

# EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA E O DESEMPENHO DA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO BRASILEIRA

## GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND THE PERFORMANCE OF THE BRAZILIAN MANUFACTURING INDUSTRY

Bruna Fabiane Silva Lopes<sup>1</sup>

Carlos Roberto Souza Carmo<sup>2</sup>

### RESUMO:

Este estudo investiga a associação entre os volumes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mensurados segundo o Potencial de Aquecimento Global (GWP-AR5), e os indicadores econômicos de diferentes subsetores industriais brasileiros, com ênfase na indústria de transformação. A pesquisa utiliza dados anuais extraídos de fontes oficiais como o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) e o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). A análise estatística foi conduzida por meio do coeficiente de correlação de Spearman, adequado para variáveis com distribuição não paramétrica. Os resultados revelam correlações positivas e significativas entre os níveis de emissão e os indicadores de receita industrial, especialmente nos segmentos de maior intensidade produtiva. A indústria de transformação demonstrou forte associação com os volumes de CO<sub>2</sub>, evidenciando sua relevância na dinâmica ambiental brasileira. A pesquisa contribui para o debate sobre transição energética e desenvolvimento sustentável, oferecendo subsídios empíricos para políticas públicas voltadas à descarbonização da atividade econômica.

**PALAVRAS-CHAVE:** sustentabilidade industrial; indicadores econômicos; estatística não paramétrica; matriz energética; políticas públicas.

### ABSTRACT:

This study investigates the association between carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) volumes, measured according to the Global Warming Potential (GWP-AR5), and economic indicators of different Brazilian industrial subsectors, with emphasis on the manufacturing industry. The research uses annual data extracted from official sources such as the National Emissions Registry System (SIRENE) and the IBGE Automatic Recovery System (SIDRA). Statistical analysis was conducted using Spearman's correlation coefficient, suitable for variables with

---

<sup>1</sup> Graduada pela Faculdade de Ciências Contábeis (FACIC). Universidade Federal de Uberlândia (UFU) Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-5898-9085>. e-mail: [fabianebruna96@gmail.com](mailto:fabianebruna96@gmail.com).

<sup>2</sup> Pós-doutorado pela Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP (FZEA-USP) (2024). Doutor pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) (2020). Mestre em Ciências Contábeis pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP) (2008). Especialização em Ciência de Dados e *Big Data Analytics* (2024). Especialização em *Data Mining* (2024). Especialização em Análise e Desenvolvimento de Sistemas em Python (2023). MBA em Controladoria e Finanças (2001). Bacharel em Ciências Contábeis (1999). Professor da Faculdade de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Uberlândia (FACIC-UFU). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3806-9228>. e-mail: [carlosjj2004@hotmail.com](mailto:carlosjj2004@hotmail.com).

nonparametric distribution. The results reveal positive and significant correlations between emission levels and industrial revenue indicators, especially in high-output segments. The manufacturing industry showed a strong association with CO<sub>2</sub> volumes, highlighting its relevance in Brazil's environmental dynamics. The study contributes to the debate on energy transition and sustainable development, offering empirical evidence to support public policies aimed at decarbonizing economic activity.

**KEY-ORDS:** sustainability; economic indicators; nonparametric statistics; energy matrix; public policies.

## 1 Introdução

As mudanças climáticas têm se imposto como um dos maiores desafios globais do século XXI, exigindo ações coordenadas entre nações, governos, empresas e sociedade civil. A intensificação do efeito estufa, provocada principalmente pela emissão de gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), está diretamente relacionada às atividades humanas, com destaque para os setores industriais. Nesse contexto, o Acordo de Paris, firmado em 2015, estabeleceu metas ambiciosas para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE), mobilizando os países signatários, incluindo o Brasil, a adotarem estratégias voltadas à transição energética e ao desenvolvimento sustentável.

O setor industrial brasileiro, especialmente a indústria de transformação, desempenha papel estratégico na economia nacional, sendo responsável por grande parte da geração de empregos, da produção de bens de consumo e da arrecadação fiscal. No entanto, essa relevância econômica vem acompanhada de impactos ambientais significativos, sobretudo no que se refere às emissões de CO<sub>2</sub> provenientes dos processos produtivos. Diante da necessidade de conciliar crescimento econômico com responsabilidade ambiental, torna-se fundamental compreender as interações entre o desempenho industrial e os níveis de emissão de GEE.

Nesse sentido, esta pesquisa teve por objetivo geral investigar a relação entre as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), no âmbito do setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (*Industrial Processes and Product Use* ou IPPU), e o desempenho da atividade industrial brasileira entre os anos de 2007 e 2020, com ênfase na indústria de transformação. Para tanto, os seguintes passos essenciais foram seguidos: (i) constituir uma plataforma teórica para suporte da pesquisa; (ii) levantar informações referentes às variáveis de pesquisa envolvidas neste processo científico-investigativo; (iii) analisar a correlação entre os volumes de emissão de CO<sub>2</sub> e os indicadores de receita industrial agregada; (iv) examinar os padrões de associação entre emissões e os diferentes segmentos da indústria de transformação; e (v)

discutir os resultados à luz do referencial teórico sobre desenvolvimento sustentável e transição energética.

Do ponto de vista empírico, a pesquisa se justifica pela escassez de estudos que abordem de forma integrada os dados de emissões industriais e os indicadores econômicos nacionais, com atenção para os respectivos volumes de atividade produtiva, aqui representados pelos totais produzidos e comercializados de cada segmento. A utilização de séries temporais compatíveis e fontes oficiais, como o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) e o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), confere robustez à análise e permite identificar padrões relevantes para a formulação de políticas públicas. Além disso, a aplicação de métodos estatísticos não paramétricos, como o coeficiente de Spearman, é adequada para lidar com distribuições não normais, comuns em dados ambientais e econômicos.

Sob a perspectiva teórica, a pesquisa contribui para o aprofundamento das discussões sobre os impactos da industrialização no contexto das mudanças climáticas. Ao relacionar o desempenho econômico-industrial com os níveis de emissão de CO<sub>2</sub>, o estudo dialoga com abordagens que defendem a necessidade de reestruturação dos modelos produtivos vigentes. A literatura sobre transição energética, inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental serve como base para interpretar os resultados e propor caminhos para a descarbonização da indústria brasileira.

