vetor coluna  $n \times 1$  das quantidades produzidas por cada setor;  $Z$  corresponde à matriz  $n \times n$  de fluxos intersetoriais, cujos elementos indicam as vendas de bens do setor  $i$  para o setor  $j$ ;  $f$  representa o vetor coluna  $n \times 1$  da demanda final por bens de cada setor; e  $i$  denota o “vetor soma”, ou seja, um vetor coluna  $n \times 1$  cujos elementos são todos iguais a 1.

Um pressuposto central do Modelo Insumo-Produto é a existência de proporções fixas na produção, ou seja, a quantidade de insumo  $i$  necessária para produzir uma unidade do setor  $j$  permanece constante e é expressa pelos coeficientes técnicos  $a_{ij}$ :

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad (4)$$

Dessa forma, a equação (1) pode ser reescrita como:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + f_i \quad (5)$$

E as equações (2) e (3), respectivamente, da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$x = Ax + f \quad (7)$$

Onde  $A$  representa a matriz dos coeficientes técnicos. Considerando  $I$  como uma matriz identidade  $n \times n$ , podemos rearranjar a equação (7) para:

$$(I - A)x = f \quad (8)$$

Conforme exposto por Miller e Blair (2009), quando  $(I - A)$  é uma matriz quadrada e não singular, é possível calcular sua inversa e, com isso, determinar uma solução única para o sistema, expressa por:

$$x = (I - A)^{-1}f = Lf \quad (8)$$

Nesta formulação,  $(I - A)^{-1} = L$  é a matriz  $n \times n$  conhecida como "inversa de Leontief". Essa matriz mensura os requisitos totais, incluindo os efeitos diretos e indiretos, de bens e serviços necessários para atender a uma dada demanda final  $f$ . A equação (8) representa o Modelo Insumo-Produto tradicional, permitindo calcular o incremento na produção total de uma economia para satisfazer um aumento na demanda final por produtos de um ou mais setores, levando em conta as múltiplas rodadas de efeitos desencadeadas pela variação inicial na demanda.

### 3.3 Extensões para Energia, Emprego e Emissões

Ainda que a formulação original da Matriz Insumo-Produto tenha contemplado fluxos em unidades físicas, a representação em valores monetários tornou-se mais comum devido a complexidades metodológicas. Contudo, para investigações focadas no setor energético, é vantajoso incorporar abordagens que permitam combinar as informações de fluxos físicos de energia, disponíveis em fontes como o Balanço Energético Nacional (BEN), com os dados de fluxos não energéticos em termos monetários, obtidos da Matriz Insumo-Produto convencional. Esse método, designado como de unidades híbridas, exige uma considerável dedicação à compatibilização de dados para assegurar a coerência interna do modelo e a integridade entre as diversas fontes de informação (EPE; FIPE, 2023).

A formulação matemática adotada nesta modelagem segue os princípios do modelo clássico de Leontief, com base na identidade contábil fundamental que relaciona a produção setorial total com seus destinos intermediários e finais, representada por  $Z + f = x$ . Para expandir essa lógica à análise energética em unidades físicas, propõe-se uma estrutura análoga:  $E + q = g$ , em que  $E$  é a matriz que descreve os fluxos físicos de energia dos setores produtores para os setores consumidores,  $q$  representa o vetor de energia destinada diretamente à demanda final, e  $g$  corresponde ao vetor do consumo total de energia por tipo ou fonte.

Considerando uma economia com  $n$  setores totais, sendo  $m$  deles pertencentes ao segmento energético, a matriz intersetorial  $Z$  apresenta dimensão  $n \times n$ , enquanto a matriz energética  $E$  assume a forma  $m \times n$ , refletindo a origem energética (setores produtores) e os destinos setoriais (consumidores). Analogamente, os vetores  $f$  e  $x$  possuem dimensão  $n \times 1$ , ao passo que  $q$  e  $g$  são definidos em  $m \times 1$ .

