

RELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E EMISSÃO DE CO₂ NOS ESTADOS BRASILEIROS: uma análise a partir da Curva Ambiental de Kuznets

The Relationship Between Economic Growth and CO₂ Emissions in Brazilian States: An Analysis Based on the Environmental Kuznets Curve

Natalia Girardi

Unochapecó. Chapecó, Santa Catarina (SC), Brasil

Tatiane Salete Mattei

Unochapecó. Chapecó, Santa Catarina (SC), Brasil

Alícia Cechin

Unochapecó. Chapecó, Santa Catarina (SC), Brasil

Táise Fátima Mattei

UFSM. Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul (RS), Brasil

GT4 – Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

RESUMO

As discussões sobre a relação entre o crescimento econômico e os indicadores ambientais têm sido recorrentes nos últimos anos. Este trabalho teve como objetivo analisar, a partir da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, de que maneira o crescimento econômico se relaciona com as Emissões de CO₂ nos estados brasileiros. Para alcançar o objetivo proposto, estimou-se uma regressão de dados em painel, considerando dados dos 27 estados brasileiros durante 24 anos, totalizando uma amostra de 648 observações. Os resultados encontrados confirmam a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA), indicando que, após certo nível de PIB, o crescimento econômico tende a reduzir as Emissões de CO₂. Contudo, setores como o agronegócio e as exportações *high-tech* ainda exercem forte influência positiva nas emissões, evidenciando a necessidade de políticas específicas para descarbonizar a produção e promover a inovação verde. A diversificação da matriz energética e a ampliação do uso de fontes renováveis também se mostram essenciais para mitigar os efeitos do consumo de energia sobre o meio ambiente. Identificar essas relações pode auxiliar os formuladores de políticas na busca pelo equilíbrio entre esses elementos com o intuito de alcançar um crescimento econômico sustentável.

Palavras-chave: Curva de Kuznets Ambiental; Desenvolvimento Econômico; Emissões de CO₂; Inovação Tecnológica.

ABSTRACT

Discussions about the relationship between economic growth and environmental indicators have been recurrent in recent years. This work aimed to analyse, based on the Environmental Kuznets Curve hypothesis, how economic growth relates to CO₂ emissions in Brazilian states. To achieve the proposed objective, a panel data regression was estimated, considering data from the 27 Brazilian states over 24 years, totaling a sample of 648 observations. The results confirm the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, indicating that, after a certain level of GDP, economic growth tends to reduce CO₂ emissions. However, sectors such as agribusiness and high-tech exports still exert a strong positive influence on emissions, highlighting the need for specific policies to decarbonize production and promote green innovation. Diversification of the energy matrix and expansion of the use of renewable sources are also essential to mitigate the effects of energy consumption on the environment. Identifying these relationships can help policymakers find a balance between these elements in order to achieve sustainable economic growth.

Keywords: Environmental Kuznets Curve; Economic Development; CO₂ Emissions; Technological Innovation.

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, a preocupação internacional com os impactos ambientais do crescimento econômico tem se intensificado, especialmente após a Conferência de Estocolmo (1972). Posteriormente, eventos como a Conferência de Toronto (1988), a Eco-92 e o Protocolo de Kyoto (1997) consolidaram a agenda ambiental global, incentivando a adoção de estratégias voltadas à redução da degradação ambiental e à promoção do desenvolvimento sustentável (Vieira *et al.*, 2023; Chaves, 2023).

A relação entre produção e o meio ambiente é contemplada na Curva de Kuznets Ambiental. Grossman e Krueger (1995), baseados na ideia de Kuznets (1955) concluíram ao analisar um conjunto de indicadores de poluição, que a degradação ambiental se expande com o crescimento econômico até que, ao atingir um dado nível renda per capita, os indicadores ambientais melhoram, apresentando um formato de “U” invertido, introduzindo a hipótese de que a relação entre o crescimento econômico e os indicadores ambientais, ocorrem a uma taxa marginal decrescente.

A relação positiva entre crescimento da renda e poluição se dá da seguinte forma: indivíduos com maior renda consomem mais e, como consequência poluem mais, devido à maior utilização de eletrodomésticos, veículos, entre outros. Por sua vez, com o crescimento da demanda, as firmas produzem mais e, consequentemente, produzem mais poluentes atmosféricos e da água, assim como uma maior quantidade de resíduos industriais (Arraes; Diniz; Diniz, 2006). Por outro lado, entender a fase declinante da curva de Kuznets é menos intuitiva, a relação inversa entre renda e degradação é explicada pela composição e técnica sobre o efeito escala. Esta relação considera que altos níveis de tecnologia seriam capazes de manter a produção reduzindo os níveis de poluição (Ávila; Diniz, 2015).

Em 2023, segundo o Banco de Dados de Emissões para Pesquisa Atmosférica Global (EDGAR) o Brasil ocupava a 6^o posição no ranking mundial dos países que mais emitem gases de efeito estufa, sendo responsável por 3% das emissões totais. Com esse número o Brasil ficou atrás apenas de países como China, Estados Unidos, Índia, União Europeia e Rússia.

No âmbito nacional, dados apontados pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) (2023) mostram que o estado brasileiro que emite o maior volume de gás de efeito estufa é o Pará, seguido por Mato Grosso e Maranhão, em termos per capita o ranking nacional é composto por Rondônia e Amazonas, enquanto os responsáveis pela menor parcela são Sergipe, Distrito Federal e Amapá. Nesses estados de maior emissão, tem suas principais atividades econômicas ligadas ao agronegócio.

Em consonância com o exposto acima, levantou-se a problemática da pesquisa: Qual a relação entre o crescimento econômico e as emissões de CO₂ nos estados brasileiros? Para responder ao problema foi estimado um modelo de dados em painel, para o período 2000-2023 tendo como objetivo analisar, a partir da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, de que maneira o crescimento econômico se relaciona com as Emissões de CO₂ nos estados brasileiros.

O trabalho se justifica por ampliar a literatura existente sobre as Emissões de CO₂ relacionadas ao crescimento econômico. Estudos anteriores (De Souza; Tabosa, 2019; Arraes; Diniz; Diniz, 2006; Ceretta, Sari e Cerreta, 2020) compararam os dados relacionados ao Brasil com outros países, enquanto, outros estudos (De Almeida; Lobato, 2019; Almeida *et al.*) analisaram dados correspondentes a outros recortes de tempos. Este estudo, por sua vez, concentra-se no contexto dos estados brasileiros, durante 24 anos, permitindo uma melhor compreensão das condições ambientais associadas ao crescimento econômico no país.

