

Investimento em energias renováveis e seus efeitos sobre o PIB brasileiro (2002 - 2020)

Kaio Matheus Souza Lourenço

Bacharel em Administração pela Universidade Estadual do Ceará (UECE).
E-mail: kaio.matheus@aluno.uece.br

Francisco Laercio Pereira Braga

Doutor em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atualmente é Professor do Curso de Administração da Universidade Estadual do Ceará (UECE).
E-mail: laercio.braga@uece.br

Matheus Chaves Lopes

Bacharel em Administração pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Atualmente é Mestrando em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração (UECE).
E-mail: matheus.chaves@aluno.uece.br

Bruno Queiroz da Silva

Especialista em MBA Gestão empresarial da Faculdades Nordeste (FANOR). Atualmente é Mestrando em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração (UECE).
E-mail: bruno.queiroz@uece.br

RESUMO

O crescente desenvolvimento tecnológico, alinhado ao aumento da densidade populacional, resultou em crises energéticas e levou os países a procurar adaptações com o uso das fontes de energias alternativas. O objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos dos investimentos em energias renováveis (ER) sobre o PIB do Brasil entre 2002 e 2020. Em termos metodológicos, esta pesquisa caracteriza-se como quantitativa/exploratória e explicativa por meio da utilização da técnica de análise de regressão simples. Os resultados mostram que ocorreu crescimento de 235,85% nos investimentos em ER durante os anos de 2002 e 2020 e que esses investimentos em energias renováveis preveem a variação do PIB brasileiro, ou seja, o modelo consegue explicar 0,038% da variável dependente. Conclui-se que as fontes de ER têm impacto positivo no crescimento do país, embora seja, ainda, relativamente baixo.

Palavras-chave: Investimentos, Energia Renovável, Sustentabilidade, Produto Interno Bruto.

Investment in renewable energy and its effects on Brazilian GDP (2002 - 2020)

ABSTRACT

The growing technological development, coupled with the increase in population density, has resulted in energy crises and led countries to seek adaptations through the use of alternative energy sources. The aim of this study was to analyze the effects of investments in renewable energy (RE) on the GDP of Brazil between 2002 and 2020. Methodologically, this research is characterized as quantitative/exploratory and explanatory through the use of simple regression analysis technique. The results show that there was a growth of 235.85% in investments in RE during the years 2002 and 2020 and that these investments in renewable energy predict the variation of Brazilian GDP, that is, the model is able to explain 0.038% of the dependent variable. It is concluded that RE sources have a positive impact on the country's growth, although it is still relatively low.

Keywords: Investments, Renewable Energy, Sustainability, Gross Domestic Product.

1 INTRODUÇÃO

A literatura econômica do século XXI mostra que o desenvolvimento econômico contribuiu para auxiliar milhões de pessoas da miséria, aumentando a expectativa de vida por meio do acesso aos serviços básicos de saúde, saneamento e educação. Contudo, em paralelo à intensificação da atividade humana e maior pressão sobre os sistemas geradores de vida, ocasionados pelo desenvolvimento econômico e tecnológico, observou-se o aumento do uso dos recursos naturais disponíveis (RAWORTH, 2019).

A intensificação do crescimento da densidade populacional e do desenvolvimento econômico-tecnológico pressionam a demanda por energia e causam crises energéticas que, por sua vez, forçam o uso de recursos de origem fósseis (85%) e o uso de energias renováveis (10%) (BP, 2018; BERTOLO *et al.*, 2022). Esse contexto obriga os países a buscarem soluções alternativas como, por exemplo, exploração das fontes de energias renováveis, o que exige investimentos em pesquisas direcionadas para recursos que preservem o meio ambiente.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), a fonte hidráulica representou 56,8% da matriz elétrica brasileira, em 2021, seguida pelo gás natural com 12,8% e a energia eólica com 10,6%. A utilização de combustíveis não renováveis pelos setores industrial, elétrico, transportes e agricultura tem gerado preocupações quanto às consequências ambientais dessa fonte de energia. Isso tem estimulado debates acadêmicos e políticos sobre os impactos dessa exploração no crescimento econômico das regiões (APERGIS; PAYNE, 2012; BERTOLO *et al.*, 2022).

Por outro lado, de acordo com Gradella Villalva (2012), o Brasil se destaca em relação a outros países no uso de fontes de energia renováveis, uma vez que grande parte da eletricidade é gerada por meio de usinas hidrelétricas. Entretanto, ainda há lacunas quanto às implicações dos investimentos nesse tipo de energia no crescimento econômico, apesar de os efeitos ambientais já serem conhecidos. Dessa maneira, o Brasil, devido à sua extensa faixa territorial e abundância de recursos naturais, apresenta grande potencial para a geração de eletricidade através de fontes de energias renováveis, que já são utilizadas - devido às novas

tecnologias e técnicas de extração e uso das energias sustentáveis - em sua matriz elétrica em detrimento ao uso das fontes não renováveis (BERTOLO *et al.*, 2022).

Diante deste contexto, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: **qual foi o impacto do investimento em energias renováveis no crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro no período de 2002 a 2020?** Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar os efeitos dos investimentos em energias renováveis sobre o PIB do Brasil entre 2002 e 2020.