Essa abordagem tem como objetivo viabilizar a construção de uma matriz em unidades físicas, de dimensão  $m \times n$ , que funcione como um operador de requerimentos totais de energia, análogo à matriz inversa de Leontief  $(I - A)^{-1}$ . Com isso, torna-se possível estimar o consumo energético total necessário para atender a uma dada estrutura de demanda final, por meio da relação  $g = \alpha f$ , onde  $\alpha$  expressa os coeficientes de intensidade energética por setor.

### 3.4 Simulação de Cenários de Transição Energética

Para este estudo, será construído um cenário-base (*baseline*) representando a estrutura atual da matriz energética do setor de transportes no Brasil. Esse referencial servirá como ponto de comparação para a análise dos impactos econômicos simulados nos cenários alternativos de transição energética, mantendo constante a disponibilidade total de energia no setor.

Diante desse contexto, a formulação dos modelos parte da premissa de que a demanda final (consumo das famílias, gastos públicos, investimentos e exportações) é determinada exogenamente ao sistema. Essa abordagem permite isolar os impactos diretos, indiretos e



induzidos da transição energética sobre a produção total da economia, conforme modelado pela estrutura intersetorial da matriz insumo-produto.

Para a análise, serão explorados os seguintes cenários:

- **Cenário Base:** Estrutura Atual da Matriz Energética do Transporte
- Representa o padrão vigente de consumo de energia no setor de transportes, com predominância de combustíveis fósseis, especialmente derivados de petróleo (gasolina e diesel), e participação complementar de biocombustíveis. Este cenário fornece o ponto de referência para avaliação dos efeitos das alterações simuladas.
- **Cenário 1:** Substituição de Combustíveis Fósseis por Fontes Renováveis
- Simula a substituição progressiva dos derivados de petróleo e gás natural por fontes renováveis, em equivalência energética. A proposta é reduzir os insumos fósseis no setor de transportes e compensar essa redução com a ampliação do uso de eletricidade renovável e biocombustíveis, refletindo a transição energética dentro dos limites de consumo atual.
- **Cenário 2:** Eletrificação da Frota de Veículos Leves
- Representa a expansão da frota de veículos elétricos leves, com substituição direta de combustíveis fósseis por eletricidade gerada a partir de fontes renováveis. Esse cenário considera o crescimento da infraestrutura de recarga e a maior penetração dos veículos elétricos no transporte individual urbano.
- **Cenário 3:** Ampliação do Uso de Biocombustíveis
- Foca na expansão da participação de biocombustíveis (especialmente etanol e biodiesel) na matriz de transportes. Considera a substitutibilidade desses combustíveis em relação à gasolina e ao diesel, com ênfase na vantagem comparativa do Brasil nesse segmento energético.
- **Cenário 4:** Progresso Tecnológico e Eficiência Energética dos Setores Limpos.
- Simula ganhos de produtividade e melhorias tecnológicas em setores de energia limpa, como energia solar, eólica e produção de biocombustíveis. Tais melhorias serão modeladas por meio da alteração dos coeficientes técnicos da matriz, refletindo maior eficiência e redução no uso de insumos produtivos.

Portanto, esses cenários permitirão avaliar os impactos econômicos da transição energética no setor de transportes, considerando seus efeitos sobre a produção, o emprego e a estrutura setorial da economia.

### 3.5 Base de Dados

Os dados empregados na elaboração da análise de insumo-produto serão constituídos, principalmente, pelas seguintes fontes:

- Matriz Insumo-Produto ampliada no segmento energético: será empregada a versão mais recente, referente ao ano de 2018, que foi estimada pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana (Nereus/USP) com base em informações das Contas Nacionais fornecidas pelo IBGE, e detalhada pela EPE e FIPE (2023). Esta matriz já inclui a subdivisão dos 9 setores energéticos, como detalhado na seção 3.1.
- Balanço Energético Nacional (BEN): publicado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021a). Os dados do BEN serão essenciais para a



caracterização dos fluxos físicos energéticos e da utilização de combustíveis, complementando as informações da MIP.