Espera-se que os resultados obtidos possam oferecer contribuições relevantes, tanto no plano empírico quanto teórico. No campo prático, os achados podem subsidiar a elaboração de estratégias industriais mais alinhadas às metas climáticas, promovendo o equilíbrio entre crescimento econômico e preservação ambiental. No plano acadêmico, a pesquisa amplia o entendimento sobre as interações entre atividade industrial e emissões de GEE, fortalecendo o debate interdisciplinar sobre desenvolvimento sustentável e políticas de mitigação climática.

## **2 Referencial Teórico**

Em 2015, foi firmado o Acordo de Paris, um tratado internacional que reuniu diversos países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, incluindo o Brasil. O principal propósito desse acordo foi estabelecer diretrizes para a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a partir de 2020, com o intuito de enfrentar os impactos das mudanças climáticas que vêm se intensificando rapidamente (Brasil, 2021). Os países envolvidos comprometeram-se a elaborar estratégias voltadas à

redução dessas emissões, buscando limitar o aumento da temperatura média global a no máximo 2°C em relação aos níveis anteriores à Revolução Industrial, com esforços adicionais para restringi-lo a 1,5°C (Brasil, 2021).

Após a conclusão do encontro, cada nação participante apresentou suas metas específicas de contribuição para alcançar os objetivos pactuados, conhecidas como Contribuições Nacionalmente Determinadas ou *Nationally Determined Contributions* (NDC) (Brasil, 2021). O Brasil, por sua vez, assumiu o compromisso de ampliar o uso de fontes renováveis de energia, com destaque para a bioenergia, como o biodiesel, além da energia eólica e solar.

Adicionalmente, o Brasil estabeleceu metas de emissão de gases do efeito estufa equivalentes a 1,3 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>e) até 2025 e 1,2 GtCO<sub>2</sub>e até 2030, utilizando como referência o Potencial de Aquecimento Global (GWP) em 100 anos, conforme o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), ou seja, GWP-100; IPCC AR5. Essas metas representam uma redução de 37% até 2025 e de 43% até 2030, tomando como base o nível de emissões registrado em 2005, que foi de 2,1 GtCO<sub>2</sub>e (GWP-100; IPCC AR5) (Brasil, 2023a).

O efeito estufa é um processo natural que ocorre na Terra, provocado pela presença de gases na atmosfera que retêm a radiação infravermelha, sendo essencial para manter a temperatura adequada à vida no planeta, impedindo que ela caia drasticamente (Assad *et al.*, 2019). Contudo, as atividades humanas têm intensificado esse fenômeno, elevando a concentração dos Gases do Efeito Estufa (GEE) e acelerando o aquecimento global por meio da emissão de poluentes, da exploração de recursos florestais e do solo, e da queima de combustíveis fósseis, entre outros fatores (Anderson *et al.*, 2020; Assad *et al.*, 2019). Os principais gases envolvidos nesse processo são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e ozônio (O<sub>3</sub>), sendo o CO<sub>2</sub> o mais impactante em termos de efeito climático (Assad *et al.*, 2019). Além disso, a ação humana introduziu novos compostos químicos na atmosfera, como os clorofluorcarbonos (CFC), hidrofluorcarbonos (HFC), hidrofluorclorocarbonos (HFCC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) (Assad *et al.*, 2019).

O processo de intensificação do aquecimento global teve início após a Primeira Revolução Industrial (Anderson *et al.*, 2020), ocorrida entre os anos de 1760 e 1850, período marcado pela substituição das fontes energéticas tradicionais pela queima de carvão mineral, essencial para operar os novos equipamentos industriais (Quéré *et al.*, 2019). Com o avanço tecnológico, as indústrias passaram a diversificar suas fontes de energia para atender à

crecente demanda, incorporando sistemas como caldeiras, fornos, motores, geração própria e secadores (Lee *et al.*, 2022). Entre as décadas de 1960 e 1970, houve um aumento significativo nas emissões de CO<sub>2</sub>, impulsionado pelas fontes energéticas predominantes naquele período. Contudo, após esse intervalo, observou-se uma desaceleração no ritmo de crescimento das emissões, atribuída à transição do carvão para outras fontes como gás natural, petróleo e energia nuclear (Quéré *et al.*, 2019).

O carvão mineral desempenhou papel relevante não apenas como combustível para o setor industrial, mas também como vetor econômico nas regiões onde há jazidas, especialmente no sul do Brasil, que concentra as maiores reservas nacionais (Zanette; Camilo, 2023). No entanto, esse desenvolvimento econômico veio acompanhado de impactos ambientais significativos, uma vez que a mineração contribui para o desequilíbrio ecológico e o aumento das emissões de gases do efeito estufa (Zanette; Camilo, 2023).

O gás natural mais utilizado é aquele associado à extração de petróleo, o que significa que sua produção está diretamente vinculada à exploração de óleo. Cerca de 80% da produção nacional ocorre em plataformas offshore, com destaque para os campos localizados nas bacias de Campos e Santos (Brasil, 2020). Já os 20% restantes são provenientes da produção onshore, concentrada nas bacias de Solimões e Parnaíba (Brasil, 2020). Esse recurso é empregado como combustível em veículos específicos e em diversos segmentos industriais, como os de química, cerâmica, ferro-gusa, aço, papel, celulose e alimentos. Além disso, é utilizado como matéria-prima na fabricação de fertilizantes nitrogenados e metanol, e também como fonte energética em usinas termelétricas, atuando como suporte ao sistema hidrelétrico nacional (Brasil, 2020).

Para que o setor industrial global consiga atender às metas estabelecidas pelo Acordo de Paris, seria necessário reduzir entre 50% e 100% das emissões registradas em 2019 (Shao *et al.*, 2022). Nesse cenário, as fontes de energia renováveis surgem como alternativas viáveis para mitigar as emissões de GEE, especialmente o dióxido de carbono. A adoção e expansão de tecnologias baseadas em energia solar e eólica, por serem limpas e naturais, contribuem diretamente para a descarbonização dos processos industriais (Yu *et al.*, 2022).

Por outro lado, o avanço da industrialização está diretamente relacionado ao crescimento populacional. À medida que a população aumenta, a produção industrial também se expande para atender às suas demandas (Xavier, 2020). Essa correlação pode ser observada em momentos históricos marcantes, como a Primeira Revolução Industrial, que provocou o

êxodo rural, a transição da produção artesanal para o uso de máquinas, o aumento da produtividade e a busca por melhores condições de vida (Pasquini, 2020).