Destarte, propor este estudo da relação entre investimentos em energias renováveis e o crescimento econômico não é uma tarefa fácil de realizar e concluir em poucas páginas. Isso torna-se mais desafiador quando se considera que o crescimento econômico é o principal objetivo a ser alcançado pelos países, mas que pode gerar efeitos devastadores no meio ambiente (SHAFIEI; SALIM, 2014). Infelizmente, a terminologia “crescimento econômico” muitas vezes mascara elementos qualitativos e informações de custos e benefícios de longo prazo por trás de um enfoque meramente quantitativo (RAWORTH, 2019). Nesse sentido, este estudo apresenta resultados empíricos adicionais para se somar à constelação de informações para a literatura econômica sobre os possíveis impactos que o investimento em energia renováveis pode trazer para o país. A base teórica e a discussão deste estudo se apoiam nos trabalhos seminais realizados por Apergis e Payne (2010; 2012) e Apergis *et al.* (2010). Além desses, outros estudos recentes também fornecem robustez teórica e empírica para este trabalho.

Assim este trabalho está organizado em seis seções, nesta primeira fez-se presente a introdução, em seguida, tem-se o referencial teórico. Posterior, o terceiro capítulo apresentou a metodologia. Na seção seguinte apresentou-se os resultados e discussão que abordaram o panorama de investimentos de energia renovável no Brasil e mundo e a relação entre os investimentos em energia renovável e o PIB brasileiro. Por fim, considerações finais e referenciais bibliográficos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As discussões sobre desenvolvimento sustentável iniciaram na Conferência de Estocolmo, em 1972, através da dissensão entre o crescimento a qualquer custo e os impactos causados por esse modelo econômico ao meio ambiente e sociedade

(CORRÊA; PASSINI, 2022). Desta forma, constituiu-se em 1987 na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento um modelo que buscava equilibrar os aspectos econômicos aos socioambientais, o desenvolvimento sustentável, reconhecido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (ONU, 1987).

Outros encontros internacionais avançaram sobre a agenda da sustentabilidade, caso este da Eco-92 que chancelou compromissos na construção de uma sociedade mais justa, sustentável e pacífica, mediante a Carta da Terra e Agenda 21 (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012). Seguidos pelo Protocolo de Quioto em 1997, que estabeleceu compromissos na redução da emissão dos gases poluidores agravantes do efeito estufa e causadores do aquecimento global (NASCIMENTO, 2008).

Dentro deste conceito, a sustentabilidade se constituiu, segundo Elkington (2001), por três pilares essenciais: ambiental, social e econômico. A fim de garantir a proteção do meio ambiente, a promoção da igualdade social e assegurar o desenvolvimento econômico continuado de modo responsável. Baseada nessa perspectiva apresentada da sustentabilidade e do modelo de desenvolvimento sustentável, as Organizações das Nações Unidas (ONU) consolidaram, em 2015, o que há de mais avançado na agenda mundial através da elaboração dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (SOTTO *et al.*, 2019). Dentre os objetivos propostos estão precisamente o objetivo 7, de substituição das fontes energéticas poluidoras por matrizes energéticas renováveis até o ano de 2030, assim, espera-se um massivo investimento dos 193 Estados-membros da ONU, especialmente o Brasil, nessa infraestrutura energética sustentável.

As energias renováveis (ER) encarnam esta definição de sustentabilidade porque podem ser utilizadas indefinidamente sem diminuir as suas disponibilidades futuras, diferente dos combustíveis fósseis, que possuem recursos limitados e comprometem o meio-ambiente. Dessa maneira, ao levar em consideração as premissas do desenvolvimento sustentável, a utilização das ERs em substituição aos combustíveis fósseis torna-se viável e vantajosa. Em complemento, como apontado por Cosbey (2011), o uso de recursos naturais e renováveis pode gerar benefícios para a sociedade e economia, a exemplo da redução de pobreza e maior

acessibilidade a eletricidade através de uma distribuição de baixo custo de eletricidade gerada por fontes renováveis, além da geração de emprego, seja na construção das estruturas das fontes geradoras ou nas novas tecnologias e derivados da mesma.

Como comentado por Lucon e Goldemberg (2009), a utilização das ERs, a exemplo a solar, eólica e centrais hidrelétricas de pequeno porte, proporciona a descentralização da produção de energia e, como resultado, um aumento na segurança de fornecimento e geração de empregos, em linha com o proposto por Cosby (2011).

Em 2005, a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency - IEA*) foi convidada a contribuir com o Plano de Ação para Mudanças, organizado pelos oito países mais desenvolvidos com o objetivo de retomar os diálogos sobre o Protocolo de Quioto. Adotando um tom de urgência para mudanças no setor, a IEA fez estimativas pouco otimistas sobre a produção de energia sustentável.

O fato é que, no final do século XX e início do século XXI, as mudanças climáticas se intensificaram e as crises energéticas se tornaram mais frequentes, levando a um aumento na preocupação com o crescimento sustentável. Diante desse cenário, muitos países estão explorando alternativas de fontes de energia, incluindo a energia nuclear e renovável, que desempenham um papel importante na segurança energética e na redução das emissões de CO₂ (APERGIS *et al.*, 2010). Com base nessa premissa, Apergis *et al.* (2010) propuseram um estudo para investigar a relação causal entre as emissões de CO₂, o consumo de energia nuclear, o consumo de energia renovável e o crescimento econômico de 19 países desenvolvidos no período de 1984 a 2007.