Identificar as relações entre o crescimento econômico e a poluição ambiental auxilia os formuladores de políticas na busca pelo equilíbrio entre esses elementos, visando alcançar um crescimento econômico sustentável (Basso; Stamm, 2025).

Este estudo inova ao incluir no modelo variáveis de controle para desenvolvimento humano e tecnologia. Ao incluir a tecnologia buscou -se captar os efeitos da modernização do processo produtivo sobre as emissões de CO₂ nos estados brasileiros. Para isso, são utilizadas variáveis como os gastos com pesquisa e desenvolvimento (P&D) e participação das exportações de bens *high-tech*.

Diante do exposto, além desta introdução, este trabalho conta com mais quatro seções. Uma breve consideração sobre os principais conceitos abordados, uma série histórica das principais conferências climáticas, a teoria que aborda a relação entre o crescimento e as Emissões CO₂, bem como a dinâmica regional das emissões de CO₂ e do PIB per capita nos estados brasileiros são apresentadas na seção 2. Os aspectos metodológicos adotados no trabalho são apresentados na seção 3, as discussões dos resultados alcançado na seção 4, enquanto as considerações finais são abordadas na seção 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CRESCIMENTO ECONÔMICO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O crescimento econômico pode ser considerado uma simples variação quantitativa do produto, medido geralmente pelo Produto Interno Bruto (PIB). Com o tempo o crescimento

econômico tende a esgotar os recursos produtivos escassos, através de sua utilização indiscriminada. A atividade produtiva, por exemplo, tende a poluir os mananciais de água, infestar o ar atmosférico, interferindo no próprio clima e no regime de chuvas, o que afeta a saúde da população (Souza, 2005).

O desenvolvimento econômico, por sua vez, envolve mudanças qualitativas no modo de vida das pessoas, das instituições e das estruturas produtivas, e é geralmente medido pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Nesse sentido, o desenvolvimento caracteriza-se pela transformação de uma economia obsoleta em uma economia eficiente, melhorando a qualidade de vida do conjunto da população, envolvendo melhoria nos indicadores econômicos e sociais, além da preservação do meio ambiente (Souza, 2005).

A problemática ambiental e o sistema econômico apontam para a necessidade de um modelo diferente de crescimento que possibilite a promoção do desenvolvimento com a redução da pobreza e mais equidade socioambiental. A partir dessa problemática, o desenvolvimento sustentável é pautado na busca de compatibilizar o desenvolvimento com a economia, envolvendo variáveis de ordem econômica, social e ambiental, indicando um caminho a ser seguido pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Em outras palavras, desenvolvimento sustentável é o que preserva o meio ambiente, sobretudo os recursos naturais não renováveis (Lisbôa *et al.*, 2020).

O conceito de desenvolvimento sustentável possui muitas definições. A mais conhecida diz que “desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades”. Ou seja, o desenvolvimento sustentável tem por objetivo atender às necessidades básicas de todos os humanos existentes agora e os que vierem depois (Brundtland, 1987; Barbieri, 2023).

O desenvolvimento sustentável baseia-se em três dimensões: Ambiental, Econômica e Social. A dimensão ambiental refere-se ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental, e corresponde aos objetivos de preservação e conservação do meio ambiente. A dimensão social está relacionada aos objetivos ligados ao atendimento das necessidades humanas, a melhoria da qualidade de vida e a justiça social. A dimensão econômica se ocupa da eficiência dos processos produtivos e com as alterações nas estruturas de consumo orientadas a uma produção econômica sustentável em longo prazo (Lisbôa *et. al*, 2020).

Diante do exposto, em âmbito global, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, criados na Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável em 2015, surgem como um apelo urgente à ação de todos os países que fornecem

uma estrutura global para alcançar o desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, equilibrar a sustentabilidade social, econômica e ambiental (Mio; Panfilo; Blundo, 2020).

2.3 CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL

Kuznets (1955), ao analisar como a desigualdade na distribuição de renda era afetada durante o período de crescimento econômico, encontrou uma alteração da relação entre o nível de renda e desigualdade. Os resultados do estudo apontaram que na fase inicial de crescimento econômico do país a distribuição de rendimentos se torna mais desigual e, em uma segunda fase, o processo se reverte promovendo maior igualdade distributiva entre os indivíduos. Esta relação pode ser representada por uma curva em forma de U-invertido.

A partir dos estudos de Kuznets (1955), Grossman e Krueger (1995) buscaram investigar a relação entre o crescimento econômico e a qualidade ambiental. Para tal utilizaram dados de poluentes do ar e da água em diversos países, coletados no âmbito do *General Agreement on Tariffs and Trade* (GATT), comparando com os níveis do Produto Interno Bruto (PIB). Os resultados não evidenciaram que o crescimento econômico, a longo prazo, causa danos inevitáveis para o meio ambiente. Para esses, em função do desenvolvimento, os países tendem a implementar tecnologias mais limpas, melhorando a qualidade ambiental automaticamente. A Figura 1 traz uma representação gráfica da Curva Ambiental de Kuznets (CAK).

A relação positiva entre o aumento da renda e o crescimento da poluição é intuitiva, à medida que as pessoas têm maior renda, tendem a consumir mais, poluindo mais, seja pelo uso intensivo de bens duráveis como eletrodomésticos e automóveis, que também consomem mais energia, ou pelo aumento da produção industrial para atender à demanda crescente, elevando também a emissão de resíduos e poluentes atmosféricos e hídricos (Arraes; Diniz; Diniz, 2006).

O tamanho da população impacta indiretamente as Emissões de CO₂, o crescimento populacional leva à urbanização, o que aumenta a demanda por transporte e contribui para maiores Emissões de CO₂ no setor. O rápido crescimento populacional, o desenvolvimento tecnológico e a expansão do comércio aumentam a demanda pelo consumo de energia elétrica, associado à poluição e degradação ambiental (Mattei, 2020; Zhao et al. 2022).

