

# Emissão de CO<sub>2</sub>, Consumo de Energia Renovável e Crescimento Econômico: uma análise para o Brasil

## *CO<sub>2</sub> Emission, Renewable Energy Consumption and Economic Growth: an analysis for Brazil*

## *Emissiones de CO<sub>2</sub>, Consumo de Energía Renovable y Crecimiento Económico: un análisis para Brasil*

Cassiane Gris Basso\* e Cristiano Stamm\*\*

### RESUMO

O crescimento econômico contribui para aumentar as emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto a energia renovável é benéfica ao meio ambiente. O objetivo desta pesquisa é investigar a relação entre as emissões de CO<sub>2</sub>, o crescimento econômico e o consumo de energia renovável para o Brasil durante os anos de 1990 a 2020. Foi empregada a metodologia VAR e o estudo observou que alterações no PIB provocaram um efeito diretamente proporcional nas emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto alterações no consumo de energia renovável provocaram um efeito inversamente proporcional. Este artigo fornece uma perspectiva das emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de energia renovável e crescimento econômico para o Brasil no contexto atual, contribui com a literatura existente sobre as variáveis aplicada às economias em desenvolvimento, auxilia na compreensão das condições ambientais ligadas ao crescimento econômico no Brasil e os resultados sugerem uma mudança gradual na fonte de energia, ou seja, de não renovável para renovável.

Palavras-chave: Emissões de CO<sub>2</sub>. Consumo de energia renovável. Crescimento econômico.

\* Mestra em Economia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. Graduada em Ciências Contábeis pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. MBA em Finanças Empresariais pela Univel Centro Universitário, Cascavel, Paraná, Brasil. MBA em Gestão Pública Municipal pela Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil. Atuou na área de Administração Financeira, hoje atua na área de Administração Acadêmica, é professora dos cursos de Ciências Contábeis e Administração da UNIMEO - União Educacional do Médio Oeste, Assis Chateaubriand, Paraná, Brasil.  
Email: cassianebasso@hotmail.com

\*\* Doutor em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio e Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economia Regional, atuando principalmente nos seguintes temas: base de exportação, análise regional, desenvolvimento regional, movimento pendular de trabalhadores entre cidades de porte médio. Como experiência profissional corporativa, já atuou na Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul, na área de tecnologia, especificamente na elaboração e acompanhamento de projetos de inovação e extensão tecnológica. Atualmente professor do Colegiado do Curso de Ciências Econômicas, do Mestrado em Economia e do Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil.  
Email: stamm\_br@yahoo.com.br  
Artigo recebido em novembro/2022 e aceito para publicação em outubro/2023

#### ABSTRACT

*Economic growth contributes to increasing CO<sub>2</sub> emissions, while renewable energy is beneficial to the environment. The objective of this research is to investigate the relationship between CO<sub>2</sub> emissions, economic growth and renewable energy consumption for Brazil during the years 1990 to 2020. The VAR methodology was used and the study observed that changes in GDP had an effect directly proportional to CO<sub>2</sub> emissions, while changes in renewable energy consumption had an inversely proportional effect. This article provides a perspective on CO<sub>2</sub> emissions, renewable energy consumption and economic growth for Brazil in the current context, contributes to the existing literature on the variables applied to developing economies, assists in understanding the environmental conditions linked to economic growth in Brazil and the results suggest a gradual change in the energy source, that is, from non-renewable to renewable.*

*Keywords: CO<sub>2</sub> emissions. Renewable energy consumption. Economic growth.*

#### RESUMEN

*El crecimiento económico contribuye al aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que la energía renovable es beneficiosa para el medio ambiente. El objetivo de esta investigación es investigar la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el crecimiento económico y el consumo de energías renovables para Brasil durante los años 1990 a 2020. Se utilizó la metodología VAR y el estudio observó que los cambios en el PIB tuvieron un efecto directamente proporcional a las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que los cambios en el consumo de energías renovables tuvieron un efecto inversamente proporcional. Este artículo proporciona una perspectiva sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de energía renovable y el crecimiento económico de Brasil en el contexto actual, contribuye a la literatura existente sobre las variables aplicadas a las economías en desarrollo, ayuda a comprender las condiciones ambientales vinculadas al crecimiento económico en Brasil y los resultados sugieren un cambio gradual en la fuente de energía, es decir, de no renovable a renovable.*

*Palavras-chave: Emissões de CO<sub>2</sub>. Consumo de Energias Renováveis. Crescimento Economico.*

## INTRODUÇÃO

Em conformidade com a preocupação da manutenção do crescimento econômico e em conjunto com a proteção ambiental, o trabalho de Grossman e Krueger (1995) e sua denominada Curva Ambiental de Kuznets (CAK) postulam uma relação em formato de U invertido entre PIB *per capita* e emissão de poluentes, análoga à relação em forma de U invertido entre desigualdade de renda e o crescimento, desenvolvida por Kuznets (1955). O crescimento econômico apresenta efeitos sobre o consumo de energia, todavia, há um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>, por isso, o investimento em energia renovável apresenta-se como fator de equilíbrio entre o crescimento econômico e a qualidade ambiental (RADMEHR; HENNEBERRY; SHAYANMEHR, 2021). O consumo de energia renovável contribui para o crescimento econômico e ainda reduz em grande parte as emissões de CO<sub>2</sub>, além de melhorar a situação ambiental e destacar a importância da introdução de novas tecnologias voltadas à eficiência energética (LEE, 2013).

Entre 1990 e 2019, as emissões brutas de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil tiveram aumento de 17%. O crescimento das emissões é devido, em grande parte, ao aumento do desmatamento e do uso de combustíveis fósseis na composição da matriz energética nacional. Em 2019, o Brasil ocupava o 5º lugar entre os maiores emissores de gases de efeito estufa, com 3,2% do total mundial. (SEEG, 2020).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020), a matriz energética nacional apresentou transformações ao longo dos anos, incluindo alterações no nível de participação de cada fonte. No ano de 2000, as fontes de energia não renovável (petróleo, gás natural, carvão mineral e outras) detinham 59% de participação na oferta interna de energia, enquanto as fontes renováveis (hidráulica, biomassa, carvão vegetal, eólica, solar e outras) representavam 41% da participação. Em 2020, o Brasil passou a contar com uma presença maior de fontes renováveis na matriz energética, com essas fontes representando 48,4% de toda a oferta interna de energia, enquanto a participação das fontes de energia não renovável decresceu para 51,6%.

Há uma notável quantidade crescente de literatura que aborda a conexão entre consumo de energia, emissões de CO<sub>2</sub> e crescimento econômico. Estudos dessa natureza foram conduzidos em muitos países ao redor do mundo. No entanto, poucos desses estudos incluíram o Brasil em sua análise, como os realizados por Paramati, Mo e Gupta (2017), Dong et al. (2018) e Ben Jebli, Farhani e Guesmi (2020), ou foram dedicados exclusivamente à análise dessa relação no contexto brasileiro, como o estudo de AMARANTE et al. (2021). Enquanto a pesquisa de Amarante et al. (2021) considera apenas dados do biocombustível etanol como fonte de energia na composição da variável de energia renovável, este estudo se destaca

pela inclusão de várias fontes de energia identificadas como renováveis, a saber: hidrelétrica, geotérmica, solar, eólica, oceânica, biogás e biocombustíveis líquidos.