O crescimento populacional impulsiona o desenvolvimento econômico de uma nação, uma vez que aumenta a necessidade de produção de bens para atender às demandas da sociedade (Ceretta; Sari; Ceretta, 2020; Leal; Bugarin, 2023). Para suprir essa demanda, é indispensável recorrer a diferentes fontes de energia, o que acarreta impactos ambientais, como a exploração de recursos naturais, entre eles o carvão mineral, o petróleo e o gás natural, amplamente utilizados nos processos industriais (Valeretto; Constantino, 2020).

Para sustentar o avanço econômico, o consumo energético torna-se essencial, o que contribui para o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Valeretto; Constantino, 2020). Nesse contexto, as alterações no uso e na cobertura do solo, provocadas por práticas como desmatamento, expansão agropecuária, desertificação e urbanização, geram impactos ambientais e sociais. Isso ocorre porque o solo contém carbono (C) na forma de matéria orgânica, que desempenha funções importantes como o sequestro de carbono atmosférico. Quando há perda de biomassa e de carbono orgânico, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera tende a se elevar (Bettioli *et al.*, 2023).

O aumento da frota de veículos também contribui significativamente para as emissões de GEE, devido à queima de combustíveis como diesel e gasolina, que liberam CO<sub>2</sub> durante o funcionamento dos motores (Leite; Delone; Miraglia, 2020). Esses combustíveis têm como base o petróleo, um recurso natural de grande relevância, utilizado na produção de gasolina, diesel e querosene de aviação (Prauchner *et al.*, 2022).

Com o avanço da modernização social, houve melhorias na qualidade de vida e na produção de bens e serviços, o que elevou a demanda por energia. Isso evidencia que o crescimento econômico está diretamente relacionado ao aumento do consumo energético e, por consequência, ao crescimento das emissões de GEE, especialmente pela utilização de combustíveis fósseis nas matrizes energéticas. Atualmente, a indústria é responsável por mais de 27% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (Valeretto; Constantino, 2020). Para atender à demanda energética industrial, as principais fontes utilizadas são o petróleo, o gás natural e o carvão mineral, todos de origem fóssil (Santos *et al.*, 2022).

O aumento da renda da população, impulsionado por melhorias salariais e por políticas públicas de redistribuição, como o programa Bolsa Família, estimula o consumo de bens e serviços manufaturados. Esse crescimento na demanda intensifica os processos industriais, especialmente na indústria de transformação, responsável pela produção de itens essenciais ao cotidiano, como alimentos, calçados e veículos (Azevedo; Fonseca; Missio, 2022; Colombo,

2021). Entre os setores industriais com maior impacto ambiental estão aqueles voltados à produção de bens de consumo e os que abastecem outras cadeias produtivas, como os segmentos de siderurgia, alumínio, cimento, produtos químicos, cal, vidro e gases de refrigeração não regulados pelo Protocolo de Montreal (Valeretto; Constantino, 2020). Essas atividades industriais têm contribuído para o aumento das emissões globais de GEE, com destaque para os 36,3 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> lançadas na atmosfera por meio da queima de combustíveis fósseis (Santos *et al.*, 2022).

A indústria de transformação desempenha papel estratégico no desenvolvimento econômico nacional, pois transforma matérias-primas em produtos finais indispensáveis à subsistência, além de gerar empregos nas regiões onde estão localizados seus polos produtivos (Colombo, 2022; Silva; Diniz, 2020). Dentro desse setor, existem subsetores que fornecem insumos para outras áreas industriais, como a fabricação de calçados e artigos de couro, impressão e reprodução de gravações, e a produção de equipamentos de transporte que não incluem veículos automotores. Apesar de apresentarem menor volume de produção, esses subsetores ainda utilizam combustíveis fósseis como fonte de energia, contribuindo para as emissões de CO<sub>2</sub> (Colombo, 2022; Silva; Diniz, 2020).

Para que o desenvolvimento ocorra de forma sustentável, é necessário que o Estado promova políticas voltadas à inovação no uso dos recursos naturais, com base em avanços tecnológicos (Leal; Bugarin, 2023). Contudo, países com estruturas econômicas menos diversificadas, centradas na produção de bens e serviços, podem enfrentar perda de competitividade ao buscar esse tipo de crescimento sustentável. Isso exige mudanças estruturais em suas economias, ao contrário de países com sistemas mais complexos, como aqueles cuja base econômica está na exportação de commodities (Leal; Bugarin, 2023). Uma das estratégias para alcançar esse equilíbrio entre crescimento e sustentabilidade é a adoção de fontes renováveis de energia como a solar, eólica, hidrelétrica e biomassa, que não emitem CO<sub>2</sub> e representam alternativas viáveis para substituir os combustíveis fósseis nas matrizes energéticas industriais (Santana, 2020).

O Brasil possui grandes reservatórios que favorecem a geração de energia hidrelétrica. Em 2021, essa fonte representava 53,4% de um total de 78,1% das energias renováveis disponíveis no país. Esse percentual aumentou até 2024, atingindo 55% dentro de um universo de 84,25% de fontes renováveis (Werner; Lázaro, 2023; Brasil, 2024c). Esse crescimento está diretamente relacionado aos altos níveis de industrialização e urbanização da região Sudeste, com destaque para os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais,

especialmente a capital Belo Horizonte (Cataia; Duarte, 2022). Para melhorar a eficiência das usinas hidrelétricas, foi proposta a implementação de sistemas reversíveis, capazes de reutilizar a água que passa pelas turbinas, redirecionando-a ao reservatório para reabastecimento. Essa tecnologia visa manter a geração de energia mesmo em períodos de seca, quando os custos são mais elevados e há necessidade de complementar a produção com fontes como as termelétricas, que emitem GEE (Levi *et al.*, 2024). As usinas hidrelétricas são consideradas instrumentos eficazes para o desenvolvimento econômico, e em 2022, a geração elétrica no Brasil alcançou 427.114 GigaWatt-hora (GWh) (Lima *et al.*, 2023).

O Brasil apresenta condições naturais bastante favoráveis para o avanço da energia eólica, especialmente por possuir vastas regiões com ventos intensos e constantes. A geração desse tipo de energia depende de fatores como ventos locais, variações sazonais, ventos continentais, além da latitude, altitude e características topográficas do terreno (Santos; Araujo, 2023). Em 2012, essa fonte energética ocupou a segunda posição nos leilões promovidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que conectam geradores e distribuidoras de energia. Na ocasião, o custo por MegaWatt-hora (MWh) foi semelhante ao das grandes hidrelétricas, embora a produção por meio de usinas eólicas ainda envolva custos superiores aos das hidrelétricas e termoelétricas (Santos; Araujo, 2023). Esse cenário contribuiu para que, ao longo da última década, o país passasse a fabricar internamente cerca de 80% dos componentes dos aerogeradores, graças à consolidação de uma cadeia produtiva formada por empresas como Wobben, Impsa, Gamesa Siemens, entre outras (Silva, 2023).