O setor agropecuário é um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa no Brasil, sobretudo pelas mudanças no uso da terra, como o desmatamento de florestas para a expansão de áreas agrícolas e de pastagem. Os impactos ambientais gerados pela agropecuária superam, em muitos casos, os de setores industriais, sendo diretamente

influenciados pelo nível de eficiência técnica e pelo grau de inovação tecnológica adotado no setor (De Almeida; Lobato, 2019). Em razão disso, práticas sustentáveis como a agricultura de precisão, o plantio direto e a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) tornam-se alternativas viáveis para um modelo produtivo com menor impacto ambiental (De Souza; Tabosa, 2019).

A redução da degradação ambiental em contextos de maior renda, na fase declinante da curva de Kuznets, é explicada por transformações na estrutura produtiva e pelo avanço tecnológico, que permitem manter níveis elevados de produção com menor impacto ambiental (Ávila; Diniz, 2015). Schumpeter (1934) considera a inovação como fator central no processo de desenvolvimento econômico, introduzindo o conceito de destruição criativa, no qual novos produtos, processos produtivos e formas de organização substituem os anteriores considerados obsoletos. Esse mecanismo dinâmico gera, ao mesmo tempo, ganhos de produtividade e transformações estruturais na economia, pois além de impulsionar os ciclos de crescimento, amplia a capacidade para o processo inovador, ou seja, aumenta a relação entre a inovação e o desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, a tecnologia não apenas impulsiona o crescimento, como também modifica a forma como os recursos são utilizados e como os impactos ambientais são gerados. O aumento da tecnologia, impulsionada pelos gastos públicos em P&D, eleva a produtividade econômica ao permitir a produção de mais bens e serviços com o uso eficiente dos recursos naturais. Os gastos públicos em P&D tornam-se uma via fundamental para o surgimento de energias renováveis, processos industriais mais limpos e novos materiais com menor pegada ambiental (Lastres; Cassiolato, 2012).

Economias que exportam mais bens *high-tech* (alta tecnologia) tendem a ter padrões produtivos menos poluentes do que aquelas centradas na exportação de *commodities* básicas. Além disso, a competitividade internacional nesses setores exige a adoção de padrões ambientais mais rigorosos, o que contribui para a redução das emissões (Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento OCDE, 2019).

No contexto dos estados brasileiros, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) surge como uma alternativa mais abrangente para mensurar o desenvolvimento, uma vez que incorpora dimensões sociais e de qualidade de vida. Essa abordagem torna-se particularmente relevante, pois as disparidades regionais em termos de renda, acesso a serviços públicos e estrutura produtiva implicam padrões distintos de emissões e de uso dos recursos naturais. Dessa forma, ao empregar o IDH como indicador de desenvolvimento, busca-se compreender se estados com melhores condições de vida e maiores níveis de educação e saúde também

apresentam trajetórias mais sustentáveis em termos ambientais, testando, portanto, a validade da Curva de Kuznets Ambiental sob uma perspectiva multidimensional de desenvolvimento (Arraes; Diniz; Diniz, 2006).

3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, com modelo econométrico com dados em painel a fim de analisar, a partir da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, de que maneira o crescimento econômico se relaciona com as Emissões de CO₂ nos estados brasileiros, para o período de 2000 a 2023.

Dados em painel combinam o modelo de séries temporais com observações de corte transversal, permitindo a análise das variáveis ao longo do tempo. Esse modelo é mais adequado para identificar a dinâmica da mudança e oferece dados mais informativos, maior variabilidade e menor colinearidade entre variáveis (Gujarati; Porter, 2011). A equação de regressão estimada é apresentada na Equação 1.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_n X_{nit} + u_{it} \quad (1)$$

Onde Y é a variável dependente; β_0 é a constante; β_1 é o coeficiente de regressão; X_{it} são as variáveis independente; u_i é o termo de erro; i são as unidades de corte transversal, nesse caso os estados brasileiros; e t é o período analisado.

Para identificar qual modelo de dados em painel é mais adequado para o modelo de regressão, o trabalho analisou os Testes de Chow, Breusch-Pagan e Hausman. Estes testes consideram as características dos dados, para a seleção dentre os modelos de Pooled, Efeitos Fixos e Efeitos Aleatório. O modelo Pooled combina todos os dados em um único conjunto, desconsiderando as dimensões de espaço e tempo. O modelo de efeitos fixos (MEF) considera que há características observáveis constantes para cada unidade na amostra, enquanto o modelo de efeitos aleatórios (MEA) assume que essas características são aleatórias e não correlacionadas com as variáveis explicativas (Gujarati; Porter, 2011).

O Teste de Chow compara a eficácia do modelo de painel de efeitos fixos com o modelo Pooled. A hipótese nula testa se os interceptos diferenciais são iguais a zero. Se a hipótese nula for aceita, o modelo Pooled é o mais eficaz, caso contrário aceita-se o modelo de efeitos fixos deve ser escolhido. O Teste de Breusch-Pagan auxilia na escolha entre o modelo Pooled e o modelo de efeitos aleatórios. A hipótese nula testa a ausência de heterocedasticidade dos erros do modelo. Se aceita a hipótese nula, o modelo Pooled é o indicado, do contrário o modelo de efeitos aleatórios deve ser escolhido. Já o Teste de Hausman compara os modelos de efeitos

fixos e aleatórios. A hipótese nula testa a presença de autocorrelação. Se a hipótese nula for rejeitada, a conclusão é que o MCE (aleatório) não é adequado, porque os efeitos aleatórios provavelmente estão correlacionados com um ou mais regressores. Nesse caso, o modelo de efeitos fixos é preferível aos de efeitos aleatórios/componentes dos erros (Gujarati; Porter, 2011).

A análise foi realizada por meio do software estatístico *Gretl*. O estudo utilizou dados dos 27 estados brasileiros durante 24 anos, totalizando uma amostra de 648 observações. As variáveis incluídas no modelo estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição das Variáveis