Diante das considerações apresentadas, surge o questionamento: qual a relação entre a emissão de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia renovável e o crescimento econômico? Assim, perante o debate presente na literatura para outros países, este estudo visa agregar o conhecimento sobre a relação entre as emissões de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia renovável e o crescimento econômico para o Brasil.

É importante destacar algumas contribuições significativas sobre o tema: i) Ampliar a literatura existente sobre as emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas ao consumo de energia e ao crescimento econômico, dada a escassa produção acadêmica dedicada ao estudo dessas três variáveis interconectadas. Essa investigação possui implicações importantes para outras economias em desenvolvimento que também dependem de fontes de energia não renováveis; ii) Em relação a essa interligação, muitos estudos anteriores consideraram dados relacionados ao Brasil, comparando-os com outros países. Este estudo, por sua vez, concentra-se exclusivamente no contexto brasileiro. Essa abordagem permite uma melhor compreensão das condições ambientais associadas ao crescimento econômico no Brasil; iii) O estudo anterior, encontrado com aplicação especificamente voltado para o Brasil, considerou apenas dados de uma fonte de energia na composição da variável de energia renovável. Neste estudo, um dos diferenciais é a inclusão das diversas fontes de energia identificadas como renováveis para avaliar o impacto do consumo de energia e do crescimento econômico nas emissões de CO<sub>2</sub>; iv) Identificar as relações entre essas variáveis no contexto atual e auxiliar os formuladores de políticas na busca pelo equilíbrio entre esses três elementos, visando alcançar um crescimento econômico sustentável.

Portanto, o objetivo geral desse estudo é o de analisar a relação entre a emissão de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia renovável e o crescimento econômico para o Brasil, durante o período de 1990 a 2020, através da realização de testes econométricos e estimação de um modelo VAR para determinar as interações dinâmicas entre as séries.

Este artigo está estruturado primeiramente, na seção 1, com a introdução, seguido pela contextualização da relação entre a degradação ambiental, energia e crescimento econômico na seção 2, a metodologia na seção 3, os resultados e discussões na seção 4, a seção 5 apresenta as considerações finais e, por último, as referências.

## 1 RELAÇÕES ENTRE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL, ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO

Kuznets (1955) postula que, na fase inicial do crescimento econômico, a distribuição de renda aumentava com o nível de renda do país, mas a distribuição de renda torna-se mais igualitária à medida que o crescimento econômico continua, entretanto, existem outras variáveis que podem influenciar a desigualdade de renda, por exemplo, a estrutura econômica e social e as mudanças tecnológicas. A Curva de Kuznets, também conhecida como hipótese do U invertido de Kuznets, postula uma relação de U invertido entre a renda *per capita* e a desigualdade de renda, com correlação positiva em curto prazo, mas revertida em longo prazo (TAQUES; MAZZUTTI, 2010). Grossman e Krueger (1995), em formato semelhante ao apresentado por Kuznets (1955), apresentaram a denominada “Curva Ambiental de Kuznets” que estabelece uma relação entre degradação ambiental e crescimento econômico em forma de U invertido, a qual indica que as relações entre crescimento e degradação ambiental não seguem necessariamente um padrão temporal. Assim, é possível afirmar que em certo estágio de crescimento, a degradação ambiental passaria a ter um comportamento decrescente.

Segundo Arrow *et al.* (1995), toda atividade econômica depende de recursos ambientais, entretanto, esta base de recursos é finita e seu uso imprudente pode reduzir a capacidade de produção de materiais no futuro. Melhorias na gestão de recursos são capazes de permitir que o crescimento econômico e populacional aconteça apesar da finitude da base de recursos ambientais. A geração de energia proveniente de recursos ambientais é dependente do nível tecnológico empregado, das preferências e da estrutura de produção e consumo.

Importante esclarecer que os custos e benefícios atribuídos a qualquer nível de qualidade ambiental variam conforme a tecnologia e a estrutura econômica do país (SHAFIK, 1994). Nos países em desenvolvimento, as condições ambientais são incomparavelmente piores do que nos países ditos desenvolvidos (BECKERMAN, 1992). Em níveis mais baixos de desenvolvimento, as estratégias de crescimento visam, em grande parte, à solução de questões primárias como a redução da pobreza. Contudo, o aumento da produtividade de setores baseados em recursos naturais e a diversificação com a introdução de novas tecnologias possibilitam condições para crescimento sustentável em longo prazo. A natureza do crescimento entre economias emergentes e desenvolvidas difere uma da outra, o crescimento econômico acelerado faz com que as emissões diminuam e quando comparado com o crescimento econômico mais lento, ocorre o efeito oposto (SHAHBAZ; SINHA, 2018; SELDEN; SONG, 1994).

Com o progresso no crescimento de países menos desenvolvidos e a expansão de suas populações, a quantidade de liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera é crescente. Esses aumentos podem ser equilibrados com incentivos à proteção

ambiental que exige redução nas emissões de CO<sub>2</sub> (TUCKER, 1995). As emissões de CO<sub>2</sub> são, em grande parte, resultantes da combustão de combustíveis fósseis que agridem o meio ambiente (ÖZOKCU; ÖZDEMIRB, 2017). Na maioria dos países, a melhoria ambiental tem exigido políticas e investimentos para reduzir a degradação. O declínio da poluição depende diretamente da taxa de adoção de uma nova tecnologia sustentável e os subsídios para aumentar a adoção de projetos sustentáveis são ações em favor da qualidade ambiental (SHAFIK, 1994).

Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão forte e intimamente conectados. A energia é necessária para a produção de bens e fornecimento de serviços a partir dos recursos naturais. O desenvolvimento econômico requer um abastecimento adequado e confiável de energia, levando em consideração tanto as questões sociais como as tecnológicas com o uso planejado e eficiente dos recursos energéticos e a inserção de novas tecnologias (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

A importância da eficiência energética para os países está ligada à competitividade comercial, industrial e segurança energética, além de benefícios ambientais como a redução das emissões de CO<sub>2</sub> (PATTERSON, 1996). A existência da grande dependência de combustíveis fósseis na matriz mundial e nacional faz pensar na necessidade de eficiência e diversificação energética com tendência ao incentivo e maior uso de energias renováveis, visto que as fontes não renováveis são suscetíveis ao esgotamento e a manutenção do crescimento econômico requer o uso de recursos energéticos.