Com isso, em 2021, o Brasil alcançou a sexta posição entre os países que mais produzem energia eólica onshore, ocupando o terceiro lugar no ranking do Global Wind Energy Council (GWEC), com 3,8 GigaWatts (GW), ficando atrás apenas da China (30,7 GW) e dos Estados Unidos (12,7 GW) (Silva, 2023). Para que uma usina eólica funcione adequadamente, é necessário instalar torres, aerogeradores, sistemas de transmissão e subestações. Em 2022, o setor recebeu investimentos de R\$ 31,86 bilhões, representando 42% do total aplicado em fontes renováveis. Já em 2021, a energia eólica passou a compor 13,4% da matriz elétrica brasileira, e esse número cresceu para 14,8% em 2024 (Santos; Araujo, 2023; Brasil, 2024c).

Além da energia dos ventos, o Brasil também pode aproveitar seu elevado potencial de incidência solar para gerar eletricidade. A luz solar é abundante em todo o território nacional, o que favorece a expansão da energia fotovoltaica (Silva *et al.*, 2021). Essa alternativa energética contribui para a redução das emissões de GEE e pode gerar economia a longo prazo, já que sua instalação exige principalmente placas de aço galvanizado com silício,

suportes de alumínio, inversores e transformadores — itens que tiveram seus preços reduzidos nos últimos anos devido à alta demanda e ao avanço na eficiência dos materiais. Além disso, a tributação sobre a importação desses componentes é baixa (Costa *et al.*, 2020). A economia gerada decorre do fato de que esse sistema não requer combustíveis adicionais para funcionar, utilizando apenas a luz solar, que é gratuita, e demandando pouca manutenção (Costa *et al.*, 2020).

Considerando apenas a geração centralizada de energia solar fotovoltaica, ou seja, aquela proveniente de grandes campos solares, o Brasil já conta com cerca de 18 mil instalações espalhadas pelo território nacional, totalizando uma capacidade de 10,3 Gigawatts (Brasil, 2024a). Em relação à participação na rede elétrica nacional, essa fonte representava 2% da capacidade total, chegando a 6,28% em 2024, com projeções de atingir 10% até 2030, conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (Botezeli *et al.*, 2022; Brasil, 2024c).

A biomassa também se destaca como uma fonte energética eficiente, amplamente utilizada na produção de eletricidade e biocombustíveis. A cana-de-açúcar e seus resíduos são os principais insumos dessa matriz, e o Brasil, como um dos maiores produtores mundiais da cultura, ocupa posição privilegiada na geração desse tipo de energia (Mantovani *et al.*, 2022). Entre os benefícios da biomassa estão os custos reduzidos, o reaproveitamento de resíduos que seriam descartados e a menor emissão de poluentes em comparação aos combustíveis fósseis (Mantovani *et al.*, 2022).

A geração de energia por biomassa ocorre por meio da queima dos resíduos, produzindo calor em usinas termelétricas que abastecem residências, comércios e indústrias. Essa fonte representa 8,4% dentro do total de 84,25% das energias renováveis no país (Brasil, 2024b; 2024c). Além da cana-de-açúcar, que gerou 12.410 MW de potência em 422 usinas, também são utilizados outros materiais como licor negro, resíduos florestais, lenha e biogás (Brasil, 2024b).

A transição energética configura-se como uma transformação essencial no modelo vigente de geração e uso de energia, ao substituir gradualmente a dependência de combustíveis fósseis por fontes renováveis, com o propósito de consolidar uma economia de baixo carbono. Nesse cenário, a ocorrência de eventos climáticos extremos como ondas de calor, enchentes, incêndios em áreas florestais e períodos prolongados de seca, entre outros, reforça a necessidade urgente de implementar ações voltadas à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) (Lima; Miroslava, 2022).

Diante desse desafio, torna-se necessário revisar profundamente os processos de produção, distribuição e consumo de energia, com vistas à neutralidade de carbono e à reestruturação sustentável da sociedade (Lima; Miroslava, 2022; Pereira, 2023). Essa transição exige mudanças estruturais significativas, tanto na infraestrutura quanto nos hábitos sociais, incluindo a substituição dos combustíveis fósseis por alternativas renováveis. Tais iniciativas estão em consonância com as metas do Acordo de Paris e são fundamentais para enfrentar os impactos das mudanças climáticas e construir um futuro ambientalmente responsável (Lima; Miroslava, 2022).

### 3 Metodologia de Pesquisa

Esta pesquisa investiga a relação entre as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e o desempenho da atividade industrial brasileira. Para tanto, foram coletados dados anuais de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), em gigagramas (Gg), referentes exclusivamente ao setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), conforme registros do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil. As medições seguem o Potencial de Aquecimento Global (GWP) do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC, sendo adotada a métrica CO<sub>2</sub>-GWP-AR5 (Brasil, 2023b).

Como indicador da atividade industrial, foram utilizados os valores anuais de receita (em mil reais) do setor industrial nacional, incluindo o total agregado e os dados segmentados da indústria de transformação. Os dados foram extraídos do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), com base na Pesquisa Industrial Anual – Empresa (PIA-Empresa), que classifica os setores conforme a CNAE 2.0 (IBGE, 2021).

A amostra da pesquisa compreende o período de 2007 a 2020, intervalo em que há compatibilidade entre as séries temporais de emissões (SIRENE) e de receita industrial (PIA-Empresa). A análise estatística iniciou-se com o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade das distribuições. Como algumas séries, incluindo as de CO<sub>2</sub>-GWP-AR5 e de receita de alguns dos segmentos industriais (confecção de artigos do vestuário e acessórios; impressão e reprodução de gravações; e metalurgia) não apresentaram distribuição normal, optou-se por utilizar o coeficiente de correlação (r) de Spearman, mais adequado para variáveis com comportamento monotônico e distribuição não paramétrica (Sousa, 2019).

O coeficiente de Spearman foi aplicado com níveis de significância de 1% e 5%, visando identificar possíveis associações entre as emissões de CO<sub>2</sub> e os níveis de receita industrial. Essa abordagem permite avaliar a intensidade e o sentido da correlação entre

variáveis, independentemente de suas unidades de medida (Sousa, 2019). A aplicação de métodos não paramétricos tem se mostrado eficaz em estudos ambientais, especialmente na análise de fenômenos complexos como os impactos industriais sobre o clima (Sampaio *et al.*, 2024).