Variável	Descrição das Variáveis	Fontes	Autores	Unidades de medida
Dependente				
Emissões de CO ₂ per capita	Emissões per capita de CO ₂ dos Estados brasileiros	SEEG	Basso e Stam (2023); De Almeida e Lobato (2019)	MtCO ₂ e
Independentes				
PIB per capita	Produto Interno Bruto per capita, corrigido para valores de 2025	IPEA DATA	De Almeida e Lobato (2019); De Souza e Taboza (2020)	Reais
PIB per capita ²	Produto Interno Bruto per capita, elevado ao quadrado	IPEADATA	De Almeida e Lobato (2019); De Souza e Taboza (2020)	Reais
Consumo de energia elétrica per capita	Consumo total de energia elétrica/população	IBGE	Basso e Stamm (2023); Pervaiz <i>et al.</i> (2021)	Reais
Participação do agronegócio no PIB	Valor adicionado do agronegócio no PIB total	IBGE	Lisbôa <i>et al.</i> (2021)	Porcentagem
Participação da indústria no PIB	Valor adicionado da indústria no PIB total	IPEA DATA	Mattei (2020)	Porcentagem
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano	IPEA DATA	Pervaiz <i>et al.</i> (2021)	Pontos
Gastos com P&D per capita	Dispêndios dos governos estaduais em pesquisa e desenvolvimento (P&D) por execução, segundo regiões e unidades da federação, dividido pela população estimada de cada estado	MCTI	Lastres e Cassiolato (2012)	Porcentagem
Exportações <i>High-Tech</i>	Participação das exportações de produtos de média-alta e alta tecnologia na exportação total dos estados	COMEXSTAT	OCDE (2019)	Porcentagem

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A relação apresentada na Curva de Kuznets Ambiental propõe que o crescimento da renda *per capita* tende a gerar aumentos ou reduções nas Emissões de CO₂ de acordo com o

estágio de desenvolvimento em que se encontra o estado. Esse movimento mostra o comportamento de uma curva no formato de *U* invertido, ou seja, a concavidade está voltada para baixo ($\beta_2 < 0$), e o vértice da parábola representa o ponto de inflexão (mudança na orientação da curva). A partir da hipótese que o PIB *per capita* é um bom indicador de desenvolvimento econômico, torna-se necessário a presença desse termo ao quadrado (Rosa, 2022; Almeida *et al.*, 2017).

Em relação a variáveis como PIB per capita, consumo de energias não renováveis, participação do agronegócio, participação da indústria no PIB, espera-se que exerçam influência positiva nos níveis de emissões, dado que dependendo dos níveis tecnológicos essas atividades tendem a emitir elevados níveis de CO₂. Enquanto variáveis como IDH, gastos com P&D e exportações *high-tech* tendem a apresentar uma relação negativa, entende-se que quanto maior forem investimentos nessa área, mais desenvolvido é o Estado e como consequência poluem menos.

Embora o PIB seja amplamente utilizado como indicador de atividade econômica, ele não distingue a forma, a intensidade energética ou a composição tecnológica da produção. Portanto, o uso de indicadores de desenvolvimento enquadra-se em uma visão abrangente, medindo de forma integrada, o progresso do desenvolvimento, tornando necessário introduzir no modelo da curva ambiental de Kuznets outras variáveis explanatórias, além do PIB per capita (Biagi, 2012).

Diante do exposto, o modelo incorpora variáveis de controle que permitem qualificar o crescimento econômico e decompor seus efeitos sobre as emissões de CO₂. Para isso incluídas *proxies* relacionadas à composição setorial da economia (participação da indústria no PIB, valor adicionado do agronegócio), ao nível tecnológico e de eficiência energética dos estados (gastos em P&D, exportações *high-tech*, consumo de energia), bem como a qualidade de vida, educação e renda, dimensões que afetam tanto o padrão de consumo quanto a capacidade de adoção de práticas sustentáveis (IDH). Essas variáveis complementam o PIB ao captar “como” e “com quais efeitos ambientais” ocorre o desenvolvimento, possibilitando identificar dimensões mais ou menos emissoras da atividade econômica nos estados brasileiros.

As variáveis com valor monetário corrente foram deflacionadas para o ano de 2020, a fim de absorver a influência do tempo na moeda. Para atestar a robustez da análise foram testados cinco modelos, o primeiro considerando um modelo de mínimos múltiplos ordinários (MQO), o segundo modelo de efeito fixo com variáveis que expressam a composição setorial, o terceiro modelo fixo contendo variáveis que expressam o nível tecnológico e de eficiência energética de cada estado, o quarto modelo fixo contendo variáveis que expressam a qualidade

de vida, educação e renda e por fim um modelo de efeito fixo contendo todas as variáveis levantadas.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo de regressão estimado no software *Gretl*, considerou uma amostra de 648 observações, porém em razão da falta de dados nas bases secundárias, o modelo é considerado um painel desbalanceado.

No Teste de Chow com valor auferido inferior a 0,05, rejeita-se a hipótese nula, indicando que o modelo de efeitos fixos é mais eficaz. O Teste de Breusch-Pagan auxilia na escolha entre o modelo Pooled e o modelo de efeitos aleatórios, com valor superior a 0,05, não rejeita a hipótese nula, indicando que o Pooled seria o modelo escolhido entre esses. Já o Teste de Hausman compara os modelos de efeitos fixos e aleatórios, o teste também rejeitou a hipótese nula, indicando que o modelo a ser escolhido é o de efeitos fixos.

Os modelos econométricos estimados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelo econométrico

Variáveis Independentes	Variável dependente: Emissões de CO ₂ per capita				
	Modelo (MQO)	Painel A	Painel B	Painel C	Painel D
Constante	13,2279 (-35,0813)	-2,15242 (-5,2762)	24,0614*** (-6,1543)	228,062 *** (-56,4078)	207,06*** (-51,5028)
Independentes					
PIB per capita	0,0018*** (-0,0004)	0,0021 *** (-0,0003)	0,0030 *** (-0,0005)	0,0041 *** (-0,0004)	0,0034 *** (-0,00057)
PIB per capita²	-0,0000*** (0,0000)	-0,0000 ¹ *** 0	-0,0000 ¹ *** 0	-0,0000 ¹ *** 0	-0,0000 ¹ *** 0
Controles					
Participação do agronegócio no PIB	166894*** -42012	118319*** -24827,5	117375 *** -24473,3		168490*** -44929
Participação da indústria no PIB	-25180,5 -14509,6	-48131,1** -21087,6	-48146,1* -24994,2		12722,3 -19927,5
Exportações High-Tech	96,3534 -21,5704 18,8637 ***		79,5805 *** -11,5502 -26,3629 ***	66,4441*** -15,3182 -20,8983 ***	87,0121 *** -15,5494 -18,7690 ***

Consumo de energia per capita

	-2,1624		-3,46267	-2,0456	-2,104
Gastos com P&D	-0,0055**		-0,0122***	-0,00547**	-0,0029
	-0,0022		-0,0035	-0,0021	-0,0021
d_Gastos com P&D	0,0099***		0,0143***	0,0092***	0,00868 ***
	-0,001		-0,0022	-0,0012	-0,0011
IDH	13,3344			-333,220***	-310,884***
	-52,7927			-92,7648	-83,0097
Dentro de R²	0,1511	0,0123	0,0766	0,1689	0,1697
Ro	0,08552	0,0385	0,0177	0,0317	0,0431
Estatística F	0,0000 ¹	0,1702	0,0000 ¹	0,0000 ¹	0,0000 ¹
Observações	298	596	570	310	298

*** Significância ao nível de 1%; ** Significância ao nível de 5%; * Significância ao nível de 10%. Os valores informados em parênteses correspondem ao erro padrão da variável
Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa (2025).