Fontes de energia como combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e o urânio são considerados finitos, enquanto fontes de energia renováveis como solar, eólica e hidrelétrica são consideradas sustentáveis em longo prazo (DINCER, 2000). A utilização de energia não renovável, principalmente de origem fóssil, é uma fonte de poluição ambiental, e as emissões de dióxido de carbono provenientes da queima de combustível fóssil são preocupações ambientais frequentes.

A interação entre consumo de energia e crescimento econômico representa um assunto discutido em produções acadêmicas e apresenta como tendência mais recente o estudo destas variáveis juntamente com as emissões de CO<sub>2</sub>. Diante da crescente preocupação com a qualidade ambiental, a emissão de poluentes aparece como um indicador para a situação ambiental, a parcela de contribuição dos combustíveis fósseis nas emissões de CO<sub>2</sub> é cada vez mais retratada, estimulando investimentos em fontes de energia renovável para alteração na composição da matriz energética e minimização das emissões. A diferenciação dos efeitos sobre as emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento econômico entre energias de fonte renovável e não renovável é percebida nas publicações. Em suma, independentemente do método utilizado, os resultados apontam que o consumo de energia renovável favorece o crescimento econômico enquanto reduz as emissões de CO<sub>2</sub>.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A interação entre consumo de energia e crescimento econômico representa um assunto discutido em produções acadêmicas e apresenta como tendência mais recente o estudo destas variáveis juntamente com as emissões de CO<sub>2</sub>. Esta seção examina os estudos empíricos da relação entre emissão de CO<sub>2</sub>, consumo de energia e crescimento econômico com aplicação no Brasil, além de demais países e regiões, com o objetivo de averiguar a discussão proposta, os resultados encontrados, a evolução do tema e seus métodos.

A base de dados *Scopus* foi selecionada para a realização de uma pesquisa confiável e relevante visto que engloba diversas áreas do conhecimento, além de contar com revisão por pares e abrangência internacional (ELSEVIER, 2021). Definida a base de dados, a busca foi realizada no mês de agosto de 2023 e ocorreu inicialmente por título, resumo e palavras-chave dos termos em inglês “*renewable energy*”, “*economic growth*” e “*CO<sub>2</sub> emission*”, com tradução para o português como “energia renovável”, “crescimento econômico” e “emissão de CO<sub>2</sub>”, respectivamente. A delimitação empregada compreendeu o tipo de documento como somente artigos, os idiomas inglês e português, a área de estudo na categoria *Economics, Econometrics and Finance*, mas sem restrição temporal com o intuito de observar a quantidade total de artigos.

A busca resultou em um total de 124 artigos, ponto de partida para a análise da produção empírica. Após a leitura dos resumos, foram selecionados 77 artigos os quais apresentavam escopo teórico e dados metodológicos. Os artigos foram consultados quanto à classificação do Qualis Periódicos da CAPES e ao sistema de avaliação de periódicos científicos no Brasil, em seguida, verificou-se que, dos 77 artigos selecionados, 55 deles apresentaram classificação A1 ou A2. Entre os artigos utilizados, 11 não apresentam classificação no Qualis Periódicos, o que não diminuiu a confiabilidade dos artigos. Após esta seleção, foi realizada a leitura na íntegra de todos os artigos e sintetizadas as informações em forma de texto, trazendo os principais dados, os quais dão suporte para a seleção das variáveis e do método utilizado nesta pesquisa.

Em seguida, apresentamos um resumo dos trabalhos mencionados, com três exemplos das metodologias mais frequentemente utilizadas, conforme detalhado no quadro 1. O quadro inclui informações sobre os autores, ano de publicação, período e escopo da pesquisa, variáveis empregadas, metodologia e principais conclusões. A organização é feita com base na categorização das metodologias.

QUADRO 1 - RESUMO DE ESTUDOS ANTERIORES

continua

AUTORES	PERÍODO	PAÍS/REGIÃO	VARIÁVEIS UTILIZADAS	METODOLOGIA	PRINCIPAIS CONCLUSÕES
Neves, Marques e Patrício (2020)	1995-2017	17 países europeus	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, a receita tributária ambiental real, o investimento estrangeiro direto interno, o número acumulado de políticas para o consumo de energia renovável, o consumo e desperdício de energia renovável e o consumo de energia primária.	ARDL	PIB aumenta CO <sub>2</sub> .
Ridzuan et al. (2020)	1978-2016	Malásia	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável e a produção agrícola.	ARDL	CER reduz CO <sub>2</sub> ; PIB aumenta CO <sub>2</sub> .
Shaari, Abidin e Karim (2020)	1990-2017	9 países balcânicos	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB e o consumo de energia renovável.	ARDL	CER reduz CO <sub>2</sub> ; PIB aumenta CO <sub>2</sub> .
Ben Jebli, Farhani e Guesmi (2020)	1990-2015	102 países selecionados	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, o valor agregado de serviço e o valor agregado industrial.	GMM	CER reduz CO <sub>2</sub> .
Salari, Javid e NoghaniBehambari (2021)	1997-2016	Estados Unidos	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB e as energias: total, não renovável, renovável, industrial e residencial.	GMM	CER reduz CO <sub>2</sub> .
Boubaker e Omri (2022)	1990-2018	22 países em desenvolvimento	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, o capital fixo bruto e o desenvolvimento financeiro.	GMM	PIB aumenta CO <sub>2</sub> e CER reduz CO <sub>2</sub> .
Radmehr, Henneberry e Shayanmehr (2021)	1995-2014	21 países europeus	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, o consumo de energia não renovável, a abertura comercial, a urbanização, o preço do óleo (petróleo e gás natural), a força de trabalho e o estoque de capital.	GS2SLS	PIB aumenta CO <sub>2</sub> e CER.
Zhou et al. (2023)	1990-2020	RCEP	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, a globalização, os combustíveis fósseis e a urbanização.	MMQR	PIB aumenta CO <sub>2</sub> e CER reduz CO <sub>2</sub> .
Wang et al. (2023)	1988-2021	China	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, os recursos naturais e as despesas educacionais.	MMQR	PIB aumenta CO <sub>2</sub> .
Chen et al. (2023)	1992-2020	7 países em desenvolvimento	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, a qualidade institucional, o uso de recursos naturais e a produção de energia.	MMQR	PIB aumenta CO <sub>2</sub> e CER reduz CO <sub>2</sub> .
Zaghdoudi (2017)	1990-2015	OECD	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável e a importação de petróleo bruto.	MQO	CER reduz CO <sub>2</sub> .