A matriz insumo-produto utilizada neste estudo tem como ano de referência 2018, elaborada pelo Nereus/USP com base nas Contas Nacionais do IBGE e desagregada em nove setores energéticos segundo a metodologia híbrida da EPE/FIPE (2023). Essa matriz integra dados físicos do Balanço Energético Nacional (ano-base 2022) e permite representar vetores energéticos como derivados de petróleo, gás natural, eletricidade, biocombustíveis, carvão, lenha, solar e eólica. A estrutura é híbrida, combinando unidades físicas e monetárias, com vetores de energia e emissões incorporados por meio de coeficientes de intensidade.

Adicionalmente, a matriz insumo-produto adotada agrupa os modais de transporte em categorias amplas, como “Transporte terrestre”, “aquaviário” e “aéreo”, sem desagregação modal detalhada. Este estudo focará no “Transporte terrestre”, principal consumidor de combustíveis fósseis no Brasil, analisando os impactos da substituição por fontes renováveis. Os demais modais serão mencionados de forma secundária, devido às limitações da base de dados.

Assim sendo, a integração dessas bases permitirá simular diferentes cenários de transição energética no setor de transportes, mensurando os efeitos econômicos esperados. Em complemento, será considerada a possibilidade de introdução de fontes alternativas de energia, como biocombustíveis e eletrificação, ajustando-se os coeficientes técnicos da matriz para refletir tais mudanças tecnológicas.

## **4. Resultados**

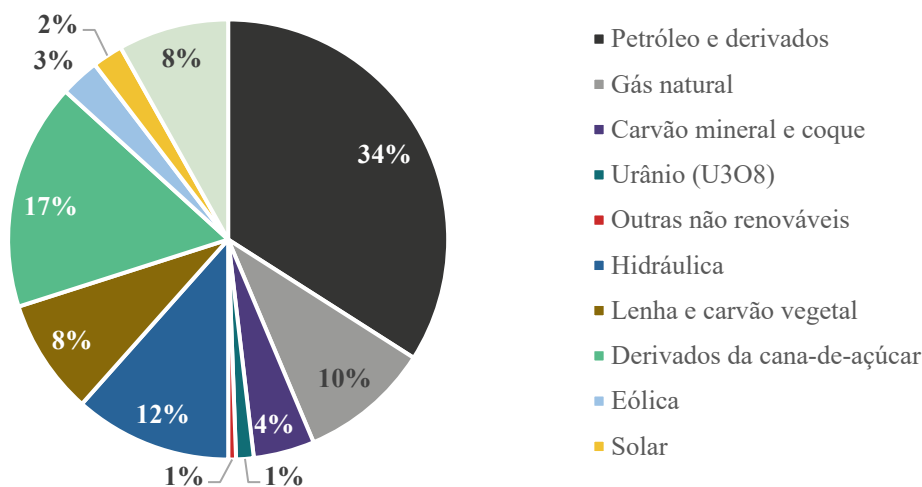
Nesta seção, será apresentado os resultados preliminares da análise dos impactos econômicos da transição energética no setor de transportes, com base nos cenários estabelecidos. Vale destacar que esta pesquisa ainda não está completa, e os resultados apresentados refletem as primeiras simulações realizadas. O objetivo é avaliar os efeitos de diferentes trajetórias de transição sobre a produção, o emprego e a estrutura setorial da economia brasileira. A seguir, será descrito os cenários simulados e uma comparação dos impactos de cada um, destacando as mudanças na matriz energética e seus efeitos econômicos.

