

## A Curva de Kuznets para resíduos sólidos: evidências para os municípios brasileiros entre 2005 e 2020

*Estimation of the environmental Kuznets curve for solid waste emissions in Brazilian municipalities between 2005 and 2020*

Moisés Dias Gomes de Azevedo<sup>a</sup> , Wesley Leitão de Sousa<sup>a</sup> , Jayane Freires Ferreira<sup>a</sup> , Jair Andrade de Araújo<sup>a</sup> 

<sup>a</sup> Universidade Federal do Ceará – Brasil

### Palavras-chave

Curva de Kuznets Ambiental.  
Resíduos Sólidos.  
Atividade Econômica.  
Dados em painel.

### Keywords

*Environmental Kuznets Curve.*  
*Solid Waste.*  
*Economic Activity.*  
*Panel data.*

### Informações do artigo

Recebido: 16 de setembro de 2025  
Aprovado: 20 de fevereiro de 2025  
Publicado: 30 de abril de 2026  
Editor responsável: Prof. Dr. Ricardo  
Rocha Azevedo

### Resumo

O presente trabalho teve como objetivo identificar a relação entre a atividade econômica e a geração de resíduos sólidos dos municípios brasileiros por meio da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. A metodologia utilizada foi a de um método de regressão por dados em painel por efeito fixo. Os resultados do trabalho mostraram que a trajetória da curva se deu diferente da hipótese de “U-invertido”, inesperadamente. Foi verificado também que a existência de coleta seletiva exerce um efeito positivo na massa coletada por habitante, contudo a cobrança exerce efeito negativo, devido a alocação orçamentária.

### Abstract

*In this study we evaluated the relationship between economic growth and solid waste (SW) generation in Brazilian municipalities and, following fixed-effects panel data regressions, estimated the environmental Kuznets curve (EKC) of the dataset. The resulting curve did not exhibit an inverted U-shaped relationship, as expected. We also concluded that selective waste collection had a positive effect on SW management, but the effect was negative when the service was charged.*

### Implicações práticas

O presente trabalho traz implicações para a tomada de decisão do gestor público, ao evidenciar como os resíduos sólidos estão relacionados à atividade econômica e como políticas de gestão, coleta e educação ambiental precisam estar articuladas. Além disso, reforça a importância da eficiência da gestão pública ligadas à preocupação com o meio ambiente.

Copyright © 2025 FEA-RP/USP. Todos os direitos reservados.

Autor correspondente: Tel. (85) 3366-7300

E-mail: [moisesdea@gmail.com](mailto:moisesdea@gmail.com); [weleleitao@gmail.com](mailto:weleleitao@gmail.com); [javfreires2014@gmail.com](mailto:javfreires2014@gmail.com); [jairandrade@ufc.br](mailto:jairandrade@ufc.br)

Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, 60.020-181, Brasil.

## 1 Introdução

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), intrinsecamente ligada às atividades humanas de produção e consumo, é intensificada por fatores como crescimento populacional e econômico, migração e mudanças nos padrões de consumo. Esse cenário transforma a gestão de RSU em um desafio complexo para a sociedade (Araiza Aguilar, Chávez Moreno & Moreno Pérez, 2017; Cheng et al., 2020; Bayer et al., 2022; Flores-Xolocotzi & Ceballos Pérez, 2022).

Na teoria econômica, os resíduos sólidos são considerados como externalidades negativas de consumo de bens e serviços, podendo ser nocivas tanto ao meio ambiente e à economia quanto à saúde das pessoas (Araiza Aguilar et al., 2017; Bayer et al., 2022). Concernente ao RSU, existe uma preocupação relativa ao aumento de seu gerenciamento e destino final, especialmente sobre sua disposição em aterros sanitários e possibilidade de reciclagem, pois nem todos os RSU chegam a um que obedeça às normas ambientais (Paes et al., 2020; Sánchez-Muñoz et al., 2019).

O descarte inadequado em locais não controlados, como lixões, contamina lençóis freáticos. A erosão e a ação do vento disseminam partículas dos RSU, acarretando doenças, maus odores, perda de biodiversidade e proliferação de fauna nociva (Araiza Aguilar et al., 2017; Paes et al., 2020; Sánchez-Muñoz et al., 2019).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída por meio da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, define resíduos sólidos como objetos descartados resultantes da atividade humana que procede ao estado sólido ou semissólido, assim como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem-se inviáveis o seu descarte na rede pública de esgoto ou em corpos d'água. Diante disso, essa lei prevê a redução dos resíduos sólidos por intermédio de hábitos e consumo sustentável que proporcionem o aumento da reciclagem, da reutilização e o destino ambientalmente adequado dos rejeitos.

Existe, na realidade, um debate na literatura sobre como o crescimento econômico afeta a qualidade ambiental, ganhando destaque a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Essa curva tem embasamento no trabalho seminal de Grossman e Krueger (1991), no qual sugeriram a relação entre degradação ambiental e crescimento econômico como sendo a forma de um “U-invertido”, ou seja, os autores explanam que os países mais ricos tendem a possuir padrões ambientais mais rígidos quando equiparados a países de média e baixa renda.

Nesse contexto, o presente trabalho possui o seguinte questionamento: qual a relação entre a atividade econômica e a geração de resíduos sólidos no Brasil? Para responder o questionamento, este artigo tem como objetivo identificar a relação entre a atividade econômica e a geração de resíduos sólidos por meio da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. Para isso, o estudo recorrerá aos dados advindos do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Metodologicamente, fazendo uso de um modelo de regressão de dados em painel no período entre 2005 e 2020.