Os resultados do estudo empírico de Apergis *et al.* (2010) são significativos para o debate sobre o tema na literatura econômica. Dentre as principais constatações, destaca-se a associação negativa e estatisticamente significativa entre o consumo de energia nuclear e as emissões de CO₂, enquanto há relação positiva entre as emissões e o consumo de energia renovável (APERGIS *et al.*, 2010). Além disso, o estudo sugere que tanto o consumo de ER quanto o crescimento econômico têm impacto positivo nas emissões de CO₂ no curto prazo. De maneira geral, a evidência empírica indica, ainda, relação de longo prazo entre emissões, energia nuclear, ER e crescimento econômico.

Nos últimos anos, tem havido uma crescente preocupação no meio acadêmico e nas políticas públicas internacionais sobre a relação entre o consumo de ER e o crescimento econômico. Nesse contexto, Apergis e Payne (2010) avaliaram essa relação em 20 países pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico nos anos de 1985 e 2005. Os resultados indicaram a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre o PIB real, o consumo de ER, a formação bruta de capital fixo e a força de trabalho. Por exemplo, um aumento de 1% no consumo de ER foi associado a um aumento de 0,76% no PIB real. Além disso, os autores observaram uma relação bidirecional de curto e longo prazo entre o consumo de ER e o crescimento econômico, que eles atribuíram aos resultados positivos das políticas governamentais que incentivam a produção de ER (APERGIS; PAYNE, 2010).

A utilização de fontes de ER tem se tornado cada vez mais importante em todo o mundo como um componente crucial do consumo energético. Essas fontes apresentam um crescimento rápido, com uma taxa média de crescimento de 3% ao ano (APERGIS; PAYNE, 2012). Para alcançar um crescimento sustentável, é necessário entender a relação entre o consumo de ER, que é tão importante para o meio ambiente, e o crescimento econômico. Ozturk (2010) afirma que esse resultado é, aparentemente, visível, no entanto, os resultados de estudos dessa temática ainda mostram inconsistências com uso de diversas metodologias e características diferenciadas entre os países analisados, por isso indicam a necessidade de realização de novos estudos empíricos relacionando essas variáveis.

Ozturk (2010) apontou, portanto, motivações que estão incentivando os pesquisadores a concentrar esforços na identificação de relações entre consumo de energia e crescimento econômico sob a luz do desenvolvimento sustentável (TUGCU; OZTURK; ASLAN, 2012). Por essa razão, Tugcu, Ozturk e Aslan (2012) realizaram um estudo para investigar as relações de longo prazo e causais entre consumo de ER e não renovável e o crescimento econômico nos países do G7 entre 1980 e 2009, por meio da função de produção clássica. Os resultados evidenciaram aspectos interessantes, como a existência de uma relação causal de curto prazo entre o consumo de ER e não renovável e o crescimento econômico no Japão, enquanto para os demais países do G7 houve ausência de causalidade entre essas variáveis. Além disso, no caso da ER, não houve relação causal com o crescimento

para França, Itália, Canadá e Estados Unidos. No geral, os autores perceberam a existência de causalidade bidirecional entre o consumo de energia não renovável e o crescimento econômico para os países do G7 (TUGCU; OZTURK; ASLAN, 2012).

Embora estudos anteriores já tivessem abordado essa relação, Apergis e Payne (2012) fizeram um estudo similar ao trabalho de Tugcu, Ozturk e Aslan (2012), ou seja, examinaram, agora, o uso de ERs e não renováveis e seus efeitos no crescimento econômico, incluindo medidas de capital e trabalho em um modelo de correção de erro. Esse estudo foi realizado com um painel multivariado de 80 países entre 1990 e 2007. Os resultados empíricos demonstram que ambas as fontes de energia são relevantes para o crescimento econômico e que existe uma relação de interdependência entre elas. Além disso, o modelo revela a possibilidade de substituição entre as duas formas de energia consideradas, o que indica que elas são igualmente importantes para o crescimento econômico. Isso oferece oportunidades para o uso de políticas governamentais no estímulo a fontes de ER e na redução da dependência de energias não renováveis (APERGIS; PAYNE, 2012).

Marques *et al.* (2012) analisaram várias fontes de energia e sua influência do crescimento econômico em um conjunto de 24 países europeus entre 1990 e 2007. Os resultados indicaram que o uso de ERs não parece impactar no crescimento, possivelmente devido aos altos custos de promoção dessas fontes de energia, o que pode desacelerar a economia. Além disso, o consumo maior de energia pode estar associado a atividades não produtivas, elevando os preços da economia e reduzindo a competitividade (MARQUES *et al.*, 2012).

Para concluir esta revisão teórica, Matos (2020) conduziu um estudo empírico no Brasil examinando a relação entre o crescimento econômico e a produção de energia renovável. Os resultados indicam que há uma associação entre essas variáveis, mas não há relação causal direta entre o aumento do PIB e o aumento da produção de ER. Dessa maneira, o estudo em questão analisa a relação entre os investimentos em energias renováveis sobre o PIB brasileiro.