A variável valor agregado do agronegócio apresentou sinal positivo e demonstrou 99% de confiança em todos os modelos testados, enquanto a variável participação da indústria apresentou sinal negativo nos dois primeiros modelos, invertendo a influência quando consideradas variáveis que expressam condições sociais e institucionais dos estados, porém não se mostrou significativa estatisticamente no modelo final.

A variável PIB per capita demonstrou significância a 95% de confiança em todos os modelos testados, bem como uma relação positiva. Enquanto o PIB ao quadrado apresentou sinal negativo e se mostrou estatisticamente significativo a 95% de confiança em todos os modelos testados. A variável que expressa a participação das exportações *high-tech* no total exportado por estado demonstrou 95% de confiança em todos os modelos testados, mantendo a influência positiva nas Emissões de CO₂ per capita.

A variável consumo de energia per capita demonstrou 95% de confiança em todos os modelos que foi incluída, exercendo um sinal negativo na variável explicada. Em relação aos gastos com P&D demonstraram confiança de 95% no painel B e C perdendo a significância no modelo final. No entanto, manteve a influência negativa nas emissões, indicando que estados que mais investem em P&D tendem a emitir menos CO₂. Para captar os efeitos dos valores passados introduziu-se uma defasagem no indicador de gastos com P&D, este embora positivo, manteve a significância estatística em todos os modelos.

A variável IDH demonstrou confiança de 95. Esse comportamento dos sinais e significância estatística entre os diferentes modelos de painel atestam a robustez do modelo final, painel D.

De acordo com os resultados do painel D exposto na Tabela 2, um aumento de uma unidade no valor do PIB per capita, tem-se um de 0,0034 em unidade de medidas de Emissões de CO₂ per capita nos estados brasileiros, mantendo as demais constantes. O PIB per capita ao quadrado negativo indica que, após determinado nível de produção o crescimento, tende a se desvincular das emissões, ou seja, o gráfico possui tendência marginal decrescente, formando um "U" invertido, confirmando a hipótese da Curva Kuznets Ambiental.

Um aumento de 1% na participação das exportações em *high-tech* gera um aumento de 87,01 nas Emissões de CO₂, para os estados brasileiros, mantendo as demais constantes. A influência positiva das exportações *high-tech* sobre as emissões, contrária ao esperado, pode refletir o fato de que estados com maior participação em setores tecnológicos também apresentam economias mais complexas e com maior consumo energético (.

Um aumento de R\$1,00 no consumo de energia per capita per capita, acarreta em uma redução de -18,76 nas Emissões de CO₂ nos estados brasileiros, mantendo as demais constantes. O efeito negativo do consumo de energia per capita sobre as emissões indica avanços na eficiência e no uso de fontes menos poluentes, reforçando a importância de continuar diversificando a matriz energética e ampliando a participação de fontes renováveis, especialmente solar e eólica no consumo final de energia, reafirmando o exposto por Koengkan e Fuinhas (2018) que evidenciam que o consumo de energias renováveis desempenha um papel importante na redução das Emissões de CO₂.

Um aumento de uma unidade na participação do agronegócio no PIB total dos estados, acarreta um aumento de 168.490 na unidade de medida de emissão de CO₂ nos estados brasileiros, mantendo tudo o mais constante. A significância da variável de valor agregado do agronegócio, com efeito positivo sobre as emissões, indica que a expansão desse setor está associada ao aumento das Emissões de CO₂. Esse resultado reforça a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) em sua fase ascendente, na qual o crescimento econômico e produtivo ocorre à custa de maior pressão ambiental.

O setor agropecuário, sobretudo pelas mudanças no uso da terra, é um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa. Os impactos ambientais gerados pela agropecuária superam, em muitos casos, os de setores industriais, sendo diretamente influenciados pelo nível de eficiência técnica e pelo grau de inovação tecnológica adotado no setor (De Almeida; Lobato, 2019). Contudo, observa-se um movimento crescente em direção a

práticas mais sustentáveis, com iniciativas como a Agricultura de Baixo Carbono (ABC), a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e o uso de biotecnologias para manejo eficiente dos recursos naturais. Essas ações buscam mitigar os impactos ambientais e atender às exigências de mercados internacionais, como a União Europeia, que impõem padrões mais rigorosos de sustentabilidade (Brasil, 2020; Embrapa, 2021; União Europeia, 2023).

Para os gastos em P&D, com uma defasagem, sugere que um aumento de R\$ 1,00 nos gastos em P&D no período anterior, gera um aumento de 0,0086 nos níveis de emissão de CO₂ atuais, nos estados brasileiros, *coeteris paribus*, indicando que estados que mais investem em pesquisa e desenvolvimento tender a emitir mais CO₂. Contraria o afirmado pela teoria, dado que o aumento da tecnologia, impulsionada pelos gastos públicos em P&D, elevaria a produtividade econômica e permitiria o uso mais eficiente dos recursos disponíveis (Lastres; Cassiolato, 2012). No entanto, isso pode refletir que parcela significativa dos investimentos em P&D ainda não está direcionada a pesquisas voltadas à sustentabilidade ambiental e à transição verde. De acordo com a Empresa Brasileira De Pesquisa E Inovação Industrial (2025), com dados de 2024, o Brasil ainda apresenta um baixo investimento em P&D em comparação com outras economias, enquanto o país investe cerca de 1,2% do PIB em pesquisa e desenvolvimento, a média dos países da OCDE é superior a 2,5%, o que limita o alcance dos resultados esperados em termos de inovação sustentável.