Este trabalho contribui ao analisar a relação entre atividade econômica e resíduos sólidos em municípios brasileiros, a partir de um painel de série longa que considera por meio do efeito fixo, simultaneamente os contextos temporal e geográfico, além de incorporar variáveis institucionais relacionadas à coleta de resíduos, pouco exploradas em estudos anteriores.

Além dessa seção introdutória, o artigo apresenta, na seção 2, um arcabouço teórico com todas as pesquisas a respeito da Curva Ambiental de Kuznets aplicada à geração de resíduos sólidos. A seção 3 destaca a metodologia, apresentando a base de dados e o modelo de dados em painel. A seção 4 contempla os principais resultados obtidos na pesquisa e suas respectivas discussões e, por fim, as considerações finais do estudo.

## 2 A Curva de Kuznets ambiental aplicada à produção de resíduos sólidos e seus determinantes

A Curva de Kuznets Ambiental (CKA) é uma teoria econômica que ganhou amplo destaque desde o trabalho pioneiro de Grossman e Krueger (1991), que relaciona a qualidade do ar ao crescimento econômico por países. Apesar de aplicada ao contexto da emissão de gases poluidores, a CKA vem sendo testada para inúmeros indicadores de degradação/poluição ambiental, como no caso do desmatamento (Caravaggio, 2020), da poluição hídrica (Taguchi et al., 2023), da geração de resíduos sólidos (Bayer et al., 2022) e com múltiplos indicadores de impacto ambiental (Yan et al., 2023).

Durante a década de 1990, Grossman e Krueger (1995) ampliaram a CKA para a renda per capita e os indicadores de poluição atmosférica e hídrica a nível de países<sup>1</sup>. Os autores explicam que o formato encontrado para a curva de “U-invertido” denota que os países ou as regiões mais prósperas demandam maior atenção para os aspectos não econômicos em suas condições de vida<sup>2</sup>. Em geral, os países mais ricos tendem a apresentar ar urbano e bacias hidrográficas relativamente mais limpas, bem como leis e padrões ambientais mais rigorosos do que os países de renda média e os mais pobres, que têm problemas ambientais a serem resolvidos (Grossman & Krueger, 1995).

Embora alguns estudos utilizem o Produto Interno Bruto (PIB) total como indicador de atividade econômica, ou expressem a geração de resíduos sólidos em quantidades absolutas (quilogramas ou toneladas), a maioria dos trabalhos — assim como o presente estudo — trata ambos os indicadores em termos per capita, ou seja, por pessoa. Essa abordagem evita o efeito escala, evidenciando o esforço relativo de cada município na gestão dos resíduos e permitindo observar a proporcionalidade entre o nível de atividade econômica e a massa coletada de resíduos sólidos.

Aplicada aos resíduos sólidos, a confirmação empírica da CKA varia conforme a estrutura econômica e os padrões de consumo da população. Estudos observaram que a relação entre os resíduos sólidos e atividade econômica ou crescimento econômico no formato linear, de “U-normal”, de “U-invertido”, de “N-normal” e de “N-invertido” (Bayer et al., 2022; Cheng et al., 2020; Gui et al., 2019; Huang et al., 2021; Wang et al., 2021). Isso evidencia que as conclusões são variadas, pois a teoria da CKA é constatada em algumas pesquisas, porém é refutada em outros cenários, haja vista que os estudos avaliam diferentes áreas/escalas geográficas, recortes temporais e variáveis correlatas.

Entre as pesquisas que relacionam a atividade econômica ou o crescimento econômico à geração de resíduos sólidos, constata-se que os trabalhos empíricos utilizam modelos estatísticos, sendo que grande parte delas utiliza modelos econométricos para dados em painel (Bayer et al., 2022; Cheng et al., 2020; Gnonlonfin et al., 2017; Ichinose et al., 2014; Shah et al., 2023). Além disso, algumas pesquisas consideram os efeitos espaciais da geração de resíduos sólidos, como os vistos nos trabalhos de Kim et al. (2018) e Wang et al. (2021).

Para entender melhor a conexão entre atividade econômica e resíduos sólidos, diversas pesquisas têm como objetivo subjacente identificar os fatores determinantes para a geração desses resíduos. Esses fatores são classificados em temas como capital humano, demografia, economia, mercado de trabalho, localização geográfica e políticas públicas.

Em relação ao capital humano, pode-se verificar que as variáveis mais recorrentes para avaliar o grau de educação nos países ou regiões foram: o percentual de pessoas entre 25 e 64 anos com ensino médio completo (Arbulú et al., 2015), o componente do Índice de Desenvolvimento Humano - IDH - relacionado à educação (Gnonlonfin et al., 2017), o número de Instituições de Ensino Superior - IES (Gui et al., 2019) e o investimento em educação como percentual do Produto Interno Bruto (Cheng et al., 2020).

De acordo com as pesquisas supracitadas, um maior nível de capital humano ou de gastos com educação reduz a produção de resíduos sólidos pelos seguintes canais: para Gui et al. (2019), maior escolarização implica, em grande parte, em maior consciência ambiental, o que resulta em uma menor produção de resíduos sólidos; já Arbulú et al. (2015) sugerem um efeito tecnológico decorrente do comportamento ou compromisso “mais verde” da população.