3 METODOLOGIA

Os dados de investimentos públicos em energias renováveis e geração de eletricidade foram extraídos da *International Renewable Energy Agency* (IRENA,

2020; 2022) considerando o Brasil e o mundo, referente aos anos de 2002 a 2020. Devido os dados estarem em dólares americanos, os valores foram convertidos em reais pela taxa de câmbio mensais e anuais de 2022.

Os dados do PIB brasileiro, por sua vez, foram extraídos da base de dados do IPEADATA, a partir das informações econômicas mensais compiladas pelo Banco Central (BACEN). Os dados de inflação, por conseguinte, foram obtidos por meio do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que é calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e é o índice oficial utilizado pelo governo federal para medir as metas inflacionárias (BACEN, 2022).

Asta pesquisa caracteriza-se como pesquisa exploratória e explicativa e foi adotada, neste estudo, a abordagem quantitativa. A coleta e análise de dados numéricos foram realizadas por meio de testes estatísticos. Para auxiliar nessas análises, os resultados foram interpretados com o auxílio do *software* JASP, que é um programa de estatística de código aberto gratuito da Universidade de Amsterdã. A opção por esse *software* é devido ser uma ferramenta objetiva e que oferece uma interface simples e intuitiva para técnicas estatísticas (GOSS-SAMPSON, 2020).

O local de estudo é o cenário brasileiro referente aos investimentos em energias renováveis durante o período de 2002 a 2020. A escolha foi baseada na localização geográfica e no potencial de geração de energias renováveis que o Brasil possui, diante da literatura encontrada. No que diz respeito as tabulações dos dados, devido aos problemas de dados faltantes em relação aos investimentos, no final utilizaram-se 142 meses com informações contínuas e que foram selecionados como amostra.

Assim, para atingir o objetivo deste estudo, considerou-se variáveis dependentes e independentes, a saber: o PIB e o investimento em energia renovável, respectivamente. Para isso, a análise foi dividida em três etapas: i) deflacionamento do PIB, com intuito de eliminar o efeito da inflação (valores nominais) e obter valores reais; ii) aplicação da análise da correlação Pearson; iii) e regressão linear simples das variáveis. Por fim, para estabilizar a variação dos dados, os valores foram logaritmizados. Além disso, foi eliminado a possibilidade de autocorrelação entre os valores dos resíduos considerando o valor do período t menos o valor do período anterior.

A correlação de Pearson expressa o grau de correlação entre as variáveis através de valores no intervalo de -1 a 1. Quando o coeficiente está entre -1 e 0, há uma correlação negativa entre as variáveis, o oposto ocorre quando o coeficiente está entre 0 e 1, e é neutro quando o resultado é 0. Quanto mais próximo das extremidades do intervalo, mais forte é a correlação. Esse método permite, portanto, determinar se há uma relação entre as variáveis, como por exemplo, se o aumento do valor de uma variável está associado ao aumento ou diminuição da outra (WALPOLE *et al.*, 2009).

A partir de um conjunto de dados de duas variáveis, a variável independente (X) – investimentos em energias renováveis - e a variável dependente (Y), PIB brasileiro, busca-se traçar uma linha reta que melhor se ajusta aos dados, de forma a representar a relação entre as duas variáveis, ou seja, uma função linear da variável X (por isso denominado de regressão linear simples). Essa linha é chamada de linha de regressão e a equação que a descreve é obtida através de cálculos estatísticos. Nesse modelo, vale ressaltar, supõe-se que as relações ocorrem em uma única direção, isto é, de X para Y (GUJARATI; PORTER, 2011; ARAÚJO *et al.*, 2018).

Na regressão linear simples, há apenas uma variável independente e uma dependente (Equação 2), em que α é o coeficiente angular, que representa a inclinação da linha, e β é o coeficiente linear, que representa o ponto em que a linha cruza o eixo Y quando X é igual a zero. Dessa forma, o objetivo desta análise é determinar o valor do coeficiente angular (α) e linear (β) para a relação entre o investimento em energias renováveis e o PIB brasileiro, de forma a avaliar qual é a influência do investimento nas energias renováveis no crescimento do PIB.

$$Y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad (2)$$

onde: Y : variável dependente; α é o intercepto; β é a inclinação da reta; x é a variável independente

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção está dividida em 2 subseções, a primeira subseção irá abordar o cenário de investimento internacional e nacional em energias renováveis no mundo

e no Brasil. Na segunda subseção, será apresentado o resultado da regressão linear simples sobre a relação entre PIB e o investimento em energia renovável.

4.1 Panorama dos investimentos em energia renovável no mundo e no Brasil

De acordo com a International Renewable Energy Agency (IRENA, 2022), em 2020, a China foi o país que mais gerou eletricidade de origem renovável, seguida pelos Estados Unidos, Brasil, Canadá e Índia (Tabela 1). Apenas esses países foram responsáveis por 56,7% de toda a geração mundial de eletricidade renovável, ou seja, representam metade da produção global. A China sozinha, por exemplo, gerou 28% do total de energia renovável (ER), o que é maior do que a soma dos demais países do ranking, que representam 27,9% do total. Isso se deve, em grande parte, ao alto investimento em ER feito pela China e ao alinhamento com o Governo - por meio dos Planos Quinquenais chineses - que estabelecem objetivos e metas para fontes renováveis desde 2000 (JUNCAL, 2019).