QUADRO 1 - RESUMO DE ESTUDOS ANTERIORES

AUTORES	PERÍODO	PAÍS/REGIÃO	VARIÁVEIS UTILIZADAS	METODOLOGIA	PRINCIPAIS CONCLUSÕES
Majeed e Lumi (2020)	1990-2014	131 países selecionados	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, a energia renovável, a intensidade energética e a urbanização.	MQO	CER reduz CO <sub>2</sub> ; PIB aumenta CO <sub>2</sub> .
Abid (2023)	1990-2019	Arábia Saudita	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, o consumo de energia não renovável e a urbanização.	MQO	CER reduz CO <sub>2</sub> .
Paramati, Mo e Gupta (2017)	1991-2012	G20	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável e o consumo de energia não renovável, a eficiência energética, o investimento estrangeiro direto, a formação bruta de capital fixo, a força de trabalho total e a capitalização do mercado de ações.	STIRPAT	CER aumenta PIB e reduz CO <sub>2</sub> .
Dong et al. (2018)	1990-2014	128 países selecionados	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável e o consumo de energia não renovável, a população e a intensidade energética.	STIRPAT	CER reduz CO <sub>2</sub> ; PIB aumenta CO <sub>2</sub> .
Shabir (2022)	2004-2018	APEC	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, a inclusão financeira, a inovação tecnológica e a globalização econômica.	STIRPAT	PIB aumenta CO <sub>2</sub> e CER reduz CO <sub>2</sub> .
Tiwari (2011)	1960-2009	Índia	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável.	VAR	CER aumenta PIB e reduz CO <sub>2</sub> .
Kang, Islam e Tiwari (2019)	1965-2015	Índia	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável e o consumo de energia não renovável.	VAR	CER reduz CO <sub>2</sub> e mantém PIB.
Xie et al. (2023)	1980-2019	China	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável, o petróleo, o gás natural e o carvão.	VAR	CER reduz CO <sub>2</sub> .
Mbarek, Saidi e Feki (2018)	1980-2012	9 países mediterrâneos	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável e o consumo total de energia.	VECM	PIB aumenta CO <sub>2</sub> e CER.
Bekhet e Othman (2018)	1971-2015	Malásia	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável.	VECM	CER reduz CO <sub>2</sub> .
Duppatti, Tiwari e Matlani (2023)	1980-2019	Nova Zelândia	A emissão de CO <sub>2</sub> , o PIB, o consumo de energia renovável e os combustíveis fósseis.	VECM	PIB aumenta CO <sub>2</sub> .

FONTE: Os autores (2023)

NOTAS: CER: consumo de energia renovável; CO<sub>2</sub>: emissões de CO<sub>2</sub>; PIB: Produto Interno Bruto. ARDL: Modelo Autorregressivo de Defasagens Distribuídas; GMM: Método Generalizado de Momentos; GS2SLS: Método dos Mínimos Quadrados Generalizados de Dois Estágios; MMQR: Método de Regressão Quantílica; MQO: Mínimos Quadrados Ordinários; STIRPAT: Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology; VAR: Modelo Vetorial Autorregressivo; VECM: Modelo Vetorial de Correção de Erros.

A revisão de literatura indicou que a relação entre as variáveis emissão de CO<sub>2</sub>, consumo de energia, e crescimento econômico tem sido investigada em vários países, com a maior parte dos estudos concentrados nos anos 2022 e 2023. Entre os métodos aplicados, destaca-se a utilização dos modelos ARDL, GMM e MMQR nos estudos mais atuais, entretanto, outros também são recorrentes como MQO e VAR/VECM.

Diante da crescente preocupação com a qualidade ambiental, a emissão de poluentes aparece como um indicador para a situação ambiental, a parcela de contribuição dos combustíveis fósseis nas emissões de CO<sub>2</sub> é cada vez mais retratada, estimulando investimentos em fontes de energia renovável para alteração na composição da matriz energética e minimização das emissões. A diferenciação dos efeitos sobre as emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento econômico entre energias de fonte renovável e não renovável é percebida nas publicações. Em suma, apesar do método utilizado, os resultados apontam que o consumo de energia renovável favorece o crescimento econômico enquanto reduz as emissões de CO<sub>2</sub>.

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho, embora não localizado a partir do método de revisão de literatura empírica aplicada, foi encontrado o trabalho de Amarante *et al.* (2021), os quais apresentaram o Brasil como campo de aplicação. A revisão da literatura de Amarante *et al.* (2021) é importante para deixar claro que o presente estudo apresenta como diferencial a utilização de uma combinação de tipos de energias categorizadas para a fonte de energia renovável, tornando o presente estudo mais abrangente em relação à questão fonte de energia.

### 3 METODOLOGIA

Como estratégia metodológica adotou-se a estimação a partir do modelo VAR para investigar a relação entre o consumo de energia renovável a emissão de CO<sub>2</sub> e o crescimento econômico. De modo geral, de acordo com Bueno (2012), pode-se expressar um modelo autorregressivo de ordem  $p$  por um vetor com  $n$  variáveis endógenas,  $X_t$ , conectadas entre si por meio de uma matriz  $A$ , conforme segue:

$$AX_t = B_0 + \sum_{i=1}^p V = B_i X_{t-i} + B \varepsilon_t \quad (1)$$

em que  $A$  é uma matriz  $n \times n$  que define as restrições contemporâneas entre as variáveis que constituem o vetor  $n \times 1$  ( $X_t$ );  $B_0$  é um vetor de constantes  $n \times 1$ ; são matrizes  $n \times n$ ;  $B$ ; é uma matriz  $n \times n$  diagonal de desvios-padrão; é um vetor de perturbações aleatórias não correlacionadas entre si.

Adicionalmente, será realizada uma série de testes para verificar a confiabilidade do modelo, como testes de diagnóstico (correlação serial, heterocedasticidade e normalidade dos resíduos) e teste de estabilidade do modelo (raízes inversas do polinômio característico AR).

No estudo atual, foram utilizados dados anuais para o Brasil que correspondem ao período de 1990 a 2020, o período da amostra foi delimitado de acordo a disponibilidade de dados do Banco Mundial, a partir dos Indicadores de Desenvolvimento Mundial, para as variáveis - emissão de CO<sub>2</sub>, PIB, e com dados da Agência Internacional de Energia para a variável consumo de energia renovável (quadro 2).

QUADRO 2 - VARIÁVEIS SELECIONADAS A PARTIR DA FUNDAMENTAÇÃO EMPÍRICA

CÓDIGO	VARIÁVEL	FONTE	DESCRIÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	FUNDAMENTAÇÃO EMPÍRICA
CO <sub>2</sub>	Emissões de CO	<i>World Bank Data, 2023</i>	As emissões de dióxido de carbono geradas durante o consumo de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos e a queima de gás	Quilotons métricos	Radmehr, Henneberry e Shayanmehr (2021); Majeed e Luni (2020); Kang, Islam e Tiwari (2019); Tiwari (2011)
PIB	Produto Interno Bruto	<i>World Bank Data, 2023</i>	O PIB é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país	US\$ a preços constantes de 2015	Radmehr, Henneberry e Shayanmehr (2021); Majeed e Luni (2020); Kang, Islam e Tiwari (2019); Tiwari (2011)
CER	Consumo de energia renovável	<i>International Energy Agency, 2023</i>	O consumo de energia renovável é a parcela da energia renovável no consumo total de energia	Petajoules	Radmehr, Henneberry e Shayanmehr (2021); Majeed e Luni (2020); Kang, Islam e Tiwari (2019); Tiwari (2011)