Diante da natureza empírica dos dados e da abordagem quantitativa adotada, esta investigação caracteriza-se como um estudo científico voltado à compreensão de interações ambientais associadas à dinâmica econômico-industrial brasileira.

#### 4 Análise e Discussão dos Resultados

A indústria de transformação é responsável pela fabricação de bens de consumo usados pela população em diversas situações, então é exigida uma atividade industrial constante e intensa para que seja possível suprir as necessidades da sociedade, considerando a relevância dos itens que são produzidos pela indústria de transformação (Colombo, 2022). Nesse sentido, a análise inicial dos dados revelou uma correlação positiva forte, com significância estatística de 0,01, conforme detalhamento contido na Tabela 1.

**Tabela 1** - Matriz de correlação entre emissões totais, segmento dos IPPU e volume de atividade industrial

Variáveis	CO <sub>2</sub> -GWP-AR5	Total dos IPPU	Indústrias de transformação
CO <sub>2</sub> -GWP-AR5	1,000	0,877**	0,864**
Total dos IPPU	0,877**	1,000	0,996**
Indústrias de transformação	0,864**	0,996**	1,000

\*\* A correlação é significativa no nível 0,01.

**Fonte:** elaborado pela autora, com base nos dados da pesquisa

A correlação de 0,877 entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o total dos IPPU sugere que, à medida que a receita dos segmentos industriais aumenta, há tendência de crescimento nas emissões. A correlação de 0,864 entre as emissões de CO<sub>2</sub> e a indústria de transformação reforça essa associação, indicando que esse setor contribui significativamente para as emissões. Essa relação é coerente com os estudos de Valeretto e Constantino (2020), que apontam o consumo energético como elemento essencial para sustentar o avanço econômico, ainda fortemente dependente de fontes fósseis como carvão, petróleo e gás natural. Sendo que, a indústria é responsável por mais de 27% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (Valeretto; Constantino, 2020), o que reforça a relevância dos dados observados.

A correlação quase perfeita entre o total dos IPPU e a indústria de transformação ( $r = 0,996$ ) evidencia que este setor é o principal motor da atividade industrial brasileira e, por consequência, um dos maiores emissores de CO<sub>2</sub>. Isso está alinhado com os apontamentos de

Colombo (2022) e Silva e Diniz (2020), que destacam a importância estratégica da indústria de transformação na geração de empregos e na produção de bens essenciais, mas também alertam para seu impacto ambiental.

Esse conjunto de evidências sugere que o desempenho econômico-industrial deste segmento está fortemente associado ao volume de emissões de CO<sub>2</sub>, o que reforça a necessidade de estratégias de descarbonização. Nesse sentido, a indústria de transformação, por sua representatividade e impacto, deve ser foco prioritário em políticas públicas voltadas à transição energética e à redução de GEE.

Ao caminhar para análise de correlação entre emissões e volume de atividade, por setores da indústria de transformação, a matriz de correlação de Spearman descrita na Tabela 2 revela que a maioria dos segmentos industriais apresenta correlação positiva forte e estatisticamente significativa com as emissões de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-GWP-AR5), indicando que o aumento da atividade econômica está associado ao crescimento das emissões.

**Tabela 2** - Matriz de correlação entre emissões e volume de atividade, por setores da indústria de transformação

Variáveis	CO <sub>2</sub> -GWP-AR5
Indústrias de transformação	0,864**
Fabricação de prod. alimentícios	0,811**
Fabricação de bebidas	0,829**
Fabricação de prod. do fumo	0,754**
Fabricação de prod. têxteis	0,855**
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	0,842**
Prep. de couros e Fabricação de art. de couro, ar. p/ viagem e calç.	0,670 **
Fabricação de prod. de madeira	0,859**
Fabricação de celulose, papel e prod. de papel	0,785**
Impres. e reprodução de gravações	0,380
Fabricação de coque e derivados do petróleo e de biocombustíveis	0,842**
Fabricação de prod. químicos	0,824**
Fabricação de prod. farmaq. e farmac.	0,855**
Fabricação de prod. de borracha e de mat. plástico	0,811**
Fabricação de prod. de minerais não-metálicos	0,754**
Metalurgia	0,829**
Fabricação de prod. de metal, exceto máq. e equip.	0,837**
Fabricação de equip. de informática, prod. eletr. e ópticos	0,916**
Fabricação de máq., aparelhos e mat. elétricos	0,864**
Fabricação de máq. e equip.	0,899**
Fabricação de veíc. automotores, reboq. e carroc.	0,864**
Fabricação de outros equip. de transp., exceto veíc. automotivos	0,591 *
Fabricação de móveis	0,877**
Fabricação de prod. diversos	0,873**
Manutenção, reparo e instalação de máq. e equip.	0,859**

\*\* A correlação é significativa no nível 0,01.

\* A correlação é significativa no nível 0,05.

**Fonte:** elaborado pela autora, com base nos dados da pesquisa.

Os segmentos com correlação mais elevada incluem a fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos ( $r = 0,916$ ), máquinas e equipamentos ( $r = 0,899$ ), móveis ( $r = 0,877$ ), produtos diversos ( $r = 0,873$ ) e materiais elétricos ( $r = 0,864$ ). Esses setores, além de apresentarem alta intensidade energética, estão fortemente integrados às cadeias produtivas nacionais, o que contribui para seu impacto ambiental. Tal evidência corrobora os apontamentos de Valeretto e Constantino (2020), que destacam os segmentos de bens de consumo duráveis e insumos industriais como vetores relevantes de emissões.

Outros setores tradicionais da indústria de transformação, como metalurgia ( $r = 0,829$ ), produtos químicos ( $r = 0,824$ ), alimentos ( $r = 0,811$ ) e bebidas ( $r = 0,829$ ), também apresentaram correlações fortes, reforçando a relação entre transformação de matérias-primas e emissão de CO<sub>2</sub>. Esses achados estão em consonância com o referencial teórico, que aponta a indústria de transformação como responsável por parcela significativa das emissões globais de GEE, especialmente pela utilização de combustíveis fósseis como petróleo, gás natural e carvão mineral (Santos *et al.*, 2022; Silva; Diniz, 2020).

Por outro lado, segmentos como impressão e reprodução de gravações ( $r = 0,380$ ) e fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotivos ( $r = 0,591$ ), apresentaram correlações mais baixas ou não significativas. Isso pode indicar menor intensidade energética ou menor escala de produção, além de possíveis avanços tecnológicos que reduziram a pegada de carbono desses setores.