Em 2016, o Brasil respondia por 7,91% da geração mundial de eletricidade por fontes renováveis, mas essa participação caiu para 7% em 2020. É importante ressaltar que essa redução ocorreu devido ao maior crescimento da geração de energia no mundo, que aumentou em 30% entre 2016 e 2020, enquanto o Brasil conseguiu aumentar sua geração de ER em apenas 12,26% no mesmo período (IRENA, 2020).

Tabela 1 - Ranking da geração de eletricidade (GWh) por fontes renováveis

Regiões	2016	2017	2018	2019	2020
Mundo	5.883.206	6.211.866	6.590.943	6.955.866	7.468.058
China	1.522.405	1.648.541	1.810.864	1.986.041	2.149.534
USA	637.076	718.174	743.177	767.035	827.387
Brasil	465.823	467.029	495.300	515.449	522.935
Canadá	430.044	441.055	433.242	427.296	437.084
Índia	190.238	209.262	237.057	273.081	299.905
Alemanha	189.672	216.323	222.075	240.332	250.154

Fonte: IRENA (2022). Elaborado pelo autor (2023).

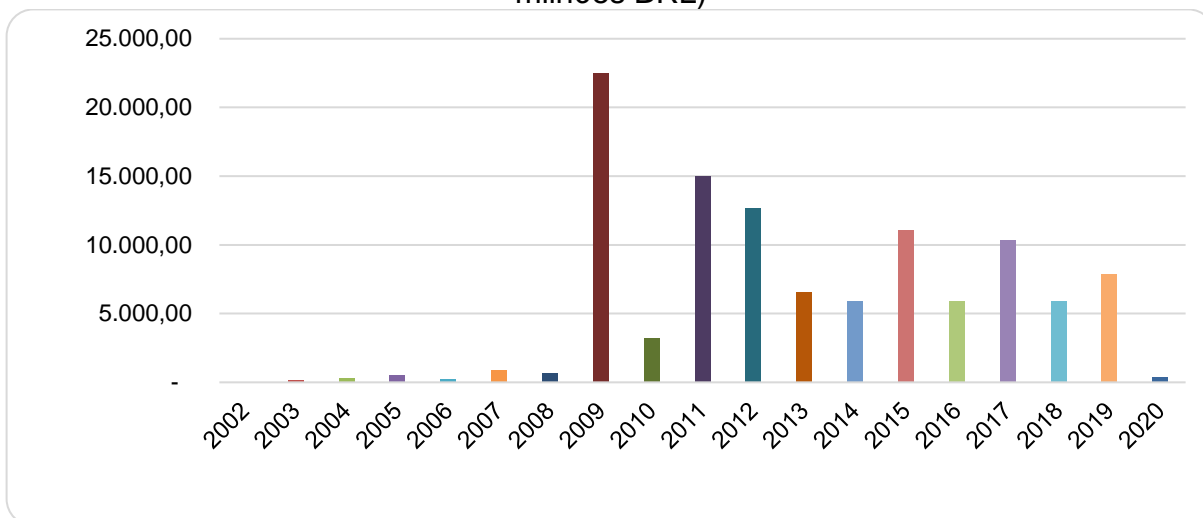
Os países que lideram a geração de eletricidade por fontes renováveis têm características em comum em relação aos requisitos necessários para produzir esse

tipo de energia. A geração de energia renovável, deve-se ressaltar, depende da localização geográfica e das condições climáticas - como é o caso da energia solar e eólica além da necessidade de grandes extensões de terra para a construção de hidrelétricas (BONDARIK; PILATTI; HORST, 2018). Portanto, nem todos os países têm a capacidade de produzir energia renovável em grande escala. No entanto, isso não impede o uso de fontes renováveis em pequena proporção.

Os investimentos anuais realizados em ER - por regiões do mundo - entre 2014 e 2018 mostram que a região da Ásia-Pacífico registrou o maior nível de investimento dentre as regiões, seguido pela OCDE, Américas e Europa Ocidental, representados pela China, Estados Unidos e Alemanha, respectivamente. Além disso, os investimentos permaneceram em níveis constantes, sem variações substanciais.

No contexto brasileiro, é possível observar os investimentos públicos em ER no período entre 2002 e 2020. De acordo com os dados, houve crescimento significativo de 235,85% na segunda década em comparação à primeira, totalizando cerca de 110 bilhões de reais investidos em ER durante todo o período. Os anos de maior investimento foram 2009 e 2011, com um declínio no patamar de investimento a partir desse período. Vale ressaltar que, em 2009, o Senado Brasileiro aprovou o Regime Especial de Tributação para o Incentivo ao Desenvolvimento e à Produção de Fontes Alternativas de Energia Elétrica (REINFA), que visa incentivar o consumo e produção de energia limpa, como solar, eólica e marítima (BRASIL, 2009). Esse regime permite que as empresas utilizem tecnologias para energias limpas e tornem-se elegíveis para o REINFA, que as isenta de diversos impostos e contribuições (BRASIL, 2009). Isso pode explicar, portanto, o ápice de investimentos em energias renováveis em 2009 e 2011, bem como o aumento significativo nos anos posteriores em comparação ao período anterior à aprovação da lei.