Dentre os fatores demográficos, destaca-se que a população tem um papel significativo na geração de resíduos sólidos. Segundo Bayer et al. (2022), as cidades ou regiões com maior adensamento populacional apresentam maior geração de resíduos sólidos. Por sua vez, Cheng et al. (2020) mostram que o grau de urbanização, expresso como a razão entre a população urbana e a população total, também é um fator relevante para a quantidade de resíduos sólidos produzida.

Em menor grau, as pesquisas incorporam o elemento demográfico “idade da população”. Nesse sentido, há divergência quanto ao impacto do percentual da população acima dos 65 anos de idade na geração de resíduos sólidos, sendo possível encontrar relação direta (Ercolano et al., 2018) ou relação inversa (Ichinose et al., 2014) com a produção.

---

<sup>1</sup> Para maiores detalhes consultar Grossman e Krueger (1995).

<sup>2</sup> Isso pode ser visto após o ponto máximo da função, conhecido como “*turning point*” ou ponto de virada.

No contexto dos aspectos econômicos, a variável amplamente utilizada nos estudos é o PIBpc, apresentada na sua forma linear (PIBpc), quadrática (PIBpc<sup>2</sup>) ou cúbica (PIBpc<sup>3</sup>), o que dá o formato para a CKA aplicada aos resíduos sólidos. Portanto, considerando a variabilidade na relação entre a atividade econômica e a produção de resíduos sólidos, pode-se inferir que a teoria econômica da CKA consegue se estabelecer na literatura científica.

Para ilustrar, Jaligot e Chenal (2018), a partir de dados na Suíça entre os anos de 1996 e 2015, observaram relação linear positiva e de “U-invertido” entre a atividade econômica e a geração de resíduos sólidos. Por outro lado, Gui et al. (2019) concluíram CKA no formato de “U-normal” para 285 cidades chinesas no período de 2006 a 2015. Por fim, Wang et al. (2021) encontraram relação de “N-normal” e de “N-invertido” entre a atividade econômica e a geração de resíduos sólidos para 238 cidades chinesas no período de 2003 a 2016.

Em meio a outros aspectos econômicos, destaca-se a relação positiva entre a participação do setor industrial em termos do PIB e a geração de resíduos sólidos, como demonstrado por Cheng et al. (2020), Gui et al. (2019) e Wang et al. (2021). Em países de renda elevada, Gnonlonfin et al. (2017) verificaram relação negativa entre a participação do setor de serviços em relação ao PIB e a produção de resíduos sólidos, enquanto que as importações como percentual do PIB apresentaram relação direta com a produção de resíduos.

Avaliando aspectos do mercado de trabalho, nota-se que as variáveis mais abordadas nas pesquisas são: a taxa de desemprego, uma vez que maior o desemprego, menos o consumo e menor também a emissão de resíduos (Arbulú et al., 2015), os empregos na área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), reduzem as emissões de resíduos devido a implementação de tecnologias ambientais (Wang et al., 2021) e no setor de turismo (Bayer et al., 2022). Em relação ao desemprego, um maior percentual de pessoas desocupadas proporciona um melhor resultado ambiental visto na forma da redução do consumo da população (Arbulú et al., 2015).

A respeito da localização geográfica das cidades, Kim et al. (2018) verificaram se o fato de os municípios chineses estarem inseridos em regiões costeiras está relacionado a um aumento na produção de resíduos sólidos, concluindo que embora a localização costeira reduz a produção de resíduos sólidos, exceto aqueles originários de indústrias.

No que tange políticas públicas de coleta de resíduos, se destaca o trabalho de Bayer et al. (2022) que mostrou que o município brasileiro que realiza a coleta seletiva e cobra por esses serviços aumenta a sua massa a ser coletada, esse estudo encontra concordância quando aliado ao estudo de Campos-Alba et al. (2021) que mostrou que os municípios espanhóis possuem maior eficiência quando implementam a coleta seletiva.

Por fim, a Tabela 1 a seguir apresenta alguns dos estudos acerca da CKA aplicada a resíduos sólidos, tendo em vista autores, área de estudo, período de análise, metodologia e se houve confirmação da teoria da CKA em algum dos modelos estimados. Em particular, a tabela é útil para sintetizar as diferentes abordagens dos estudos sobre a CKA na área de resíduos sólidos, reforçando que a relação entre atividade econômica e produção de resíduos sólidos pode variar conforme o contexto socioeconômico e até mesmo cultural das unidades analisadas.

**Tabela 1**

*Síntese da relação entre a atividade econômica e a produção de resíduos sólidos*

Autores	Área de estudo	Período de análise	Metodologia	Dados (Resíduos Sólidos/PIB)	CKA
Arbulú <i>et al.</i> (2015)	32 países europeus	1997-2010	Dados em painel	Produção de Resíduos <i>per capita</i> /PIB <i>per capita</i>	Não
Bayer <i>et al.</i> (2022)	Municípios brasileiros	2011-2015	Dados em painel	Produção de Resíduos <i>per capita</i> /PIB <i>per capita</i>	Sim
Cheng <i>et al.</i> (2020)	258 cidades chinesas	2003-2016	Dados em painel e Diff-Diff	Produção de Resíduos/PIB <i>per capita</i>	Não
Ercolano <i>et al.</i> (2018)	1497 cidades italianas	2005-2011	Dados em painel e GMM	Produção de Resíduos <i>per capita</i> /Rendimento médio <i>per capita</i>	Sim