FONTE: Os autores (2023)

Inicialmente, as séries foram transformadas em logaritmos, estratégia apontada por Gujarati e Porter (2011) para interpretar as relações entre as variáveis como elasticidades, obter a taxa de crescimento da variável, para alcançar melhores propriedades de distribuição e para reduzir o problema de heterocedasticidade. Para esta pesquisa, a formação do modelo econométrico é baseada nas construções de Tiwari (2011), Bekhet e Othman (2018) e Shaari, Abidin e Karim (2020). A formação do modelo básico é apresentada na equação (2):

$$\ln CO_{2t} = \alpha_0 + \beta_1 \ln PIB_{t-i} - \beta_2 \ln CER_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2)$$

em que o representa as emissões de CO<sub>2</sub>, o Produto Interno Bruto como proxy do crescimento econômico, CER-o consumo de energia renovável, - o intervalo de tempo (1990-2020), *ln*—o logaritmo natural,  $\alpha_0$  - o intercepto,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os coeficientes estimados e  $\varepsilon$  é o termo erro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico tem o objetivo de analisar os efeitos do consumo de energia renovável e do crescimento econômico nas emissões de CO<sub>2</sub>. Ao examinar o desempenho das séries  $\ln\text{CO}_2$ ,  $\ln\text{PIB}$  e  $\ln\text{CER}$ , já logaritmizadas, no período de 1990 a 2020, as séries indicaram a presença de raiz unitária, ou seja, comportamento não estacionário em razão de não apresentarem a média zero e a variância constantes ao longo do tempo e possível tendência estocástica.

A partir desta análise, realizou-se o teste de raiz unitária para verificar a estacionariedade das séries. O teste ADF nos mostra a presença de raiz unitária como hipótese nula, ou seja, não estacionária. O número de defasagens foi escolhido através do critério de Schwarz e o teste foi realizado com constante e tendência. O teste ADF mostrou que todas as variáveis não são estacionárias em nível,  $I(0)$ , ao nível de significância de 5%, entretanto, apresentam estacionariedade em todas as séries em primeira diferença, ou seja, integradas de ordem  $I(1)$ , no nível de significância de 5%.

Após a constatação de séries estacionárias em primeira diferença foi realizado o teste de seleção de defasagem para o modelo VAR, a escolha da defasagem do teste ocorreu através do critério de informação Schwarz (SC). O critério de seleção indicou a adoção de uma defasagem para o teste de cointegração de Johansen. Após a definição do número de defasagens para o modelo, foi realizado o teste LM de autocorrelação, e os resíduos do modelo não indicaram autocorrelação para uma defasagem no nível de significância de 5%.

Em sequência, foi realizado o teste de cointegração de Johansen para verificar a existência de um ou mais vetores de cointegração, o teste foi estimado com presença de intercepto no vetor de cointegração e tendência linear, diante da tendência estocástica nas séries. O teste do máximo autovalor e o teste do traço indicaram a presença de um vetor de cointegração no nível de 5% de significância, ou seja, as séries apresentam relação de longo prazo entre si. Desse modo, o modelo mais adequado para a estimação é o VECM, visto que as séries são estacionárias de ordem  $I(1)$  e são cointegradas.

O teste de cointegração de Johansen indicou que as séries apresentam relação de longo prazo entre si, desse modo, foi estimado o Modelo Vetor de Correção de Erros (VECM). A especificação utilizada na estimação obedeceu a seguinte ordem:  $\ln\text{CO}_2$ ,  $\ln\text{PIB}$  e  $\ln\text{CER}$ . O modelo foi estimado com uma defasagem, com intercepto e tendência linear, um vetor cointegrante e sem restrições.

Como as séries estão logaritmizadas, as análises da estimação do resultado dos parâmetros são interpretadas como elasticidade. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão. Os valores em colchetes são os resultados da estatística  $t$  do modelo. Os resultados são apresentados na tabela 1.

TABELA 1 - ESTIMAÇÃO DE CURTO E LONGO PRAZO DO MODELO VECM

VARIÁVEIS	CURTO PRAZO	LONGO PRAZO
lnCO	-0.36 (-0.12) [-2.94]	1.00
lnPIB	-0.04 (-0.07) [-0.56]	-3,45 (-0.46) [-7.39]
lnCER	-0.08 (-0.10) [-0.84]	1.36 (-0.27) [5.00]
C		19.93

FONTE: Os autores (2023)

Para analisar a existência da relação de longo prazo entre as séries temporais de emissão de CO<sub>2</sub>, consumo de energia renovável e crescimento econômico, a análise dos resultados da estimação foi realizada através da estatística *t* de Student e, para o presente modelo, o valor crítico para que a hipótese nula seja rejeitada é de 1.706 com nível de significância de 5%, a região de não rejeição da hipótese nula compreende o intervalo em -1.706 e 1.706, a aceitação da existência de relação explicativa entre as variáveis está condicionada à rejeição da hipótese nula. Os parâmetros do modelo de longo prazo normalizado para o VECM foram estatisticamente significativos a 5%, visto que a hipótese nula do teste *t* foi rejeitada, em razão de o resultado do teste se situar na região crítica. Dessa forma, pode-se inferir que oscilações no desempenho do crescimento econômico e do consumo de energia renovável impactam no comportamento das emissões de CO<sub>2</sub>.

O ajuste das variações de curto prazo para atingir o equilíbrio de longo prazo se dá pelo coeficiente  $\alpha$  -0.36, logo, 36% dos desequilíbrios de curto prazo são corrigidos no período de um ano, dessa forma, são necessários três anos para corrigir totalmente os desequilíbrios de curto prazo. A Equação (3) apresenta o resultado da estimação do modelo de longo prazo normalizado, com a inversão do sinal e em logaritmo:

$$\ln CO_2 = -19.93 + 3.45 \ln PIB - 1.36 \ln CER \quad (3)$$

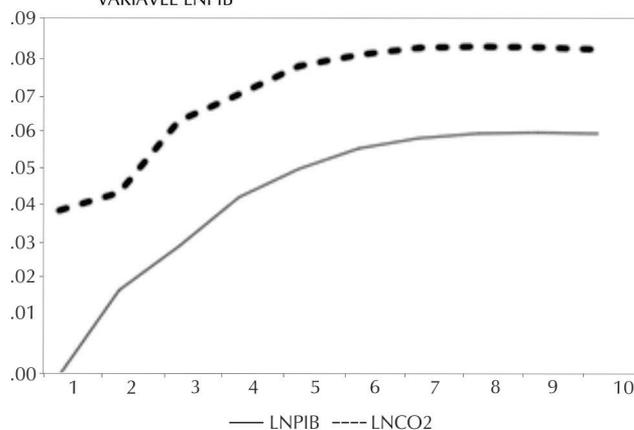
De acordo com Margarido (2004), a análise das estimativas dos coeficientes deve ser conduzida com o sinal invertido, visto que todas as variáveis permanecem do mesmo lado na equação de cointegração normalizada. As variáveis presentes na equação exibiram o resultado esperado conforme a literatura discutida neste estudo e a visualização do desempenho das séries permite a análise do efeito do consumo de energia renovável e do crescimento econômico nas emissões de CO<sub>2</sub>, ambos objetivos específicos do presente estudo.