Figura 2 - Investimentos públicos em Energia Renovável no Brasil, 2002 - 2020 (em milhões BRL)



Fonte: IRENA (2022). Elaborado pelo autor (2022)

No que se refere ao comportamento da variação percentual do PIB brasileiro entre 2002 e 2020, observa-se desempenhos relevantes em momentos específicos, como em 2003 (devido ao boom das commodities que impulsionou o resultado do PIB nos anos seguintes), queda em 2008 (em decorrência da crise financeira internacional dos *subprimes*), queda nos anos de 2014, 2015 e 2016 (devido às tensões políticas relacionadas ao *impeachment* presidencial) e, em 2020, (devido às tensões mundiais geradas pela pandemia do coronavírus) (IBGE, 2022). Esse comportamento registrado ao longo do tempo revela, entretanto, apenas informações quantitativas, deixando oculto as informações qualitativas (custos e benefícios gerados) ao longo desse período, o que exige explorações adicionais que possam ter ocasionado tais comportamentos (RAWORTH, 2019).

No entanto, a década de 2010 foi significativa, pois testemunhou o aumento e a estabilização dos investimentos em ERs no Brasil, influenciados pelos incentivos fiscais e governamentais que desempenharam papel importante nesse mercado (BRASIL, 2009). Além disso, houve redução nos custos de implementação e geração dessas fontes renováveis no mundo, fator crucial para o aumento da geração e consumo dessas fontes em diversos países (GUIMARÃES, 2019; IRENA, 2022).

4.2 Relação entre os investimentos em energia renovável e o PIB brasileiro

A análise de regressão linear simples entre os investimentos em ERs e o PIB brasileiro revelou as correlações entre as duas variáveis estudadas, em que a correlação de Pearson apresentou valor estatisticamente significativo - abaixo de 5% -, indicando correlação linear positiva em torno de 0,212. Isso sugere que as oscilações das variáveis seguem direções semelhantes, mas o resultado é considerado como correlação fraca, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Correlações das variáveis

		LogPIBt-1	LogINvt-1
Pearson	LogPIBt-1	1,000	,212
Correlation	LogINvt-1	,212	1,000
Sig. (1-tailed)	LogPIBt-1	.	,007
	LogINvt-1	,007	.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

O modelo revelou que os investimentos em ERs explicam uma variação de 4,5% do PIB brasileiro, conforme indicado pelo coeficiente de relação (R^2). Contudo, esse valor pode sofrer alterações quando o R^2 é ajustado, tendo chegado a cerca de 3,8%. Verificou-se, através do teste de Durbin-Watson (DW), que não existe autocorrelação entre os resíduos, pois o valor de DW obtido foi de 2,394, indicando que os resíduos são independentes (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados do modelo

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,212 ^a	,045	,038	,0173097	2,394

a. Predictors: (Constant), LogINvt-1

b. Dependent Variable: LogPIBt-1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A Tabela 4 apresenta a análise de variância (ANOVA), que considera a hipótese nula de que o modelo sem a variável explicativa é igual ao modelo com a variável, enquanto a hipótese alternativa indica que os dois modelos são diferentes. O resultado mostra um valor de "p" menor que 0,05 (0,014), o que significa que a hipótese alternativa é aceita, indicando que a inclusão da variável investimento em energias renováveis resultou em um modelo de regressão diferente do modelo sem essa variável. Isso sugere que o modelo atual realmente indica alguma relação entre as variáveis.

Tabela 4 – Resultados da ANOVA

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	,002	1	,002	6,168	,014 ^b
Residual	,039	131	,000		
Total	,041	132			

a. Dependent Variable: LogPIBt-1
 b. Predictors: (Constant), LogINVt-1
 Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A tabela 5 revela que o modelo em questão não possui um intercepto significativo, o que significa que o valor do coeficiente do intercepto é estatisticamente igual a zero, aceitando a hipótese nula. Em relação ao coeficiente de investimento em energias renováveis (LogINVt-1), observa-se um valor de 0,003 (coeficiente não padronizado) e um “p” menor do que 0,05 ($p = 0,014$), indicando que esse coeficiente é estatisticamente diferente de zero e, portanto, aceita-se a hipótese alternativa. Isso significa que um aumento de 1% nos investimentos em ERs ocasionou impacto de 0,003 (milhões de reais) no PIB brasileiro. Enquanto que, ao considerar o coeficiente padronizado, pode-se afirmar que o aumento de 1% nos investimentos em ERs está relacionado a um aumento de 0,212 no valor do PIB brasileiro.