**Tabela 1***Síntese da relação entre a atividade econômica e a produção de resíduos sólidos*

Autores	Área de estudo	Período de análise	Metodologia	Dados (Resíduos Sólidos/PIB)	CKA
Gnonlonfin <i>et al.</i> (2017)	19 países do mediterrâneo	1990-2010	Dados em painel	Produção de Resíduos <i>per capita</i> /PIB <i>per capita</i>	Sim
Gui <i>et al.</i> (2019)	285 cidades chinesas	2006-2015	Modelos econométricos-e spaciais	Produção de Resíduos <i>per capita</i> /PIB <i>per capita</i>	Não
Jaligot e Chenal (2018)	55 cidades suíças	1996-2015	Dados em painel e GLS	Produção de Resíduos <i>per capita</i> /Riqueza <i>per capita</i>	Sim
Kim <i>et al.</i> (2018)	29 províncias chinesas	1994-2010	Modelos econométricos-e spaciais	Produção de Resíduos <i>per capita</i> /PIB <i>per capita</i>	Sim
Shah <i>et al.</i> (2023)	Países da OCDE	2000-2020	Dados em Painel	Produção de Resíduos/PIB <i>per capita</i>	Não

Fonte: elaborada pelos autores.

### 3 Métodos

#### 3.1 Base de dados

A base de dados da presente pesquisa abrange os municípios brasileiros que, por meio de seus representantes, responderam ao Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos e Urbanos, durante os anos de 2005 e 2020, realizado pelo Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS, 2023), órgão vinculado ao Ministério de Infraestrutura. Os dados referentes a economia, população e território foram retirados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Os dados referentes ao Produto Interno Bruto foram deflacionados por meio do Deflator Implícito do PIB oferecido pelo Instituto de Economia Aplicada (IPEA, 2023). A Tabela 2 mostra as variáveis, a descrição, a unidade de medida, bem como a fonte de cada uma das variáveis.

**Tabela 2***Variáveis a serem utilizadas no modelo*

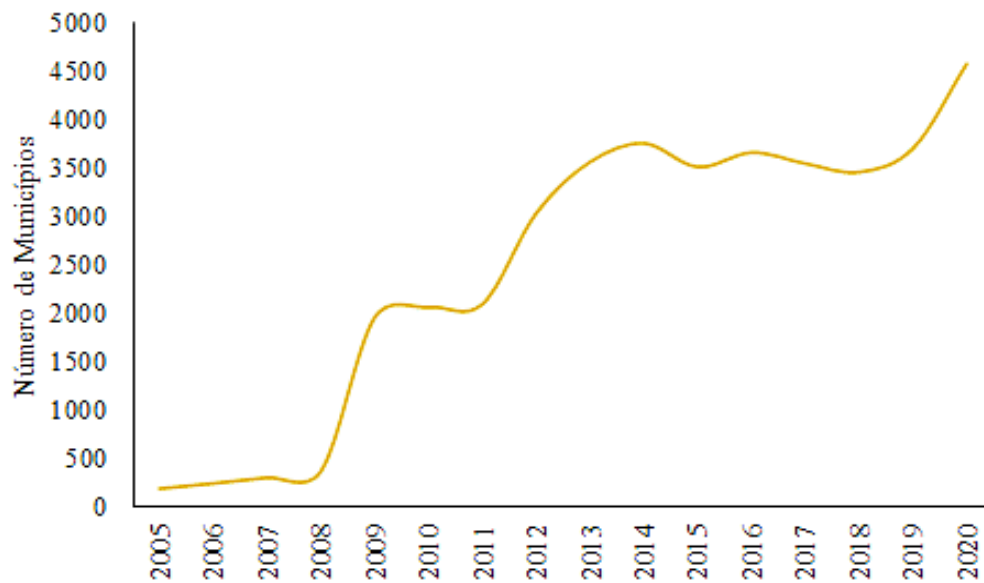
Variáveis	Definição	Unidade	Cobertura	Fonte
RS <sub>it</sub>	Massa coletada de Resíduos Sólidos <i>per capita</i>	Kg por pessoas	2005-2020	SNIS (2023)
PIBpc <sub>it</sub>	Produto Interno Bruto <i>per capita</i>	R\$ 1.000 por pessoas	2005-2020	IBGE (2023)
DP <sub>it</sub>	Densidade populacional	Pessoas por km <sup>2</sup>	2005-2020	IBGE (2023)
PR <sub>it</sub>	População rural	Pessoas	2005-2020	IBGE (2023)
IES <sub>it</sub>	Número de instituições de nível superior	Contagem	2005-2020	MEC (2023)
Trab <sub>it</sub>	Trabalhadores na coleta de resíduos em relação à população	Trabalhadores por pessoa	2005-2020	SNIS (2023)
CS <sub>it</sub>	Existência de coleta seletiva	Binária	2005-2020	SNIS (2023)
CobS <sub>it</sub>	Cobrança dos serviços de coleta	Binária	2005-2020	SNIS (2023)
Lit <sub>it</sub>	Dummy do litoral	Binária	2005-2020	IBGE (2023)

**Tabela 2***Variáveis a serem utilizadas no modelo*

Variáveis	Definição	Unidade	Cobertura	Fonte
$N_{it}$	Dummy do Norte	Binária	2005-2020	IBGE (2023)
$NE_{it}$	Dummy do Nordeste	Binária	2005-2020	IBGE (2023)
$SE_{it}$	Dummy do Sudeste	Binária	2005-2020	IBGE (2023)
$S_{it}$	Dummy do Sul	Binária	2005-2020	IBGE (2023)
$CO_{it}$	Dummy do Centro-Oeste	Binária	2005-2020	IBGE (2023)

Fonte: elaborada pelos autores.