Um aumento no índice de desenvolvimento humano acarreta uma redução de 310,884 em unidades de medidas de Emissões de CO₂. O impacto negativo e significativo do IDH revela que o avanço social contribui para padrões produtivos mais sustentáveis e corrobora a importância da inclusão dessa variável no modelo. Entende-se que à medida que as condições básicas de vida da população são satisfeitas, há maior espaço para que indivíduos e governos se preocupem com questões ambientais e invistam em práticas sustentáveis (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2022; ONU, 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo, a partir da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, analisar de que maneira o crescimento econômico se relaciona com as Emissões de CO₂ nos estados brasileiros.

Para alcançar o objetivo proposto, estimou-se uma regressão de dados em painel por meio do software estatístico *Gretl*. O estudo utilizou dados dos 27 estados brasileiros de 2000 a 2023, totalizando uma amostra de 648 observações.

Como inovação, o modelo incluiu variáveis de controle para entender as dimensões sociais e institucionais bem como o grau tecnológico dos estados. Ao incluir *proxy* de tecnologia buscou-se captar o papel da capacidade tecnológica produtiva nos impactos ambientais do crescimento econômico, para isso foram utilizadas variáveis como os gastos com pesquisa e desenvolvimento (P&D) e participação das exportações de bens *high-tech*. Para as dimensões sociais foi incluído o IDH com o intuito de compreender como o avanço humano e as condições de vida são importantes para reduzir as emissões e promover padrões sustentáveis de produção e consumo.

O PIB per capita, *proxy* do crescimento econômico, impactou positivamente os níveis de emissões. O PIB per capita ao quadrado com sinal negativo indica que após determinado nível de produção o crescimento tende a se desvincular das emissões, ou seja, o gráfico possui tendência marginal decrescente, formando um "U" invertido, confirmando a hipótese da Curva Kuznets Ambiental. Isso acontece pois, à medida que a renda per capita e o desenvolvimento humano aumentam, a estrutura produtiva se torna mais complexa e tecnologicamente avançada, permitindo maior eficiência no uso de recursos e menor intensidade de carbono nas atividades econômicas. Além disso, sociedades mais desenvolvidas passam a demandar políticas ambientais mais rigorosas, investir em inovação verde e adotar padrões de consumo mais sustentáveis.

As variáveis participação do agronegócio no PIB, exportações *high-tech* e gastos com P&D com uma defasagem se mostraram significativa estatisticamente no modelo final exercendo uma influência positiva nos níveis de emissão de Co2 per capita. Esperava-se que os gastos em P&D e as exportações *high-tech* tivessem efeito negativo, refletindo ganhos tecnológicos e de eficiência energética. O sinal positivo dessas variáveis, apesar de magnitude baixa para P&D com uma defasagem, pode indicar que a estrutura produtiva brasileira ainda direciona inovação e tecnologia para ampliar a produção, e não necessariamente para reduzir emissões. Já as variáveis consumo de energia per capita e IDH também demonstraram significância estatística, com sinal negativo, indicando que quanto maior o consumo de energia elétrica per capita e o IDH de cada estado menos emissões o estado emite.

Para os gestores públicos, esses resultados indicam que o desafio central está em equilibrar crescimento econômico e preservação ambiental, o que requer a formulação de políticas integradas que estimulem práticas produtivas sustentáveis e o investimento em pesquisa e desenvolvimento limpo. A ampliação de programas como o Plano ABC+ e o incentivo a sistemas produtivos de baixo carbono, além de políticas de crédito verde e de estímulo à economia circular, são medidas essenciais para reduzir a intensidade de carbono das

cadeias produtivas. Do ponto de vista energético, recomenda-se o fortalecimento de instrumentos que incentivem a diversificação da matriz energética, com maior participação de fontes renováveis como solar, eólica e biomassa, o que contribuiria para mitigar os impactos do consumo de energia sobre o meio ambiente. Assim, o estudo oferece subsídios para que gestores públicos e formuladores de políticas priorizem ações voltadas à transição ecológica e ao desenvolvimento sustentável de longo prazo.

O trabalho se torna relevante por ampliar a literatura existente sobre as Emissões de CO₂ relacionadas ao desenvolvimento econômico, identificar essas relações pode auxiliar os formuladores de políticas na busca pelo equilíbrio entre esses elementos. O estudo concentra-se no contexto dos estados brasileiros, permitindo uma melhor compreensão das condições ambientais associadas ao crescimento econômico no país, com o intuito de alcançar um crescimento econômico sustentável.

Quanto às limitações, destaca-se que o estudo se baseia em dados agregados por estado, podendo não capturar diferenças setoriais significativas. Além disso, a disponibilidade de dados para todas as variáveis durante o período analisado restringiu a inclusão de alguns indicadores relevantes, bem como o uso de um painel homogêneo.

Para pesquisas futuras, sugere-se o aprofundamento da análise por setores produtivos, incorporando variáveis relacionadas à governança ambiental e às políticas climáticas locais, tal como, explorar essa análise para outros recortes geográficos, talvez comparar o desempenho do país com países em diferentes graus de desenvolvimento com o intuito de comprovar as hipóteses desenvolvidas por Kuznets.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Wallace da Silva; SILVA, Janaína Cabral da; VIEIRA, Ednando Batista; SAIANI, Carlos César Santejo. Crescimento econômico e degradação ambiental: uma análise empírica com dados em painel a partir da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets. **Revista Espacios**, Caracas, v. 38, n. 39, p. 15, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.48082/espacios>. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n39/a17v38n39p15.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2025.

ÁVILA, Ednilson Sebastião de; DINIZ, Eliezer Martins. Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 97-126, jan.-mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-4161201545197ese>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ee/a/DZHHsVMd4ymsTGxVng8KHZd/?lang=pt> Acesso em: 15 mar. 2025.

ARRAES, Ronaldo A.; DINIZ, Marcelo B.; DINIZ, Márcia JT. Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília**, v. 44, p. 525-547, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032006000300008>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/VTQFr3CYHxrDGYbbRQd3sFR/?format=html&lang=pt>.

Acesso em: 15 mar. 2025.

BASSO, Cassiane; STAMM, Cristiano. Emissão de co₂, consumo de energia renovável e crescimento econômico: uma análise para o brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD**, Curitiba, v. 44, n. 145, 2024. Disponível em:

<https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/1240>. Acesso em: 13 mar. 2025.