Tabela 5 – Coeficientes do modelo

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	,002	,002		1,297	,197
LogINVt-1	,003	,001	,212	2,483	,014

a. Dependent Variable: LogPIBt-1
 Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Em relação ao último pré-requisito do modelo - a presença ou ausência de homocedasticidade - verificou-se que a dispersão do modelo analisado indicou a normalidade dos resíduos e, também, a conformidade com os pré-requisitos para a normalidade da regressão, ou seja, a homocedasticidade. Portanto, a regressão linear simples demonstrou que os investimentos públicos em energias renováveis preveem a variação do PIB brasileiro, conforme evidenciado pelos resultados, e o modelo é capaz de explicar 0,038% da variação da variável dependente. A variação prevista do PIB, em milhões de reais, é dada pela seguinte equação.

$$Y = 0,002 + 0,003x$$

Desta forma, o modelo demonstrou que os investimentos em ERs têm impacto positivo no PIB brasileiro. Isso está em linha com os estudos de Cosbey (2011), que discute os benefícios econômicos decorrentes de investimentos em fontes renováveis. A transição para uma economia verde - uma economia baseada na sustentabilidade - pode abrir novas janelas de oportunidades para diversos mercados como, por exemplo, biocombustíveis e novas tecnologias de energias renováveis (COSBEY, 2011). Assim, os efeitos econômicos do investimento e uso de fontes renováveis são aumentados, uma vez que a instalação das tecnologias nas modalidades de ER, sua produção e distribuição exigem considerável mão de obra, o que geram, por sua vez, empregos e impulsionando a atividade econômica, como observado por Grijó (2014).

Este estudo contribui para o debate ao mostrar que, assim como em estudos realizados por Cosbey (2011), Apergis e Payne (2010), Apergis e Payne (2012) e Matos (2020), no contexto do Brasil, há uma relação positiva entre investimento em ER e crescimento econômico. Estes estudos destacam que a relação entre as variáveis é bidirecional, ou seja, o investimento em ER gera externalidades positivas, tais como novos mercados, aumento de empregos, renda, maior geração e consumo de energia renovável. Isso é fundamental para o crescimento econômico, pois impacta na competitividade nacional e reduz os impactos ambientais e sociais, além de contribuir para a redução da pobreza (COSBEY, 2011; LUCON; GOLDEMBERG, 2009).

Considerando este cenário, é importante ressaltar que o Brasil possui vantagens naturais que o beneficiam no que se refere à produção e geração de energias renováveis, bem como em sua comercialização. Além de deter recursos naturais que favorecem a exploração desse tipo de fonte de energia, o país possui uma localização geográfica privilegiada, que estimula a pesquisa e a inovação nessa área (BERTOLO *et al.*, 2022; EPE, 2022).

Além disso, a preocupação crescente em relação às mudanças climáticas e seus impactos negativos decorrentes do uso de fontes não renováveis, causa forte impulso para investimentos em fontes renováveis, sendo que políticas públicas assumem papel importante em conscientizar a população sobre o uso dessas fontes e, também, para reduzir a dependência em fontes não renováveis (APERGIS;

PAYNE, 2012). A criação da REINFRA (BRASIL, 2009) representa, por exemplo, um marco importante nesse sentido.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os conceitos de sustentabilidade e energia renovável, bem como seus impactos ambientais e sociais, fornecendo um panorama global e nacional sobre investimentos e geração de energia a partir de fontes renováveis. A análise foi realizada, principalmente, por meio de métodos estatísticos, buscando compreender como essas duas variáveis estão relacionadas. Como resultado, o objetivo principal deste estudo foi alcançado, que foi entender os impactos dos investimentos em energias renováveis no crescimento do PIB brasileiro no período de 2002 a 2020.

Os principais resultados mostram que há uma correlação positiva entre os investimentos em energias renováveis e o PIB brasileiro, ou seja, as suas oscilações seguem direções semelhantes. No entanto, esse resultado, apesar de positivo, configura-se como correlação fraca, visto que seu valor está em torno de 0,212, próximo a 0. Também foi possível constatar um expressivo crescimento nos investimentos em energias renováveis no Brasil durante as últimas duas décadas, da primeira década para a segunda, o investimento cresceu em torno de 235,85%, acumulando durante todo o período selecionado o total de, aproximadamente, 110 bilhões de reais investidos.

A regressão linear simples do estudo mostrou que os investimentos públicos em energias renováveis preveem a variação do PIB brasileiro, como evidenciam os resultados, ou seja, o modelo consegue explicar 0,038% da variável dependente. Dessa maneira, pode-se exemplificar que se houvesse um aumento de 1% nos investimentos em energias renováveis, causaria um impacto positivo de 0,038 milhões no PIB brasileiro.

Isto posto, pode-se concluir que as fontes de energia renovável têm um impacto positivo no crescimento econômico do país, embora seja relativamente baixo. Ainda assim, é considerada uma opção vantajosa no momento, e tem potencial para melhorar ainda mais com a evolução da tecnologia e a redução dos custos de implementação. É importante ressaltar, no entanto, que este estudo se

concentra apenas no impacto das energias renováveis no PIB brasileiro em relação aos níveis de investimento, e não considera outros fatores importantes, como a criação de empregos, a geração de capacidade e a economia gerada pela substituição de fontes de energia fósseis. Esses aspectos podem ser considerados em estudos futuros, além de poder ter um horizonte de tempo analisado maior, o que poderá trazer novos resultados com maior nível de confiança.