A análise por segmentos reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à descarbonização da indústria, com foco nos setores mais emissores. A transição energética, conforme discutido por Lima e Miroslava (2022), exige mudanças estruturais na matriz energética e nos processos produtivos, com substituição gradual dos combustíveis fósseis por fontes renováveis como solar, eólica, hidrelétrica e biomassa. Tais iniciativas são fundamentais para alinhar o setor industrial às metas do Acordo de Paris e promover um desenvolvimento econômico ambientalmente responsável.

De uma maneira geral, os resultados obtidos por meio da análise estatística evidenciam uma correlação positiva significativa entre as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>-GWP-AR5) e o desempenho da atividade industrial brasileira, tanto no agregado quanto nos segmentos específicos da indústria de transformação. A aplicação do coeficiente de Spearman revelou que os setores com maior intensidade produtiva, como fabricação de equipamentos eletrônicos, máquinas, móveis e produtos químicos, apresentam os maiores índices de associação com os volumes de emissão, reforçando a hipótese de que o crescimento

econômico-industrial está diretamente vinculado ao aumento das emissões de gases do efeito estufa.

Esse padrão de correlação confirma o referencial teórico da pesquisa, segundo os quais a expansão industrial, impulsionada por fatores como crescimento populacional, aumento da renda e demanda por bens manufaturados, tende a intensificar o consumo energético e, conseqüentemente, a pressão ambiental. A indústria de transformação, por sua representatividade na estrutura econômica nacional, pode ser caracterizada como um dos principais vetores de impacto climático, exigindo atenção especial em políticas públicas voltadas à transição energética e à inovação tecnológica.

Além disso, a heterogeneidade observada entre os segmentos industriais, com especial atenção para segmentos da indústria de transformação de menor correlação, por exemplo, impressão e reprodução de gravações, sugere que a intensidade das emissões não é uniforme. Isso, por sua vez, pode denotar certa variabilidade conforme o tipo de insumo, escala produtiva e matriz energética utilizada. Tal constatação reforça a importância de abordagens segmentadas na formulação de estratégias de descarbonização, considerando as especificidades de cada setor produtivo.

## **5 Considerações Finais**

A presente pesquisa teve como objetivo investigar a relação entre as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), no âmbito do setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), e o desempenho da atividade industrial brasileira entre os anos de 2007 e 2020, com ênfase na indústria de transformação nacional. A partir de uma abordagem quantitativa e empírica, foram utilizados dados oficiais de emissões e receita industrial, com aplicação de métodos estatísticos não paramétricos, como o coeficiente de correlação de Spearman. O estudo se insere no contexto das discussões globais sobre mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável, especialmente à luz dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris.

Os resultados revelaram correlações positivas e estatisticamente significativas entre os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> e os indicadores de receita industrial, tanto no agregado quanto nos segmentos específicos da indústria de transformação. Setores como fabricação de equipamentos eletrônicos, máquinas, móveis, produtos químicos e farmacêuticos apresentaram os maiores coeficientes de correlação, indicando forte associação entre crescimento econômico e impacto ambiental. Esses achados reforçam a tese de que o avanço

industrial, ainda fortemente dependente de fontes fósseis, contribui diretamente para o aumento das emissões de gases do efeito estufa.

Além disso, observou-se que a indústria de transformação pode ser um dos principais vetores de emissões dentro do setor IPPU, sendo responsável por abastecer diversas cadeias produtivas e atender à crescente demanda por bens manufaturados. A heterogeneidade entre os segmentos industriais também foi evidenciada, com subsetores como impressão e reprodução de gravações apresentando correlações mais baixas ou não significativas. Essa diversidade aponta para a necessidade de estratégias segmentadas de descarbonização, considerando as especificidades produtivas e energéticas de cada setor.

Apesar da robustez metodológica e da consistência dos dados utilizados, a pesquisa apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. A análise foi restrita ao período de 2007 a 2020, devido à compatibilidade entre as séries temporais disponíveis e à própria disponibilidade de dados, o que pode limitar a observação de tendências mais recentes. Além disso, não foram incorporadas variáveis de controle como consumo energético direto, produtividade industrial ou políticas ambientais específicas, que poderiam enriquecer a compreensão das correlações observadas.

Para aprofundar essa investigação, estudos futuros podem incorporar modelos econométricos que avaliem a causalidade entre emissões e atividade industrial, como testes de Granger ou regressões multivariadas. Também seria relevante expandir o escopo temporal e incluir dados posteriores à 2020, especialmente considerando os impactos da pandemia de COVID-19 e as novas diretrizes climáticas internacionais. Outra possibilidade é a análise regionalizada das emissões industriais, considerando as especificidades econômicas e energéticas de cada estado brasileiro.

Além disso, investigações futuras podem explorar a relação entre inovação tecnológica e redução de emissões, avaliando o papel das fontes renováveis na reconfiguração da matriz energética industrial. Estudos comparativos entre países com diferentes níveis de industrialização também podem oferecer insights valiosos sobre estratégias de crescimento sustentável. Essas abordagens contribuirão para o avanço do conhecimento científico e para o fortalecimento de políticas públicas voltadas à transição energética e à mitigação dos impactos climáticos da atividade industrial.

## **Referências**

ANDERSON, R.; MERGULHÃO JÚNIOR, C.; STOFFES JUNIOR, M.; STEIN, R. Simulação do efeito estufa, da intensificação do efeito estufa pela presença de CO<sub>2</sub> e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio usando o Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 43, e20200355, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0355> . Acesso em: 19 dez. 2023.

ASSAD, D.; MARTINS, C.; CORDEIRO, M.; EVANGELISTA, A. Sequência de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. *In*: ASSAD, D.; MARTINS, C.; CORDEIRO, M.; EVANGELISTA, A. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, 2019. cap. 11. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1113064/ilpf-inovacao-com-integracao-de-lavoura-pecuaria-e-floresta> . Acesso em: 18 dez. 2023.

AZEVEDO, F.; FONSECA, D.; MISSIO, J. Distribuição de renda e regime de crescimento econômico no Brasil: avaliação e propostas. **Revista de Economia Política**, [s.l.], v.42, n.1, p.25-47, 2022. DOI: 10.1590/0101-31572021-3244. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rep/a/wHVYCJtPDb4DbpqfYKwsswK/?lang=pt>. Acesso em: 03 fev. 2024.