Contudo, nem todos os municípios responderam ao questionário, observando um aumento na quantidade de municípios respondentes após o advento da lei 11.445, promulgada em 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, bem como após a lei 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Além disso, foi aprovado o decreto 7.217 de 2007, que torna imprescindível a existência de um diagnóstico sobre a situação dos resíduos sólidos em cada município (BRASIL, 2007; 2010). Desta forma, dispõe-se, na Figura 1, a evolução do quantitativo de municípios que responderam ao Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos e Urbanos entre os anos de 2005 e 2020.

**Figura 1***Quantidade de municípios que responderam ao diagnóstico de resíduos sólidos, por ano*

Fonte: elaborada pelos autores.

Desta forma, devido à discrepância em relação aos municípios que responderam ao questionário em cada ano, o presente trabalho abordará um painel desbalanceado, cujo método de análise será abordado na próxima sessão.

### 3.2 Modelo de regressão com dados em painel

O presente trabalho será feito por meio de um painel de efeito fixo desbalanceado que, segundo Baltagi e Song (2006), é utilizado quando a heterogeneidade individual for observada, e quando uma unidade de corte transversal não for vista em todos os períodos do tempo, sendo dado pela Equação 1.

$$LnRS_{it} = \beta_1(LnPIBpc_{it})^3 + \beta_2(LnPIBpc_{it})^2 + \beta_3LnPIBpc_{it} + \sum_{j=4}^{13} \beta_j X_{it} + C_i + \varepsilon_{it} \#(1)$$

Em que,  $RS_{it}$  é a quantidade de resíduos sólidos domiciliares coletados *per capita*,  $PIBpc_{it}$  é o Produto Interno Bruto *per capita*,  $X_{it}$  é o conjunto de variáveis de controle.

As variáveis foram logaritimizadas com o objetivo de trabalhar com elasticidades, bem como foi feita uma matriz de correlação entre as covariadas não binárias do modelo, exceção feita às variáveis referente ao Produto Interno Bruto *per capita* e suas variações, para verificar a existência de uma correlação entre as variáveis, bem como eliminar a possibilidade de multicolinearidade.

Após a estimativa, realizou-se o teste de Chow para comparar o modelo *pooled* (nula) com o de efeitos fixos (alternativa). Confirmada a alternativa, procedeu-se com o teste de Hausman.

O teste de Hausman confere o poder de decisão entre o uso do modelo de efeitos fixos e aleatórios, comparando os parâmetros obtidos em cada um dos modelos mencionados. A estatística do teste é obtida a partir da Equação 2.

$$H = (\beta_{EA} - \beta_{EF})' \left( \sum EF - \sum EA \right)^{-1} (\beta_{EA} - \beta_{EF}) \#(2)$$

Onde  $\beta_{EA}$  e  $\beta_{EF}$  são os vetores de coeficientes estimados para efeitos aleatórios e fixos, respectivamente, e  $\sum EF$  e  $\sum EA$  são as matrizes de covariância dos modelos de efeitos fixos e aleatórios, respectivamente.

A hipótese nula do teste diz que os estimadores de efeitos fixos e de efeitos aleatórios não diferem. Com a hipótese nula rejeitada, o modelo de efeitos aleatórios não é adequado, sendo preferível empregar o modelo de efeitos fixos.

Uma vez aceita a hipótese nula, será realizado o teste do multiplicador de Lagrange proposto por Breusch e Pagan, que verifica a melhor opção entre o modelo *pooled* e o modelo de efeitos aleatórios, sendo hipóteses nula e alternativa, respectivamente.

Uma vez estimado o modelo e realizados os devidos testes, será plotado o gráfico a fim de que seja verificada a hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, em que será feita uma derivação para encontrar os pontos ótimos da função e aplicada a condição de segunda ordem para verificar se o ponto é de máximo, mínimo ou inflexão, averiguando, dessa forma, se o incremento da atividade econômica impacta em uma crescente geração de resíduos sólidos até um certo ponto de extremo, decrescendo a emissão de resíduos sólidos após esse ponto, percebendo uma curva em formato de “U-invertido”, sendo essa a hipótese do presente trabalho.

## 4 Resultados e discussão

Nesta seção, são apresentados os principais resultados encontrados no estudo. Inicialmente, foram realizadas as estatísticas descritivas das variáveis do modelo, conforme mostra a Tabela 3.

**Tabela 3**  
*Estatísticas descritivas do modelo*

Variáveis	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
RS	1,51	34,44	0	5964,66
PIBpc	3,72	4,22	0,04	103,91
DP	170,938	792,442	0,092	14403,18
PR	5636,164	10.594,85	0	656977
IES	0,779	4,61	0	160
Trab	0,003	0,1	0	15,471
CS	0,347	0,476	0	1
CobCol	0,417	0,493	0	1
Litoral	0,051	0,219	0	1
Norte	0,064	0,245	0	1
Nordeste	0,237	0,425	0	1
Sudeste	0,351	0,477	0	1
Sul	0,271	0,444	0	1

Fonte: elaborada pelos autores.