O sinal positivo da variável  $\ln\text{PIB}$  evidencia que alterações no PIB provocaram um efeito diretamente proporcional nas emissões de CO<sub>2</sub>, como é esperado em países em desenvolvimento como o Brasil. Sendo assim, um acréscimo de 1% do PIB aumenta as emissões de CO<sub>2</sub> em 3,45%. Um aumento no PIB provoca o mesmo movimento nas emissões de CO<sub>2</sub>, assim como demonstrado nos estudos de Neves, Marques e Patrício (2020); Ridzuan *et al.* (2020) e Mbarek, Saidi e Feki (2018) em que o crescimento econômico aumenta as emissões de CO<sub>2</sub>. Enquanto isso, as alterações no consumo de energia renovável provocaram um efeito inversamente proporcional nas emissões de CO<sub>2</sub>, um acréscimo de 1% no consumo de energia renovável diminui as emissões de CO<sub>2</sub> em 1,36%, ou seja, um aumento no consumo de energia renovável induz uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, assim como demonstrado nos estudos de Salari, Javid e Noghanibehambari (2021); Kang, Islam e Tiwari (2019) e Bekhet e Othman (2018) em que o aumento no consumo de energia renovável impactou na diminuição do nível de emissões de CO<sub>2</sub>. Um possível efeito da crescente preocupação com a qualidade ambiental é a valorização de investimentos com o ESG como critério de avaliação e consequentemente diminuição nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Após a estimativa a partir do modelo VECM, foi executada uma série de testes para verificar a confiabilidade do modelo. Em relação à autocorrelação, é possível dizer que ela não foi encontrada no modelo, não foi rejeitada a hipótese nula do teste de autocorrelação; sendo assim, o modelo não é correlacionado. Da mesma forma ocorreu com o teste de heterocedasticidade, não foi rejeitada a hipótese nula do teste de heterocedasticidade, sendo assim, o modelo é homocedástico. Sobre a normalidade dos resíduos, a partir da análise do resultado do teste de Jarque-Bera, não foi rejeitada a hipótese nula do teste de normalidade dos resíduos; sendo assim, o modelo apresenta distribuição normal dos resíduos. Ademais, foi realizada a análise visual dos resíduos das variáveis, os resíduos não apresentam tendência, indicando que não estão correlacionados. Por último, foi realizado o teste de estabilidade do modelo e os resultados exibiram as raízes menores ou iguais a um, sendo o modelo classificado como estável. A partir dos resultados verificados nos testes de diagnóstico e de estabilidade do modelo, é possível afirmar que o modelo de regressão exhibe estimadores eficientes e não-viesados, apresentando, assim, resultados não espúrios.

Através da função resposta ao impulso, é possível verificar como cada variável responde diante de um choque advindo de outra variável em um período. A figura 1 mostra a reação da variável  $\ln\text{CO}_2$  diante de um choque na variável  $\ln\text{PIB}$ .

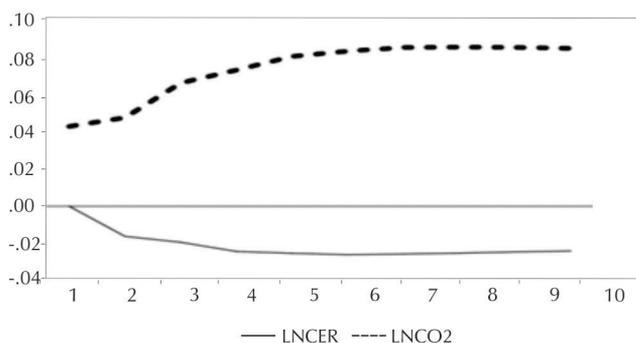
FIGURA 1 - FUNÇÃO DE RESPOSTA DA VARIÁVEL LNCO2 AO IMPULSO DA VARIÁVEL LNPIB



FONTE: Os autores (2023)

Um choque positivo na variável  $\ln\text{PIB}$  provoca um deslocamento positivo na trajetória da variável  $\ln\text{CO}_2$ , apresentando uma relação diretamente proporcional. É notável o aumento nas emissões de  $\text{CO}_2$  quando acontece o choque positivo no crescimento econômico e este impacto é considerável, apesar da reação não demorar muito para acontecer, a variável  $\ln\text{CO}_2$  mantém uma estabilidade no seu valor assumido após o choque, distante de seu valor anterior ao choque na variável  $\ln\text{PIB}$ . A figura 2 mostra a reação da variável  $\ln\text{CO}_2$  diante de um choque na variável  $\ln\text{CER}$ .

FIGURA 2 - FUNÇÃO DE RESPOSTA DA VARIÁVEL LNCO2 AO IMPULSO DA VARIÁVEL LNCER



FONTE: Os autores (2023)

Um choque negativo na variável  $\ln\text{CER}$  provoca um deslocamento positivo na trajetória da variável  $\ln\text{CO}_2$ , evidenciando uma relação inversamente proporcional. Assim, é notável um aumento acentuado nas emissões de  $\text{CO}_2$  quando acontece uma diminuição no consumo de energia renovável. Em busca da redução nas emissões de  $\text{CO}_2$ , o uso de energias renováveis apresenta-se como alternativa, em detrimento das energias originárias de combustíveis fósseis.

Pode-se inferir que o consumo de energia renovável favorece à manutenção da qualidade ambiental pela redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto o crescimento econômico eleva a degradação do meio ambiente pelo aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>. Esses resultados estão de acordo com a literatura empírica, por exemplo, nos estudos de Ridzuan *et al.* (2020), Kang, Islam e Tiwari (2019) e Bekhet e Othman (2018), os quais enfatizam que o crescimento econômico está ligado ao aumento das emissões de CO<sub>2</sub> e exige maior demanda de energia. Logo, a energia renovável tem um efeito negativo significativo nas emissões de CO<sub>2</sub>, dessa forma, a energia renovável é um dos elementos importantes a serem considerados para melhorar a qualidade ambiental em conjunto com a manutenção do crescimento econômico. Em um estudo recente, El-Karimi (2021) chegou à uma conclusão semelhante para o caso da Alemanha, a redução no uso de fontes não renováveis de energia não prejudicaria significativamente o PIB, e o estímulo às energias renováveis seria benéfico para o crescimento econômico.

A análise da decomposição da variância, por meio da decomposição de *Cholesky*, correspondeu a um período de 10 anos e consistiu em avaliar os determinantes da variável  $\ln\text{CO}_2$ , conforme tabela 2.