BETTIOL, W.; SILVA, A.; CERRI, P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, A. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. *In*: BETTIOL, W.; SILVA, A.; CERRI, P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, A. **EMBRAPA Meio Ambiente**, Brasília, 2023. cap. 10. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153147/entendendo-a-materia-organica-do-solo-em-ambientes-tropical-e-subtropical> . Acesso em: 04 fev. 2024.

BOTEZELI, K.; GOEHRING, N.; CANHA, N.; ALMEIDA, T. Análise do investimento industrial em energia solar fotovoltaica e armazenamento de energia – estudo de caso da Bruning Tecnometal. *In*: IX Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE, 2022, [s.l.]. **Anais**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, [s.l.], 2022, p. 1-8. Disponível em: [https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sbse/article/view/3111/2642](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/3111/2642). Acesso em: 20 mar. 2024.

BRASIL. Assessoria Especial de Comunicação Social; Ministério de Minas e Energia. **Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 22 mar. 2024.

BRASIL. Assessoria Especial de Comunicação Social; Ministério de Minas e Energia. **Saiba mais sobre a biomassa utilizada para gerar energia elétrica**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/saiba-mais-sobre-a-biomassa-utilizada-para-gerar-energia-eletrica#:~:text=O%20Brasil%20conta%20com%20637%20empreendimentos%20que%20utilizam,que%20fazem%20parte%20do%20Sistema%20Interligado%20Nacional%20%28SIN%29>. Acesso em: 23 mar. 2024.

BRASIL. Assessoria Especial de Comunicação Social; Ministério de Minas e Energia. **SIN ultrapassa a capacidade de 200 GW**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/sin-ultrapassa-a-capacidade-de-200-gw>. Acesso em: 23 mar. 2024.

BRASIL. Coordenação-Geral do Clima; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação; Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. **Acordo de Paris**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>. Acesso em: 18 dez. 2023.

BRASIL. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada**. Versão 4. Brasília, DF, 2023a. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG> . Acesso em: 18 dez. 2023.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Resultados da 6ª Edição das Estimativas MCTI (1990-2020)**. Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE): Emissões/Emissões de GEE por Setor. Publicado em 19/08/2021-15h58. Atualizado em 30/01/2023-14h23. Brasília-DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>. Acesso em: 09 abr. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Agência Nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis; Pré-sal Petróleo S.A.; Empresa de Pesquisa Energética; Banco Nacional do Desenvolvimento. **Estudo sobre o aproveitamento do gás natural do pré-sal**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/livros-e-revistas/arquivos/aproveitamentognpresal.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

CATAIA, M.; DUARTE, L. Território e energia: crítica da transição energética. **Revista da Anpage**, [s.l.], v. 18, n. 36, p. 764-791, 2022. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/anpage/article/view/16356>. Acesso em: 19 mar. 2024.

CERETTA, S.; SARI, J.; CERETTA, C. Relação entre Emissões de CO<sub>2</sub>, Crescimento econômico e energia renovável. **Revista Desenvolvimento em Questão**, [s.l.], v.18, n.50, 2020. DOI: 10.21527/2237-6453.2020.50.268-286. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75262392019> . Acesso em: 27 jan. 2024.

COLOMBO, A. Estrutura produtiva e encadeamentos setoriais no Brasil do século XXI: uma análise através de indicadores clássicos de insumo-produto. **Revista de Economia**, [s.l.], v. 44, p. 185-215, 2022. DOI: 10.5380/re.v44i83.83592. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/economia/article/view/83592>. Acesso em: 12 jan. 2025.

COSTA, C.; OLIVEIRA, F.; RABELO, H. PINHEIRO, B.; PIAZZAROLO, J. Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável? **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v.6, n.9, p.72637-72656, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/17385/14114> . Acesso em: 31 mar. 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Industrial Anual – Empresa (2021)**: Tabela 1853 - Dados gerais das empresas industriais com 1 ou mais pessoas ocupadas, segundo as divisões de atividades (CNAE 2.0). [S. l.]: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)©, IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1853>. Acesso em: 09 abr. 2024.

LEAL, M.; BUGARIN, S. Crescimento econômico e emissões de CO<sub>2</sub>: cointegração e consequências para a política econômica. **Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas**, [s.l.], p.58-67. 2023. Disponível em: <https://downloads.fipe.org.br/publicacoes/bif/bif512-58-67.pdf> . Acesso em: 20 jan. 2024.

LEE, H.; KIM, H.; CHOI, G.; KOO, Y. The impact of technology learning and spillovers between emission-intensive industries on climate policy performance based on an industrial energy system model. **Energy Strategy Reviews**, [s. l.], v. 43, e100898, set. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X22000943?via%3Dihub> Acesso em: 19 dez. 2023.

LEITE, P.; DEBONE, D.; MIRAGLIA, K. Emissões de gases do efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde. **Revista de Ciências da Saúde**. [s.l.], v.32, n.3, p.143-153, 2020. DOI: 10.14295/vittalle.v32i3. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/vittalle/article/view/12220/8382>. Acesso em: 20 jan. 2024.

LEVI, M.; RODRIGUEZ, J.; LAMAS, W.; BERMANN, C. Usinas hidroelétricas reversíveis e sua relação com a eficiência energética na hidroeletricidade. *In*: Seminário interdisciplinar de energia, 2, 2023, São Paulo. Seminário interdisciplinar de energia. **Anais. SINERG**. São Paulo, 2023, p. 64-71. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Mariana-Ciotta/publication/370553345\\_Anais\\_do\\_II\\_Seminario\\_Interdisciplinar\\_de\\_Energia/links/645552104af78873525eb989/Anais-do-II-Seminario-Interdisciplinar-de-Energia.pdf#page=64](https://www.researchgate.net/profile/Mariana-Ciotta/publication/370553345_Anais_do_II_Seminario_Interdisciplinar_de_Energia/links/645552104af78873525eb989/Anais-do-II-Seminario-Interdisciplinar-de-Energia.pdf#page=64). Acesso em: 21 mar. 2024.

LIMA, B; MIROSLAVA, H. Estratégias para a transição energética: revisão de literatura. **Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento**, [s.l.], ano 07, v. 8, p. 96-120, 2022. Disponível em <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/2022/07/transicao-energetica.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2024.

LIMA, M.; RÊGO, S. C.; GONÇALVES, F.; AZEVEDO, S.; SANTOS, R.; SOUZA, M.; ARAÚJO, S.; GONÇALVES, S.; RÊGO, S. W.; PASSOS, G. O potencial das fontes renováveis de energia elétrica no Maranhão. **Research, Society and Development**, [s.l.], v.12, n. 7, e18112742690, 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9354>. Acesso em: 19 mar. 2024.