Conforme foi observado na Tabela 3, todos os valores apresentados mostraram desvio padrão alto comparado com a média, o que traz a inferência de uma base desbalanceada, uma vez que nem todos os municípios responderam ao questionário todos os anos.

A Tabela 4 apresenta a matriz de correlação com as variáveis de controle não binárias do modelo. A matriz de correlação foi utilizada para retirar eventuais problemas de multicolinearidade que o modelo possa apresentar em relação às covariadas não binárias e, conforme foi apresentado, nenhuma dessas variáveis apresentou níveis acima de 80% de correlação.

**Tabela 4**  
*Matriz de correlação*

	DP	PR	Trab	IES
DP	1.000			
PR	0,066	1.000		
Trab	-0,003	-0,004	1.000	
IES	0.438	0.431	-0,002	1.000

Fonte: elaborada pelos autores.

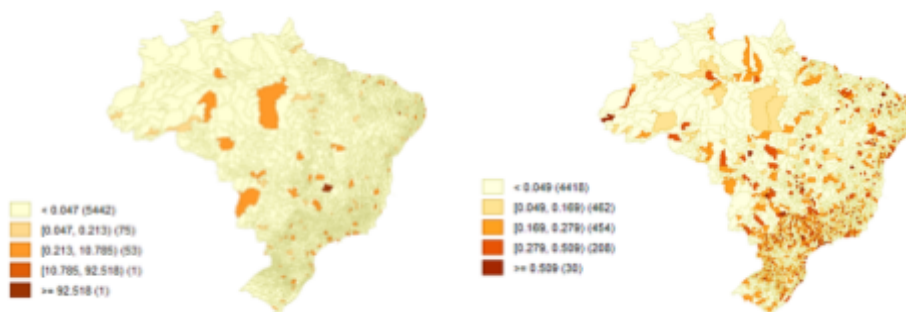
O ponto de partida para análise dos resultados diz respeito à análise da evolução dos indicadores referentes à massa aferida de resíduos sólidos domiciliares coletados, conforme mostra a Figura 2.

A primeira ponderação a ser feita diz respeito às 5.442 prefeituras que não responderam à enquete referente ao ano de 2005 ou coletaram abaixo de 0,047 toneladas por habitante, correspondendo a mais de 95% dos municípios, sugerindo que os municípios não apresentavam interesse em divulgar os seus diagnósticos para que pudessem ser feitas as políticas necessárias. Esse padrão se altera após a Lei Nacional de Resíduos Sólidos, em 2007.

O efeito da lei pode ser visto por meio do grande número de municípios que passaram a responder o questionário ou que aumentaram a sua coleta de resíduos dentro do intervalo de 15 anos, conforme é observado nos 238 municípios com coleta acima dos 0,27 toneladas per capita comparados com os 55 de 2005.

**Figura 2**

Mapa com massa per capita de resíduos sólidos domiciliares coletados nos anos de 2005 e 2020



Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados do SNIS.

Antes de definir o modelo, fez-se necessária a realização dos testes de hipótese para verificar homoscedasticidade e autocorrelação, além de saber qual modelo seria utilizado. A Tabela 3, que marca com \* os valores com p-valor menor do que 10%, mostra que todos os testes referentes ao Breusch-Pagan e F apresentam um painel fixo que pode ser corroborado com o teste de Hausman, que deu efeito fixo nos sete modelos estimados. Além disso, foram feitas as devidas correções para tornar o modelo homoscedástico e sem autocorrelação, por meio de um modelo mais robusto.

A Tabela 5 traça a regressão de sete modelos estimados por painel fixo. Optou-se pela inserção gradual das variáveis, a fim de analisar o comportamento do modelo. A coluna 1 apresenta o modelo linear simples, que relaciona o PIB *per capita* e as emissões dos resíduos sólidos coletados per capita com o objetivo de verificar a relação linear. E observou-se uma relação direta e significativa.

Na coluna 2, foi adicionado o PIB *per capita* ao quadrado para testar a hipótese principal da curva de Kuznets como um U invertido, o que também se provou verdadeiro, uma vez que o coeficiente do PIB ao quadrado apresentou coeficiente negativo, e do PIB positivo.

Para verificar a hipótese alternativa da curva de Kuznets do formato em N, foi inserida variável PIB *per capita* ao cubo, que se mostrou significativa com sinal positivo, contudo, os pontos de extremos observados se encontram no conjunto dos números imaginários, o que confirmou a análise a partir desse formato, mostrando que, para emissão de resíduos sólidos no Brasil, a curva de Kuznets ambiental será considerada com a versão cúbica do PIB.

Em seguida, foram adicionadas as variáveis referentes à distribuição populacional, a saber, a densidade populacional e a população rural. Ambas as variáveis apresentaram valores significantes, portanto, esperado, uma vez que a alocação da população fora dos limites urbanos aumenta a produção de resíduos. Esse resultado corrobora com Arbulú et al. (2015) e, de forma indireta, por Cheng et al. (2020), Gnonlonfin et al. (2017) e Wang et al. (2021), que usaram a população urbana como parâmetro e mostraram sinais opostos ao do presente estudo. Contudo, na estimação dos modelos posteriores, a densidade populacional não apresentou significância, mostrando que o aumento do adensamento populacional no Brasil não está correlacionado com o nível de emissões de resíduos.