### **4.1 Cenário Base: Estrutura Atual da Matriz Energética do Transporte**

O Cenário Base reflete a estratégia energética vigente, onde o setor de transportes no Brasil continua a ser predominantemente alimentado por combustíveis fósseis, especialmente gasolina e diesel. Estes combustíveis dominam o consumo de energia no transporte rodoviário, que é o principal modal de transporte no país. Apesar do avanço na produção de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, sua participação na matriz energética do setor ainda é complementar, refletindo um padrão de consumo altamente dependente de fontes não-renováveis. Esse cenário serve como referência para a comparação com os impactos de outros cenários, representando o ponto de partida para a análise da transição energética.

A Figura 1 mostra a composição da oferta interna de energia, para o ano de 2024, no Brasil.

Figura 1 - Oferta Interna de Energia por Fonte, em 2024

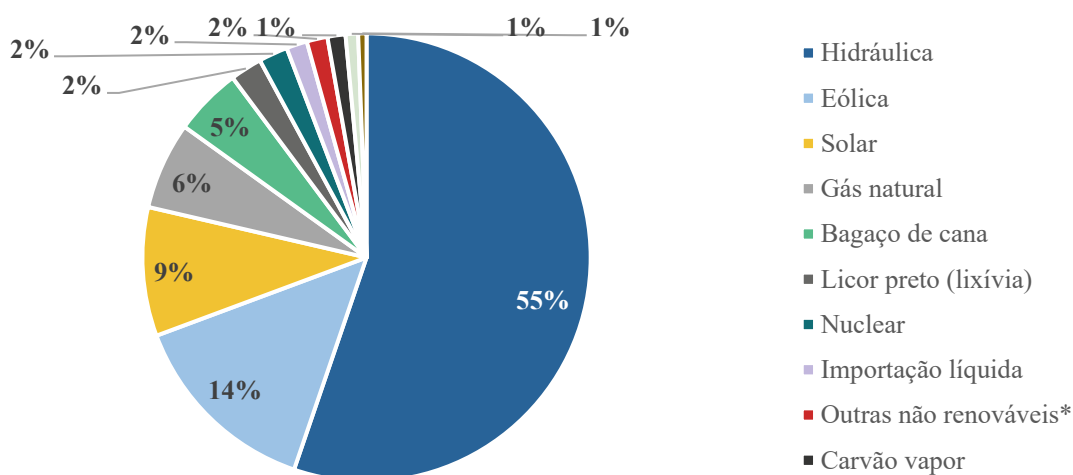


Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2025)

Diante do exposto, as fontes fósseis somam 50,0% (petróleo e derivados 34,0%, gás natural 9,6%, carvão mineral e coque 4,5%, urânio 1,3% e outras não renováveis 0,6%), enquanto as renováveis totalizam 49,0%. No grupo renovável, o bloco bioenergético se destaca - derivados da cana (16,7%), lenha e carvão vegetal (8,5%) e outras renováveis (8,1%) - superando a hidráulica (11,6%) e evidenciando o peso da biomassa no padrão brasileiro. Eólica (2,9%) e solar (2,2%) já aparecem na matriz, ainda com participação menor, indicando espaço para expansão.

A Figura 2 apresenta a distribuição da Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte no Brasil para o ano de 2024.

Figura 2 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte, em 2024



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2025)

Notas:

\* Inclui Óleo Combustível, Gás de Coqueria, Outras Secundárias e Outras Não-Renováveis

\*\* Inclui Lenha, Biodiesel e Outras renováveis



Na matriz elétrica, a participação de renováveis é muito elevada: 86,1% da oferta interna de eletricidade provém de fontes renováveis (88,0% ao incluir a importação líquida, majoritariamente hidrelétrica), conforme mostrado na Figura 2. Entre as fontes, destacam-se hidráulica (61,9%), eólica (11,8%), solar fotovoltaica (4,4%) e biomassa — bagaço de cana (4,7%) e lixo/líquido negro (2,5%) — além de outras renováveis (0,8%). No grupo não renovável, figuram gás natural (6,1%), nuclear (2,1%), carvão vapor (1,2%), óleo diesel (0,9%) e outras não renováveis (1,8%).