TABELA 2 - DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL  $\ln\text{CO}_2$ 

PERÍODO	DESVIO PADRÃO	$\ln\text{CO}_2$	$\ln\text{PIB}$	$\ln\text{CER}$
1	0.04	100.00	0.00	0.00
2	0.07	84.49	10.11	5.39
3	0.10	78.98	15.08	5.94
4	0.13	73.46	20.01	6.54
5	0.17	70.44	23.07	6.49
6	0.19	68.23	25.38	6.38
7	0.22	66.80	26.99	6.21
8	0.25	65.79	28.17	6.04
9	0.27	65.08	29.02	5.89
10	0.29	64.58	29.66	5.77

FONTE: Os autores (2023)

No primeiro período, verificou-se que a variável  $\ln\text{CO}_2$  foi influenciada por ela mesma em 100% e, no decorrer dos anos, começa a receber a influência do  $\ln\text{PIB}$  e do  $\ln\text{CER}$ . Os resultados indicam que, após um período de 10 anos, 64,58% das emissões de CO<sub>2</sub> são explicadas por seu choque inovador, enquanto as parcelas de 29,66% e 5,77% do crescimento econômico e consumo de energia renovável explicam as emissões de CO<sub>2</sub>, respectivamente. Os resultados da decomposição mantiveram-se na mesma proporção da análise da função resposta ao impulso apresentados nas Figuras 1 e 2 e estão de encontro com a estimação de Bekhet e Othman (2018) em que o crescimento econômico e o consumo de energia renovável exercem influência semelhante sobre as emissões de CO<sub>2</sub> para o caso da Malásia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a relação entre o consumo de energia e o crescimento econômico represente um tópico bem documentado na literatura, o estudo destas variáveis juntamente com as emissões de CO<sub>2</sub> apresenta-se como tendência mais recente. Isso pode ser parcialmente explicado devido à crescente preocupação com os efeitos do crescimento econômico na degradação ambiental. Deste modo, pretendeu-se, por meio das evidências empíricas obtidas, inferir se o crescimento econômico induz a um maior nível de emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto o consumo de energia renovável tende a diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>, contribuindo para a qualidade ambiental.

A literatura empírica essencialmente focada na interação entre as emissões de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia renovável e o crescimento econômico no Brasil é relativamente escassa. O presente estudo buscou auxiliar na compreensão das condições ambientais ligadas ao crescimento econômico no Brasil. Diante disso, este estudo teve como objetivo principal verificar a relação entre a emissão de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia renovável e o crescimento econômico para o Brasil durante o período de 1990 a 2020 a partir da realização de testes econométricos e da estimação do VECM para determinar as interações dinâmicas entre as séries. Além disso, pretendeu-se estimar o impacto do consumo de energia renovável e do crescimento econômico nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Metodologicamente, foi verificada a estacionariedade das séries e a cointegração entre as variáveis, a estimação de um modelo VECM e a verificação de sua confiabilidade a partir de testes de diagnóstico e estabilidade. Por fim, foi realizada a análise da função resposta ao impulso e da decomposição da variância.

Em cumprimento ao objetivo do presente artigo, a estimação dos coeficientes angulares demonstrou uma relação estatisticamente significativa a 5%, logo, com 95% de probabilidade de ser verdadeira, entre as séries  $\ln\text{CO}_2$ ,  $\ln\text{PIB}$  e  $\ln\text{CER}$ , cumprindo o objetivo geral de analisar a relação entre a emissão de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia renovável e o crescimento econômico para o Brasil. Os resultados indicaram uma relação de longo prazo entre as séries temporais.

Ademais, foi observado que o crescimento econômico provoca um efeito diretamente proporcional nas emissões de CO<sub>2</sub>, como é esperado em países em desenvolvimento como o Brasil, ou seja, quanto maior o crescimento econômico, maiores os níveis das emissões de CO<sub>2</sub>. O crescimento econômico tende a elevar o consumo de combustíveis fósseis, um dos determinantes de impactos ambientais negativos, como as emissões de CO<sub>2</sub>, entretanto, os impactos ambientais que acompanham o crescimento econômico são vistos como efeitos passíveis de controle e podem ser contornados com o investimento em novas tecnologias que reduzem as emissões de poluentes, entre elas a substituição gradual da extração de combustíveis fósseis por fontes renováveis.

Em movimento contrário, o consumo de energia renovável impacta significativa e negativamente as emissões de CO<sub>2</sub>, ou seja, um aumento do consumo de energia renovável é capaz de diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>. Conforme demonstrado no estudo, a introdução de novas fontes de energia para diversificar a matriz energética nos países em diferentes estágios de desenvolvimento promove uma diminuição na emissão de poluentes. Os investimentos em energia renovável e a estipulação de metas de participação desta fonte na matriz energética, aliados à conscientização do uso sustentável dos recursos naturais nos diversos setores da economia, contribuem para o controle das externalidades negativas causadas pelo crescimento econômico, bem como colaboram com o desenvolvimento sustentável.

Os resultados apresentaram-se conforme esperado na literatura discutida neste estudo e responderam ao problema de pesquisa. O progresso no crescimento de países menos desenvolvidos favorece o aumento na quantidade de liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera, todavia, esta situação desfavorável ao meio ambiente pode ser contornada com investimentos em novas tecnologias que reduzem as emissões de poluentes, entre elas a substituição gradual da extração de combustíveis fósseis por fontes renováveis.

Por fim, este estudo oferece uma perspectiva das emissões de CO<sub>2</sub>, do consumo de energia renovável e do crescimento econômico no contexto brasileiro atual. Essa pesquisa possui implicações significativas para outras economias em desenvolvimento que também dependem de fontes de energia não renováveis. Com base nos resultados obtidos, é recomendável uma transição gradual de fontes não renováveis para renováveis. As energias renováveis podem representar uma solução viável para alcançar o duplo objetivo de manter o crescimento econômico e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em economias em desenvolvimento. Os formuladores de políticas públicas podem utilizar diversos instrumentos, como incentivos fiscais, para promover uma maior adoção das fontes de energia renovável, visando a um crescimento econômico sustentável.

Vale destacar a limitação desta pesquisa, em relação à disponibilidade de dados, não foram encontradas informações sobre o consumo de energia renovável para períodos anteriores ao estudado. Para trabalhos futuros, recomenda-se a inclusão do consumo de energia não renovável na interação entre as séries, de forma a compreender e analisar estatisticamente o impacto desta variável.