Em seguida, foram adicionadas as variáveis referentes ao fator de produção trabalho e ao capital humano, que são: trabalhadores na coleta de resíduos sólidos e o número de instituições de ensino superior. A variável de capital humano (IES) não se mostrou significativa em nenhum modelo, contrastando com descobertas prévias (GUI et al., 2019; ARBULÚ et al., 2015). Isso sugere que o investimento em educação nos municípios brasileiros ainda não se traduziu em conscientização ambiental capaz de mitigar a geração de resíduos.

O mesmo pode ser dito da variável referente ao trabalho na coleta seletiva, que mostrou que os investimentos em trabalhadores na coleta ainda não foram suficientes para incidir em uma menor quantidade coletada de resíduos sólidos.

No modelo 6, as variáveis referentes à região brasileira bem como à localização no litoral foram omitidas pela colinearidade com o próprio efeito, mostrando resultado diferente do apresentado por Kim et al. (2018), feito para as cidades chinesas, contudo, traz a inferência de que o próprio componente fixo do painel incorpora essas variáveis de localização geográfica.

Em seguida, no modelo 7, foram adicionadas as variáveis binárias referentes à coleta seletiva. Em relação à existência de coleta seletiva, os resultados foram consistentes com os achados de Bayer et al. (2022) e Campos-Alba et al. (2021), indicando que a implementação desta política está associada ao aumento na coleta de resíduos. Este achado reforça a importância de políticas públicas voltadas para a coleta seletiva como mecanismo para potencializar a reciclagem de materiais.

Os resultados relacionados à cobrança pelos serviços de coleta revelaram uma relação negativa com a coleta de resíduos. Esta inferência sugere que a implementação de taxas pode reduzir a propensão dos habitantes em aderir ao serviço formal de coleta, possivelmente em decorrência de efeitos comportamentais ou restrições orçamentárias.

**Tabela 5**

*Modelo de regressão estimado por dados em painel*

Variáveis	Modelos						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
LnPIBpc <sub>it</sub>	0,221*	0,304*	0,429*	0,445*	0,541*	0,541*	0,531*
(LnPIBpc <sub>it</sub> ) <sup>2</sup>		-0,043*	-0,149*	-0,150*	-0,222*	-0,222*	-0,247*
(LnPIBpc <sub>it</sub> ) <sup>3</sup>			0,026*	0,025*	0,036*	0,036*	0,041*
LnDP <sub>it</sub>				-0,578*	0,375	0,375	0,272
LnPR <sub>it</sub>				0,616**	0,552*	0,552*	0,539*
LnIES <sub>it</sub>					0,420	0,420	-0,042
LnTrab <sub>it</sub>					-0,013	-0,013	0,019
Litoral <sub>it</sub>						-	
Norte <sub>it</sub>						-	
Nordeste <sub>it</sub>						-	
Sudeste <sub>it</sub>						-	
Sul <sub>it</sub>						-	
CO <sub>it</sub>						-	
CS <sub>it</sub>							-0,115*
CobCol <sub>it</sub>							0,318*
<i>Turning Point/</i>							
Ponto de Inflexão	-	3,52	1,91	1,91-	2,08	2,08	2,03
Formato da Curva	Linear	“U-invertido”	Crescente com inflexão	Crescente com Inflexão	Crescimento com Inflexão	Crescente com Inflexão	Crescente com Inflexão
F	389,92*	200,59*	10,50*	100,75*	11,61*	11,82*	11,40*
Breusch-Pagan	1249,74*	1256,044*	1261,38*	1194,29*	148,72*	124,29*	157,56*
Hausman	2,76	8,18*	12,23*	249,17*	60,84*	63,75*	74,85*

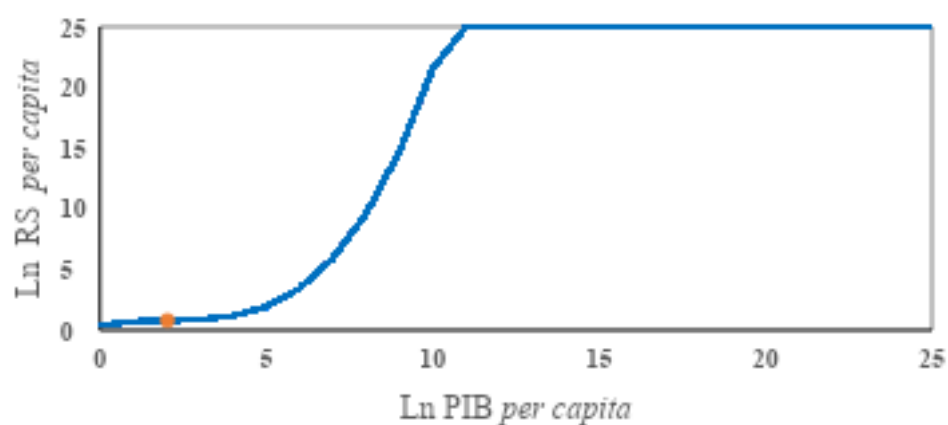
*Nota.* Significante a 10%. Fonte: elaborada pelos autores.

Uma vez verificada cada covariada, se prossegue para a análise dos logaritmos do PIB mediante a estimação da CKA envolveu condições de primeira e segunda ordem para encontrar o ponto de inflexão ou o *turning point*. A derivada de segunda ordem negativa em dos modelos 3 a 7 confirmou um ponto de inflexão.