A Tabela 1 apresenta os valores de produção total ( $x$ ) por setor no Cenário Base, calculados a partir da inversa de Leontief ( $L$ ) e o vetor de demanda final ( $f$ ). A produção total de cada setor considera tanto os efeitos diretos da demanda final quanto os efeitos indiretos decorrentes das interações entre setores, permitindo estimar a quantidade de bens e serviços necessária para atender ao consumo das famílias, governo, investimentos e exportações. Dessa forma, a tabela fornece uma visão abrangente da importância relativa de cada setor na economia nacional, servindo como referência para analisar os impactos da transição energética nos demais cenários.

**Tabela 1** - Top 10 Setores por Produção Total (Cenário Base), em reais (R\$)

| Descrição                                                     | Produção Total ( $x$ ) |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|
| Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores  | 1.120.579,00           |
| Administração pública, defesa e seguridade social             | 858.764,00             |
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar  | 649.009,00             |
| Atividades imobiliárias                                       | 639.752,00             |
| Construção                                                    | 552.073,00             |
| Derivados de petróleo                                         | 433.811,27             |
| Transporte terrestre                                          | 398.813,04             |
| Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita | 398.037,00             |
| Educação pública                                              | 351.095,00             |
| Outros produtos alimentares                                   | 324.943,00             |
| Fonte: resultados da pesquisa                                 |                        |

A análise da produção total no Cenário Base revela que os setores de serviços e comércio são os mais impactados pela demanda final. O Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores, lidera com uma produção total de R\$ 1.121 milhões, seguido por setores essenciais como Administração pública, defesa e seguridade social (R\$ 859 milhões) e Intermediação financeira (R\$ 649 milhões). Esses setores têm um papel fundamental no PIB do Brasil, refletindo sua importância estrutural. Setores como Construção e Comércio de veículos automotores também se destacam, com produções de R\$ 552 milhões e R\$ 175 milhões, respectivamente.

Por outro lado, setores industriais e energéticos, como Derivados de petróleo e Transporte terrestre, com produções de R\$ 434 milhões e R\$ 399 milhões, continuam significativos, embora sua participação seja menor em comparação com comércio e serviços. Esses dados refletem a alta dependência do Brasil de combustíveis fósseis. Já setores como Fabricação de biocombustíveis e Fabricação de outros equipamentos de transporte apresentam



produções menores (R\$ 55 milhões e R\$ 42 milhões), indicando a menor representatividade da energia renovável no setor produtivo e a predominância de combustíveis fósseis na matriz energética.

## 5. Considerações Finais

Este trabalho estruturou uma leitura inicial dos impactos econômicos da transição energética no setor de transportes brasileiro a partir da matriz insumo-produto, com foco nacional e detalhamento energético. Ao quantificar efeitos diretos e indiretos sobre produto (PIB), emprego e estrutura produtiva, o Cenário Base permitiu mapear a relevância relativa dos setores mais conectados às cadeias de comércio e serviços, bem como daqueles intensivos em energia, oferecendo um retrato consistente da economia antes de qualquer substituição de fontes. Essa etapa de diagnóstico foi essencial para calibrar o modelo, validar consistências entre contas monetárias e fluxos energéticos e estabelecer a linha de base para as simulações.

Do ponto de vista metodológico, o uso da MIP com desagregação energética fortaleceu a capacidade de rastrear encadeamentos setoriais e intensidades de energia, criando condições para incorporar choques de demanda final e ajustes nos coeficientes técnicos.

Como agenda de pesquisa, a próxima fase implementará os quatro cenários originalmente propostos para o transporte: (1) descarbonização por redução de combustíveis fósseis; (2) expansão da eletromobilidade e uso de hidrogênio verde; (3) fomento e uso ampliado de biocombustíveis; e (4) ganhos de produtividade e eficiência dos setores limpos. Cada cenário será comparado ao Cenário Base, mensurando variações no PIB, no emprego e na estrutura produtiva, além de efeitos distributivos entre setores. A ênfase recairá sobre a intensidade energética setorial, os encadeamentos de demanda e as mudanças na composição dos insumos.