REFERÊNCIAS

APERGIS, N.; PAYNE, J. E.; MENYAH, K.; WOLDE-RUFAEL, Y. On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. **Ecological Economics**, v. 69, n. 11, p. 2255-2260, 2010.

APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable and non-renewable energy consumption growth nexus: Evidence from a panel error correction model. **Energy economics**, v. 34, n. 3, p. 733-738, 2012.

APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable energy consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries. **Energy policy**, v. 38, n. 1, p. 656-660, 2010.

ARAÚJO, A. W.; COSTA, T.; CARVALHO, B. N.; SOUSA, L. M. A hipótese da eficiência do mercado: o caso do café no mercado futuro do Brasil. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 15, n. 3, p. 56-69, 2018.

BERTOLO, A. J.; KOPPLIN, B. W.; BERTOLO, J. P.; DA SILVA, L.; CASSOL, F. Combustíveis fósseis: panorama de produção e consumo no Brasil. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v.9, n.1, p. 102-123, 2022.

BRASIL. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Metas para Inflação**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/metainflacao>. Acesso em: 27 out. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **EPE publica relatório síntese do Balanço Energético Nacional**. [S. l.], 1 jun. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/epe-publica-relatorio-sintese-do-balanco-energetico-nacional>. Acesso em: 1 set. 2022.

CORRÊA, M. A. K; PASSINI, J. J. Contribuições de Ignacy Sachs para o desenvolvimento sustentável do oeste do Paraná. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 9, n. 1, p. 40-58, 2022.

COSBEY, A. Trade, sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks. In: **The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective**, 2011, p. 40

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade**: canibais com garfo e faca. São Paulo: M. Books do Brasil, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional**. [S. l.], 2022. Anual. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 1 set. 2022.

GRADELLA VILLALVA, M. **Energia Solar Fotovoltaica**: Conceitos e Aplicações. 2. ed. rev. São Paulo: érica, 2012.

GRIJÓ, M. T. S. P. M. **O impacto da produção de energia solar fotovoltaica no crescimento económico**: Casos da Alemanha, Espanha, França, Itália, Portugal e Reino Unido. 2014. Tese (Mestrado em Economia) - Faculdade de Economia, Universidade do Porto, [S. l.], 2014.

GOSS-SAMPSON, M. A. JASP. **Análise estatística no JASP**: um guia para estudantes. 4. ed. v. 14. JASP, 2020.

GUIMARÃES, L. S. **O custo nivelado da eletricidade e seu impacto na transição energética**. FGV Energia, [s. l.], 12 jul. 2019.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5ª edição, Editora AMGH, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto (PIB)**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php#:~:text=O%20que%20é%20o%20PIB,R%24%208%2C7%20trilhões>. Acesso em: 27 out. 2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA (org.). **Capacity and Generation**: Country Rankings. [S. l.], 20 jul. 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em: 22 ago. 2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA (org.). **Finance and Investment**: Investment Trends. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Finance-and-Investment/Investment-Trends>. Acesso em: 22 ago. 2022.

IPEADATA. **Produto Interno Bruto (PIB)**. 2022. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=521274780&module=M>. Acesso em: 27 out. 2022.

JUNCAL, L. F. **Virada Verde na China**: um estudo sobre a trajetória da política de energia renovável chinesa (2000-2017). Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Ciência Política da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 23, n. 66, p. 121-130, 2009.

MATOS, M. M. de. Crescimento econômico e produção de energias renováveis: um breve estudo empírico. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 17, n.2, 12-26. doi: 105935/1808-2785/rem.v17n2p.12-26, 2020.

NASCIMENTO, L. F. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. 1. ed. [S. l.]: s. n., 2008. 190 p.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B.; CUNHA, S. K. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 10, n. 3, p. 630-651, 2012.

OZTURK, I., 2010. A literature survey on energy-growth nexus. **Energy Policy**, v. 38, n.1, 340–349

RAWORTH, K. **Economia Donut: Uma alternativa ao crescimento a qualquer custo**. Tradução de George Schlesinger. 1ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2019. 368 p.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ROOS, A.; BECKER, E. L. S. Educação ambiental e sustentabilidade. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, n. 5, p. 857-866, 2012.

SHAFIEI, S; SALIM, R. A. Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 66, p. 547-556, 2014.

SOTTO, D. RIBEIRO, D. J.; ABIKO, A. K.; SAMPAIO, C. A. C.; NAVAS, C. A.; MARINS, K. R. C.; SOBRAL, M. C. M.; PHILIPPI JÚNIOR, A.; BUCKERIDGE, M. S. Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. **Estudos Avançados**, v. 33, p. 61-80, 2019.

TORRESI, S. I. C. de; PARDINI, V. L.; FERREIRA, V. F. O que é sustentabilidade?. **Química Nova**, [s. l.], v. 33, n. 5, ed. 1, 2010.

TUGCU, C. T.; OZTURK, I.; ASLAN, A. Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: evidence from G7 countries. **Energy economics**, v. 34, n. 6, p. 1942-1950, 2012.

UNITED NATIONS WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future**: The word commission on environment and development. Oxford: Oxford University Press, 1987. 400p. Disponível em: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. Acesso em: 1 set. 2022.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. **Probabilidade e Estatística**: para engenharia e ciências. 8. ed. rev. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.