## REFERÊNCIAS

- ABID, M. How does renewable energy consumption affect environmental quality in Saudi Arabia? Evidence from quantile regressions. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v.13, n.4, p.574-578, 2023.
- AMARANTE, J. C. A. et al. **A relação entre crescimento econômico, consumo de energias renovável e não renovável e emissões de CO2: evidências empíricas para o Brasil**. Greenhouse Gases: Science and Technology, 2021.
- ARROW, K. et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Ecological Economics**, v.268, p.520-521, 1995.
- BECKERMAN, W. Economic growth and the Environment: whose growth? whose environment? **World Development**, v.20, n.4, p.481-496, 1992.
- BEKHET, H. A.; OTHMAN, N. S. The role of renewable energy to validate dynamic interaction between CO2 emissions and GDP toward sustainable development in Malaysia. **Energy Economics**, v.72, p.47-61, 2018.
- BEN JEBLI, M.; FARHANI, S.; GUESMI, K. Renewable energy, CO2 emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. **Structural Change and Economic Dynamics**, v.53, p.402-410, 2020.
- BOUBAKER, S.; OMRI, A. How does renewable energy contribute to the growth versus environment debate? **Resources Policy**, v.79, p.1-10, 2022.
- BUENO, R. de L. da S. **Econometria de séries temporais**. 2.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- CHEN, F. et al. Towards sustainable resource management: The role of governance, natural resource rent and energy productivity. **Resources Policy**, v.85, p.1-9, 2023.
- DINCER, I. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v.4, n.2, p.157-175, 2000.
- DONG, K.; DONG X.; DONG, C. Determinants of the global and regional CO2 emissions: What causes what and where? **Applied Economics**, p.1-14, 2018.
- DUPPATI, G.; TIWARI, A.; E MATLANI, N. Effects of CO2, Renewables and Fuel Prices on the Economic Growth in New Zealand. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v.13, n.4, p.555-562, 2023.
- EL-KARIMI, M. Investigating the causal linkage among economic growth and renewable and non-renewable energy consumption: cases of Germany, the UK and France. **OPEC Energy Review**, v.45, p.414-437, 2021.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas da eficiência energética Brasil 2019**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>. Acesso em: 16 jun. 2021.

- GROSSMAN, G; KRUEGER, A. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v.110, n.2, p.353-377, 1995.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- HINRICHS, R.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. 2.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Balances**. IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances-highlights>. Acesso em: 27 ago. 2023.
- KANG, S. H.; ISLAM, F.; TIWARI, A. K. The dynamic relationships among CO<sub>2</sub> emissions, renewable and non-renewable energy sources, and economic growth in India: evidence from time-varying Bayesian VAR model. **Structural Change and Economic Dynamics**, v.50 p.90-101, 2019.
- KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. **The American Economic Review**, v.45, n.1 p.1-28, 1955.
- LEE, J. W. The contribution of foreign direct investment to clean energy use, carbon emissions and economic growth. **Energy Policy**, v.55, p.483-489, 2013.
- MAJEED, M., T.; LUNI, T. Renewable energy, circular economy indicators and environmental quality: a global evidence of 131 countries with heterogeneous income groups. **Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences**, v.14, p.866-912, 2020.
- MARGARIDO, M. A. Teste de co-integração de Johansen utilizando o SAS. **Agricultura São Paulo**, São Paulo, v.51, n.1, p.87-101, jan./jun, 2004.
- MBAREK, M. B.; SAIDI, K.; FEKI, R. How effective are renewable energy in addition of economic growth and curbing CO<sub>2</sub> emissions in the long run? A panel data analysis for four Mediterranean countries. **Journal of the Knowledge Economy**, v.9, p.754-766, 2018.
- NEVES, S. A.; MARQUES, A. C.; PATRÍCIO, M. Determinants of CO<sub>2</sub> emissions in European Union countries: Does environmental regulation reduce environmental pollution? **Economic Analysis and Policy**, v.68, p.114-125, 2020.
- ÖZOKCU, S.; ÖZDEMIRB, O. Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.72, p.639-647, 2017.
- PARAMATI, S. R.; MO, D.; GUPTA, R. The effects of stock market growth and renewable energy use on CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from G20 countries. **Energy Economics**, v.66, p.60-371, 2017.
- PATTERSON, M. G. What is energy efficiency? **Energy Policy**, v.24, n.5, p.377-390, 1996.
- RADMEHR, R.; HENNEBERRY, S. R.; SHAYANMEHR, S. Renewable energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and economic growth nexus: a simultaneity spatial modeling analysis of EU countries. **Structural Change and Economic Dynamics**, v.57, p.13-27, 2021.
- RIDZUAN, N. H. A. et al. Effects of agriculture, renewable energy, and economic growth on carbon dioxide emissions: Evidence of the environmental Kuznets curve. **Resources, Conservation & Recycling**, v.160, 2020.

SALARI, M.; JAVID, R. J.; NOGHANIBEHAMBARI, H. The nexus between CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in the U.S. **Economic Analysis and Policy**, v.69, p.182-194, 2021.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019**. SEEG, 2020. Disponível em: [www.seeg.eco.br/documentos-analiticos](http://www.seeg.eco.br/documentos-analiticos). Acesso em: 16 jun. 2021.

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? **Journal of Environmental Economics and Management**, v.27, p.147-162, 1994.

SHAARI, M. S.; ABIDIN, N. Z.; KARIM, Z. A. The impact of renewable energy consumption and economic growth on CO2 emissions: new evidence using panel ARDL study of selected countries. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v.10, n.6, p.617-623, 2020.

SHAFIK, N. Economic development and environmental quality: an econometric analysis. **Oxford Economic Papers**, v.46, p.757-773, 1994.

SHAHBAZ, M.; SINHA, A. Environmental Kuznets curve for CO2 emissions: a literature survey. **Journal of Economic Studies**, v.46, p.106-168, 2018.

TAQUES, F. H.; MAZZUTTI, C. C. de T. P. de C. Qual a relação entre desigualdade de renda e nível de renda per capita? testando a hipótese de Kuznets para as unidades federativas brasileiras. **Planejamento e Políticas Públicas**, n.35, 2010.

TIWARI, A. K. A structural VAR analysis of renewable energy consumption, real GDP and CO2 emissions: evidence from India. **Economics Bulletin**, v.31, n.2, p.1793-1806, 2011.

TUCKER, M. Carbon dioxide emissions and global GDP. **Ecological Economics**, v.15, p.215-223, 1995.

WANG, Z. et al. Revisiting China's natural resources-growth-emissions nexus: Education expenditures and renewable energy innovation. **Resources Policy**, v.85, p.1-10, 2023.

WORLD BANK. **Sovereign ESG data framework**. Disponível em: <https://datatopics.worldbank.org/esg/framework.html>. Acesso em: 27 ago. 2023.

XIE, L. et al. The time-varying relationship between CO2 emissions, heterogeneous energy consumption, and economic growth in China. **Environment, Development and Sustainability**, v.25, p.7769-7793, 2023.

ZAGHDOUDI, T. Oil prices, renewable energy, CO2 emissions and economic growth in OECD countries. **Economics Bulletin**, v.37, n.3, p.1844-1850, 2017.

ZHOU, H. et al. Unleashing the asymmetric effect of natural resources abundance on carbon emissions in regional comprehensive economic partnership: What role do economic globalization and disaggregating energy play? **Resources Policy**, v.85, p.1-11, 2023.