Por fim, reforça-se que os resultados apresentados até aqui dizem respeito exclusivamente ao Cenário Base. A materialização dos cenários (1) a (4) permitirá avaliar a heterogeneidade dos impactos da transição energética e oferecer subsídios mais precisos para políticas públicas: desde a priorização de investimentos em infraestrutura e inovação até instrumentos de mitigação de custos de ajuste setorial. Com isso, espera-se avançar de um diagnóstico estático para uma análise contrafactual robusta, capaz de informar escolhas de política alinhadas à descarbonização, à competitividade e ao emprego.

## REFERÊNCIAS

MONTEIRO NETO, A. Transição energética: de que falamos afinal? Contribuições ao debate sobre implementação de políticas públicas. <https://www.ipea.gov.br>, dez. 2024.

BARBOSA, Marcelo Werneck; de SOUSA, Paulo Renato; de OLIVEIRA, Leise Kelli. The effects of barriers and freight vehicle restrictions on logistics costs: A comparison before and during the COVID-19 pandemic in Brazil. *Sustainability*, v. 14, n. 14, p. 8650, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14148650>.

BINZ, Christian; TRUFFER, Bernhard; COENEN, Lars. Why space matters in technological innovation systems—Mapping global knowledge dynamics of membrane bioreactor technology. *Research Policy*, v. 43, n. 1, p. 138–155, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733313001182>.



CATAIA, Márcio; DUARTE, Luciano. Território e energia: crítica da transição energética. Revista da ANPEGE, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5418/ra2022.v18i36.16356>.

CORREA, Vivian Helena Capacle; RAMOS, Pedro. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. Revista de economia e sociologia rural, v. 48, p. 447-472, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032010000200009>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) a. Balanço Energético Nacional 2025: ano base 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) b; FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS (FIPE). *Metodologia para construção de uma Matriz Insumo-Produto com detalhamento dos setores energéticos*. Nota Técnica EPE/DEA/SEE/013/2023. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA (EPL). Plano Nacional de Logística 2035. Brasília: EPL, 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/planejamento-integrado-de-transportes/PNL\\_2035v1291021.pdf](https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/planejamento-integrado-de-transportes/PNL_2035v1291021.pdf)

FALCONE, Pasquale Marcello. Sustainable energy policies in developing countries: a review of challenges and opportunities. *Energies*, v. 16, n. 18, p. 6682, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6682>

FERREIRA, Lindomayara França; SANTANA, José Ricardo de; RAPINI, Márcia Siqueira. *O setor energético no Brasil: um debate sobre a potencialidade das fontes renováveis no contexto ambiental e tecnológico*. Revista de Desenvolvimento Econômico – RDE, v. 2, n. 49, p. 226–255, ago. 2021. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/download/7141/4477>.

GONÇALVES, Daniel N. S.; GOES, George V.; D'AGOSTO, Márcio A. Transição energética no Brasil: um cenário compatível com o Acordo de Paris para o setor de transportes até 2050. *Climate Transparency*, março 2020. Disponível em: <http://www.ltc.coppe.ufrj.br/src/uploads/2020/10/brazil-transport-policy-paper-pt.pdf>.

HANSEN, Teis; COENEN, Lars. The geography of sustainability transitions: Review, synthesis and reflections on an emergent research field. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 17, p. 92–109, 2015. Disponível em: <https://lup.lub.lu.se/search/files/1568556/4857540.pdf>.

HILGEMBERG, Emerson Martins; GUILHOTO, Joaquim J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 49–99, jan./abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/zxQMLWGKxkxbspcyzqBbrsy/>.