BARBIERI, José Carlos. **Inovação e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Blucher, 2023. *E-book*. p.34. ISBN 9786555065848. Disponível

em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555065848/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

BIAGE, Milton. Relação entre crescimento econômico e impactos ambientais-uma análise da curva ambiental de Kuznets. **Revista Economia Ensaios**, Uberlândia (MG), v. 27, n. 1, p. 7-42, 2012. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/revistaeconomiaensaios/article/view/19754>. Acesso em: 26 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC*. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRUNDTLAND, Gro Harlem; Comum, **Nosso Futuro. Relatório Brundtland**. Oxford: United Nations., 540-542, 1987.

BURANELLO, Mariana Colombini; FERREIRA, Lorrayne Jasmim; TOZATI, Camila Letro; RAMOS, Salvador Boccaletti; BORGES, Marilurdes Cruz; BRUNHEROTTI, Marisa Andrade Afonso. Distorção idade-série no ensino fundamental no Brasil: série histórica 2018-2021. **Arquivos do Mudi**, Franca, v. 29, n. 2, p. e76008, 27 maio 2025.DOI:

10.4025/arqmudi.v29i2.76008. Disponível em:

<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/76008>. Acesso em: 26 mar. 2025.

CERETTA, Paulo Sergio, SARI, Jorge Fernando; CERETTA, Franciane Cougo da Cruz. Relação entre emissões de CO₂, crescimento econômico e energia renovável.

Desenvolvimento em Questão, v. 18, n. 50, p. 268-286, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.21527/2237-6453.2020.50.268-286>. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/journal/752/75262392019/html/>. Acesso em: 3 maio 2025.

CHAVES, Ma Priscila Miranda; MÁXIMO, Ricardo De Oliveira; JESUKA, Duterval; LOPES, José Eduardo Ferreira; CARVALHO, Luciana. Aplicabilidade da curva ambiental de kuznets na gestão de resíduos sólidos domiciliares: análise dos municípios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 20, p. 45-62, 2023. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/380461580_APLICABILIDADE_DA_CURVA_AMBIENTAL_DE_KUZNETS_NA_GESTAO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_DOMICILIARES_ANALISE_DOS_MUNICIPIOS_DA_REGIAO_SUDESTE_DO_BRASIL. Acesso em: 26 ago. 2025.

CONFERÊNCIA DE TORONTO SOBRE A MUDANÇA DA ATMOSFERA, 1988, Toronto. **Anais da Conferência** – A mudança da atmosfera: implicações para a segurança global. Genebra: Organização Meteorológica Mundial; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 1989. (WMO-No. 710). Disponível em: <https://library.wmo.int/records/item/35582-conference-proceedings-the-changing-atmosphere-implications-for-global-security?offset=7>. Acesso em: 31 ago. 2025.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Relatório da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, 3–14 de junho de 1992. Nova Iorque: Nações Unidas, 1993. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/168679?ln=en>. Acesso em: 31 ago. 2025.

CONTE FILHO, Carlos Gilbert; BARBOSA, Marcel Jaroski. Crescimento econômico através das exportações: um estudo empírico para os países dos BRICS. **Nova Economia**, v. 35, n. 2, p. e8697, 2025. DOI: 10.1590/0103-6351/8697. Disponível em: <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/novaeconomia/article/view/8697>. Acesso em: 26 ago. 2025.

DE ALMEIDA, Matheus Gama; LOBATO, Tarcísio C. A curva de Kuznets ambiental para a região norte do Brasil entre os anos de 2002 a 2015. **Economia & Região**, v. 7, n. 1, p. 7-24, 2019. DOI: 10.5433/2317-627X.2019v7n1p7. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/ecoreg/article/view/32875>. Acesso em: 26 mar 2025.

DE SOUZA, Helson Gomes; TABOSA, Francisco José Silva. Análise das relações entre crescimento econômico e emissões de gases de efeito estufa na América Latina. **Economia Aplicada**, v. 23, n. 3, p. 157-176, 2019. DOI: 10.11606/1980-5330/ea146724. Disponível em: <https://revistas.usp.br/ecoa/article/view/146724>. Acesso em: 15 mar. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL (EMBRAPII). *Por que conectar sua empresa a centros de pesquisa pode acelerar seu crescimento?* Brasília, 30 jun. 2025. Disponível em: <https://embrapii.org.br/como-centros-de-pesquisa-aceleram-o-crescimento-industrial/>. Acesso em: 30 de out. 2025.

EMBRAPA. *Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): estratégia de produção sustentável*. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/ilpf>. Acesso em: 30 out. 2025.

EMISSIONS DATABASE FOR GLOBAL ATMOSPHERIC RESEARCH (EDGAR). Emissions Data and Maps. Luxemburgo: European Commission, Joint Research Centre, 2023. Disponível em: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/emissions_data_and_maps. Acesso em: 24 mar. 2025.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. E-book. pág.584. ISBN 9788580550511. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580550511/>. Acesso em: 13 de maio. 2025.

GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan. B. **Economic Growth and the Environment**. Oxford: The Quarterly Journal of Economics, v. 110, n. 2, p. 353–377, 1995. Disponível em: https://groups.nceas.ucsb.edu/sustainability-science/2010%20weekly-sessions/session-2-09.20.2010-sustainability-science-and-sustainable-development/supplemental-readings-from-umn-group/Grossman1995.pdf/at_download/file.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). *IPEAData: base de dados macroeconômicos e sociais do Brasil*. Brasília: IPEA, 2025. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 30 de out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA: pesquisas econômicas e demográficas. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 out. 2025.

KOENGGAN, Matheus C.; FUINHAS, José A. O impacto do consumo de energia renovável sobre as emissões de dióxido de carbono: o caso dos países da América do Sul. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 7, n. 2, p. 280-293, 2018. DOI: 10.5380/rber.v6i5.49252. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/hamom,+58266-227819-1-CE%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/hamom,+58266-227819-1-CE%20(1).pdf). Acesso: 20 de out. 2025.

KUZNETS, Simon. **American Economic Association**. Pittsburgh: The American Economic Review, v. 45, n. 1, p. 1-28, 1955. Disponível em: <https://assets.aeaweb.org/asset-server/files/9438.pdf>.