MANTOVANI, P.; LEITE, R; MANTOVANI, M.; SIMÕES, S.; GONÇALVES, S.; NEVES, P.; RIBEIRO, G. Biomassa e energia. **Revista Agronomia Brasileira**, [s.l.], v. 6, e-ISSN 2594-6781, 2022. Disponível em [https://www.researchgate.net/profile/Alisson-Leite/publication/366050017\\_Biomassa\\_e\\_energia/links/675c23a18a08a27dd0bdb6df/Biomassa-e-energia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alisson-Leite/publication/366050017_Biomassa_e_energia/links/675c23a18a08a27dd0bdb6df/Biomassa-e-energia.pdf). Acesso em: 23 mar. 2024.

PASQUINI, C. Revoluções industriais: uma abordagem conceitual. **Revista Tecnológica da FATEC Americana**, [s.l.], v. 8, n. 01, p. 29-44, 2020. DOI: 10.47283/244670492020080129. Disponível em: <https://www.fatec.edu.br/revista/index.php/RTecFatecAM/article/view/235> . Acesso em: 27 jan. 2024.

PEREIRA, I. A instalação de projetos de energia eólica no Brasil: uma análise a partir do papel do Estado. *Revista GeoUECE*, [s.l.], v.12, n.23, e2023002, 2023. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/11592>. Acesso em: 23 mar. 2024.

PRAUCHNER, M.; BRANDÃO, R.; JUNIOR, A.; OLIVEIRA, S. Combustíveis derivados do petróleo: obtenção, propriedades e usos. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 15, p. 43-60, 2023. Disponível em: [v15n1a05.pdf](#) . Acesso em: 24 nov. 2024.

QUÉRÉ, C.; KORSBAKKEN, I.; WILSON, C.; TOSUN, J.; ANDREW, R.; ANDRES, J.; CANADELL, G.; JORDAN, A.; PETERS, P.; VUUREN, P. Drivers of declining CO<sub>2</sub> emissions in 18 developed economies. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 9, p. 213-217, fev. 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0419-7> Acesso em: 19 dez. 2023.

SANTANA, R. Energia renovável para o desenvolvimento econômico do Brasil. **Revista OWL (OWL Journal) - Revista Interdisciplinar de ensino e educação**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 48-64, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7869706. Disponível em: <https://revistaowl.com.br/index.php/owl/article/view/8/9> . Acesso em: 04 fev. 2024.

SANTOS, C.; BRAGA, A.; SANTOS, J.; OLIVEIRA, M., MADUREIRA, M. A indústria do petróleo e energia frente aos novos desafios de se inserir nos modelos da transição energética. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, n.9, e40711932000, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i9.32000. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/32000>. Acesso em: 04 fev. 2024.

SANTOS, L.; ARAUJO, C. O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista ibero-americana de humanidades, ciências e educação**, [s.l.], v.9, n.6, e2978-2989, 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/10487/4355>. Acesso em: 20 mar. 2024.

SAMPAIO, N. A. S.; MAZZA, F. C.; SIQUEIRA, S. S. S. de, MIRANDA JUNIOR, J. E., MOUTINHO, J. V. DE S.; PACÍFICO, L. de O.. Applications of correlation analysis in environmental problems. **RGSA - Revista de Gestão Social e Ambiental**, Curitiba, v. 18, n. 3, e04925, p.1-16, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-085>. Acesso em: 18 abr. 2024.

SHAO, T.; PAN, X.; LI, X.; ZHOU, S.; ZHANG, S.; CHEN, W. China's industrial decarbonization in the context of carbon neutrality: A sub-sectoral analysis based on integrated modelling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 170, e112992, dez. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122008735?via%3Dihub> Acesso em: 19 dez. 2023.

SILVA, A. L. F.; DINIZ, M. B. Padrões de concentração regional da indústria de transformação brasileira. **Nova Economia**, [s.l.], v. 30, n.2, p. 407-454, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/68CNhnL5vrZNC4JYGLvDnDF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 jan. 2025.

SILVA, M. S.; LANA, T. R.; SILVA JUNIOR, J. A.; TALARICO, M. G. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Mythos interdisciplinary**, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 51-61, 2021. Disponível em: <https://periodicos.unis.edu.br/mythos/article/view/467>. Acesso em: 21 mar. 2024.

SILVA, J. A.. Energia eólica no Brasil: avanços e desafios. **Princípios**, [s.l.], v. 42, p. 179-202, 2023. Disponível em: <https://revistaprincipios.emnuvens.com.br/principios/article/view/274>. Acesso em: 20 mar. 2024.

SOUSA, A.. Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados? **Correio dos Açores**, [s. l.], matemática, p. 19, 21 mar. 2019. Disponível em: [https://repositorio.uac.pt/bitstream/10400.3/5365/1/Sousa\\_CA\\_21%20Mar%C3%A7o%202019.pdf](https://repositorio.uac.pt/bitstream/10400.3/5365/1/Sousa_CA_21%20Mar%C3%A7o%202019.pdf). Acesso em: 18 abr. 2024.

VALERETTO, J.; CONSTANTINO, M. Estimativa do impacto dos setores produtivos nas emissões de CO<sub>2</sub>e: evidências para o Brasil (2000-2015). **Revista Razão Contábil e Finanças**, Fortaleza, v.11, n. 2, p. 338-372, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uniateneu.edu.br/index.php/razao-contabeis-e-financas/article/view/221/196>. Acesso em: 20 jan. 2024.

XAVIER, L. Estado burguês, planejamento econômico e industrialização no Brasil (1930-1980). **Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 338-372, 2020. DOI: 10.21057/10.21057/repamv14n1.2020.27224. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/repam/article/view/27224> . Acesso em: 27 jan. 2024.

YU, Y.; DU, E.; CHEN, Z.; ZHANG, X.; YANG, H.; WANG, P.; ZHANG, N. Optimal portfolio of a 100% renewable energy generation base supported by concentrating solar power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 170, e112937, dez. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122008188?via%3Dihub> Acesso em: 19 dez. 2023.

ZANETTE, E.; CAMILO, S. Uma análise histórica da exploração do carvão mineral no sul de Santa Catarina: do desenvolvimento socioeconômico a recuperação ambiental. **Revista Foco**, [s.l.], v. 16, n. 11, e3687, p. 01-15, 2023. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3687/2554>. Acesso em: 26 nov. 2024.