HOEGH-GULDBERG, Ove; ALLEY, Richard B.; ALLISON, Ian; ANDERSON, David; ARBLASTER, Julie M.; BINDER, Lisa; ...; ZHANG, Xuebin. *Impacts of 1.5°C global*



warming on natural and human systems. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 1, p. 1–6, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-017-0031-z>. Acesso em: 25 abr. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). *Modelo insumo-produto aplicado ao BNDES*. Boletim de Macroeconomia do Desenvolvimento, n. 74, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11582/6/BMT74\\_modelo\\_insumo.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11582/6/BMT74_modelo_insumo.pdf).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) a. CO<sub>2</sub> emissions in 2022: growth in emissions lower than feared. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) b. *Global Energy Review 2022*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2022>.

JACOBSON, Mark Z.; DELUCCHI, Mark A.; CAMERON, Mary A.; COUGHLIN, Stephen J.; PALMER, Frances C.; SMITH, Miles M. Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 145 countries. *Energy & Environmental Science*, [S.l.], v. 15, n. 6, p. 1584–1602, jun. 2022. Disponível em: <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/145Country/22-145Countries.pdf>.

JANNUZZI, Gilberto de Martino. Transição energética no Brasil. *Cienc. Cult.* [online]. 2024, vol.76, n.3, pp.01-13. ISSN 0009-6725. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/2317-6660.20240063>.

LEONTIEF, Wassily. *The Structure of American Economy, 1919–1929: An Empirical Application of Equilibrium Analysis*. Harvard University Press, 1941.

MARKARD, Jochem; ROSENBLOOM, Daniel. Phases of the net-zero energy transition and strategies to achieve it. *arXiv*, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2311.09472>.

MILLER, Ronald E.; BLAIR, Peter D. *Input-output analysis: foundations and extensions*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MONTEIRO NETO, Aristides. Transição energética: de que falamos afinal? Contribuições ao debate sobre implementação de políticas públicas. Boletim Regional, Urbano e Ambiental, Brasília, n. 32, p. 11–24, jun./dez. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/15999>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>.

RIMPAS, Dimitrios; BARKAS, Dimitrios E.; ORFANOS, Vasilios A.; CHRISTAKIS, Ioannis. Decarbonizing the Transportation Sector: A Review on the Role of Electric Vehicles Towards the European Green Deal for the New Emission Standards. *Air*, v. 3, n. 2, p. 10, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/air3020010>.

SACHS, Jeffrey D. *The Age of Sustainable Development*, New York Chichester, West Sussex: Columbia University Press, 2015, pp. 393-446. <https://doi.org/10.7312/sach17314-014>



SANTANA, Bárbara; MADZIEL, Maksymilian. *Transportation systems in Brazil: an analysis of the current situation and future infrastructure plans*. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333419678\\_Transportation\\_systems\\_in\\_Brazil\\_-\\_an\\_analysis\\_of\\_the\\_current\\_situation\\_and\\_future\\_infrastructure\\_plans](https://www.researchgate.net/publication/333419678_Transportation_systems_in_Brazil_-_an_analysis_of_the_current_situation_and_future_infrastructure_plans).

SANTOS, Mahatma Ramos dos et al. *Transição energética: geopolítica, corporações, finanças e trabalho*. Rio de Janeiro: Editora Telha, 2023. ISBN 978-65-5412-498-0. Disponível em: <https://ineep.org.br/transicao-energetica-geopolitica-corporacoes-financas-e-trabalho/>.

SILVA, Marcos Edmar Ramos Alvares da; SOARES, Mário Lúcio Quintão. Gênese do setor elétrico brasileiro. *Revista Direito Ambiental e Sociedade*, v. 11, n. 2, p. 179–206, maio/ago. 2021. Disponível em: <https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/download/10365/4731/38476>.

SILVA, Marcos Paulo Novais. *Projeção de emissão de CO2 no Brasil, para o período 2006 a 2015: uma análise com base na integração de modelos macroeconômico e insumo-produto*. 2009.

TOSUN, Jale; RINSCHIED, Adrian. The Clean Energy Ministerial: Motivation for and policy consequences of membership. *International Political Science Review*, v. 42, n. 1, p. 114-129, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0192512120942303>.