LASTRES, Helena M. M.; CASSIOLATO, José E.; ARROIO, Ana. Sistema de inovação no Brasil: políticas, estratégias e desempenho. Rio de Janeiro: **Editora UFRJ**, 2012. p. 325-354. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316949621_Helena_M_M_Lastres_Jose_E_Cassiolato_e_Ana_Arroio_orgs_-_Conhecimento_Sistemas_de_Inovacao_e_Desenvolvimento. Acesso em: 29 de mar. 2025

LISBOA, Educélio Gaspar; LISBOA, Érico Gaspar.; LOBO, Marco Aurélio Arbage ; BELLO, Leonardo Augusto Lobato. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise Quantitativa utilizando o modelo de Regressão Linear Múltipla / Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise Quantitativa Usando o Modelo de Regressão Linear Múltipla. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.], v. 3, pág. 15179–15195, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n3-407. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8071>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LISBÔA, Educélio Gaspar; ALVES, Igor Charles Castor ; FERREIRA, Jader Duarte; BELLO, Leonardo Augusto Lobato; LISBÔA, Érico Gaspar; SIQUEIRA, Ionara Santos; RODRIGUES, Cinthia de Oliveira; PENA, Heriberto Wagner Amanajás. A influência das exportações de produtos agrícolas, e os impactos gerados na degradação do solo e do meio ambiente, durante o período entre 2004 à 2019/ The influence of agricultural exports, and the impacts generated on soil and environmental degradation, during the period from 2004 to 2019. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 38286–38302, 2021. DOI:

10.34117/bjdv7n4-338. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/28165>. Acesso em: 26 mar. 2025.

MATTEI, Taise Fátima. **Consumo de energia elétrica no Paraná em uma abordagem espacial: determinantes, convergência e hipótese da curva de Kuznets aplicada**. 2020.

Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.

Disponível

em:http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/7087/1/Taise%20Fatima%20Mattei_2020.pdf. Acesso em: 20 de mar.2025.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Dispendios em pesquisa e desenvolvimento (P&D) por unidade da federação. Brasília: MCTI, 2025.

Disponível em: <https://www.gov.br/mcti>. Acesso em: 27 de set. 2025.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS (MDIC). Comex Stat: sistema de estatísticas de comércio exterior. Brasília: MDIC, 2025.

Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br>. Acesso em: 27 de set. 2025.

MIO, Chiara; PANFILO, Sílvia; BLUNDO, Benedetta Sustainable development goals and the strategic role of business: A systematic literature review. **Business Strategy and the Environment**, [S. l.] v. 29, n. 8, p. 3220-3245, 2020. DOI: 10.1002/bse.2568. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/342718564_Sustainable_development_goals_and_the_strategic_role_of_business_A_systematic_literature_review. Acesso em: 20 de mar. 2025.

NEPSTAD, Daniel; MCGRATH, David; STICKLER, Claudia; ALENCAR, Ane; AZEVEDO, Andrea; SWETTE, Briana; BEZERRA, Tathiana; DIGIANO, Maria; SHIMADA, João; HESS, Laura; MOTTA, Ronaldo Seroa da; ARMIJO, Eric; CASTELLO, Leandro; BRANDO, Paulo; HANSEN, Matt C.; MCGRATH -HORN, Max; CARVALHO, Oswaldo. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 2014. DOI: 10.1126/science.1248525. Acesso em 30 de out. de 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO (OCDE). Measuring innovation in the 21st century. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2019. Disponível em:

https://fapesp.br/avaliacao/manuais/oecd_measuring.pdf. Acesso em: 29 maio 2025.

PERVAIZ, Ruqiya; FAISAL, Faisal; RAHMAN, Sami Ur; CHANDER, Rajnesh e ALI, Adnan et al. Do health expenditure and human development index matter in environmental degradation: evidence from selected Asian economies. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 38322–38335, 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13627-8.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-021-01052-4>. Acesso em: 19 out. 2025.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD).

Relatório de Desenvolvimento Humano 2022: tempos incertos, vidas instáveis — moldando o nosso futuro num mundo em transformação. Nova York: PNUD, 2022. Disponível em:

<https://hdr.undp.org>. Acesso em: 30 out. 2025.

PROTOCOLO DE KYOTO. à **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. 1997. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

RENZI, Adriano; JUNIOR, Amarildo de Paula; PARRÉ, José Luiz; PIACENTI, Carlos Alberto. Crescimento Econômico nos Municípios do Paraná-Brasil: Uma Análise com Econometria Espacial. **RPER**, [S. l.], n. 61, p. 151–167, 2022. DOI: 10.59072/rper.vi61.537. Disponível em: <https://review-rper.com/index.php/rper/article/view/537>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ROSA, Samanda Silva da. Evidência da Curva De Kuznets Ambiental no Brasil. **Revista Estudo & Debate**, Lajeado, v. 29, n. 3, 2022. DOI: 10.22410/issn.1983-036X.v29i3a2022.3147. Disponível em: <https://univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/3147>. Acesso em: 22 maio. 2025.

ROMERO, Joaquín Prieto; GRAMKOW, Camila. Economic complexity and greenhouse gas emissions. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 56, p. 239–254, 2021.

SCHUMPETER, Joseph A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. Tradução de Maria Sílvia Possas; introdução de Rubens Vaz da Costa. 2. ed. São Paulo: Nova Cultural, 1997. 169 p.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG. Plataforma SEEG. Rio de Janeiro: SEEG, 2023. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 27 mar. 2025.

SOUZA, Nali de Jesus de. **Desenvolvimento econômico**. 5. ed. rev. São Paulo: Atlas, 2005. p. 6–8.

UNIÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) 2023/1115 do Parlamento Europeu e do Conselho de 31 de maio de 2023 relativo à disponibilização no mercado da União e à exportação a partir da União de determinadas matérias-primas e produtos associados ao desmatamento e à degradação florestal**. Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, 2023.

VIEIRA, Marco Aurélio; CERETTA, Paulo Sergio; LOPES, Luis Felipe Dias; DE GREGORI Roberto; MARTIN, Amanda Caroline; SAMBORSKI, Tarcisio. **CO₂: análise contemporânea no impacto do crescimento econômico e energia sobre a emissão de dióxido de carbono**. 2023. Tese (Doutorado em Administração). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/27889/TES_ADMINISTRACAO_2023_VIEIRA_MARCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 15 de mar. 2025

ZHAO, Huiqing; HU, Jian; HAO, Feng ; ZHANG, Hongyuan. Determinants of carbon dioxide emissions and their peaking prospect: evidence from China. **Frontiers in Environmental Science**, [S. l.], p. 695, 2022. DOI: 10.3389/fenvs.2022.913835. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/361278108_Determinants_of_Carbon_Dioxide_Emissions_and_Their_Peaking_Prospect_Evidence_From_China