Uma vez encontrado o ponto de inflexão do Modelo 7, que é o principal deste trabalho, foi plotado o gráfico considerando a função estimada pelo modelo, conforme apresentado na Figura 3. Diante disso, a figura apresenta a trajetória da curva como uma função de terceiro grau, cujo ponto de inflexão alcança o valor do logaritmo do PIB *per capita* é de 20,53. Após a exponenciação, o valor do PIB per capita que muda a trajetória da curva da função perfaz 7,62 reais, em que 4.039 vezes, esse patamar de atividade foi alcançado pelos municípios no decorrer da trajetória, mostrando que apenas 10,06% da amostra alcançaram esse valor e 8.190 alcançaram o valor de 2,21 quilogramas por hectare, que se configurou como o valor que desacelera a emissão de resíduos.

### Figura 3

Gráfico da relação do Produto Interno Bruto per capita com a quantidade coletada de resíduos domiciliares per capita



Fonte: elaborada pelos autores.

A plotagem da curva se deu diferente do esperado, na forma crescente com inflexão, em que, conforme o incremento da atividade econômica, a trajetória alcança uma aceleração a um determinado ponto de inflexão que desacelera a emissão de resíduos, contudo ainda não foi encontrado valor de máximo, mostrando que a emissão de resíduos ainda não encontrou seu limiar em relação ao nível de atividade econômica.

Desta forma, se percebe que no Brasil, ainda não se alcançou a curva de Kuznets em que se tem a preocupação de reduzir os níveis de emissão, mostrando que ainda carece de uma gestão pública eficiente de trabalhadores, bem como a implantação de políticas mais efetivas no que tange a coleta devida de resíduos sólidos.

### 5 Considerações finais

A presente pesquisa evidenciou resultados diferente do esperado com a curva, apresentando uma trajetória crescente com o ponto de inflexão, após o qual a emissão desacelera, mostrando que, após esse ponto de inflexão, o incremento da atividade econômica vem com uma diminuição no ritmo das emissões, contudo mostrando que as preocupações com resíduos sólidos ainda não atingiram o seu limiar.

Além disso, inferiu-se que a coleta seletiva impacta positivamente a massa coletada, indicando que políticas de coleta seletiva podem facilitar o manejo correto dos resíduos, porém a implementação de cobrança acarreta em uma maior restrição orçamentária por parte da população, diminuindo a massa coletada.

Quanto à localização e adensamento populacional, os dados mostraram que a emissão de resíduos não está ligada à localização, diferindo de estudos anteriores. Contudo, o componente referente à população rural

apresentou uma maior emissão de resíduos sólidos, o que mostra que a distância dos grandes centros urbanos dificulta o acesso dessa população aos serviços de coleta, aumentando a massa a ser coletada.

Outra conclusão importante diz respeito à variável referente ao capital humano, que apresentou resultado não significativo na emissão de resíduos sólidos, o que aponta que investimento em educação ainda não refletiu em uma maior conscientização ambiental, tampouco na produção de resíduos.

Em relação ao trabalho, foi mostrado que, conforme aumenta o número de trabalhadores, fomenta a coleta, o que corrobora que o estabelecimento de uma linha de trabalho coordenada e orientada aumenta a coleta desses resíduos.

Este trabalho não esgota a discussão, pois a utilização de um painel balanceado no futuro, viabilizada pelo aumento contínuo de municípios respondentes no SNIS, poderá fornecer dados mais completos e uma compreensão aprofundada do impacto da atividade econômica na geração de resíduos.

## Referências

- Araiza Aguilar, J. A., Chávez Moreno, J. C., & Moreno Pérez, J. A. (2017). Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(4), 691-699.
- Arbulú, I., Lozano, J., & Rey-Maqueira, J. (2015). Tourism and solid waste generation in Europe: A panel data assessment of the Environmental Kuznets Curve. *Waste Management*, 46, 628-636.
- Baltagi, B. H., & Song, S. H. (2006). Unbalanced panel data: A survey. *Statistical Papers*, 47(4), 493-523.
- Bayer, N. M., Uranga, P. R. R., & Fochezatto, A. (2022). A curva ambiental de Kuznets na produção de resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros, 2011-2015. *Economia e Sociedade*, 31, 129-142.
- Brasil (2010). Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)> Acesso em 17 de março de 2023.
- Brasil. (2007). Lei nº 11.445, DE 5 de janeiro de 2007. Brasília. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato20072010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2007/lei/11445.htm)>. Acesso em 17 de março de 2024.
- Brasil. (2010). Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm). Acesso em 17 de março de 2024
- Campos-Alba, C. M., Garrido-Rodríguez, J. C., Plata-Díaz, A. M., & Pérez-López, G. (2021). The selective collection of municipal solid waste and other factors determining cost efficiency: An analysis of service provision by Spanish municipalities. *Waste Management*, 134, 11-20. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.07.039
- Caravaggio, N. (2020). A global empirical re-assessment of the Environmental Kuznets curve for deforestation. *Forest Policy and Economics*, 119, 102282.
- Flores-Xolocotzi, R., & Ceballos Pérez, S. G. (2022). Una prueba de hipótesis de la curva ambiental de Kuznets para residuos sólidos urbanos en México, 1992-2018. *Revista de economía*, 39(99), 54-82.
- Cheng, J., Shi, F., Yi, J., & Fu, H. (2020). Analysis of the factors that affect the production of municipal solid waste in China. *Journal of cleaner production*, 259, 120808.
- Ercolano, S., Gaeta, G. L. L., Ghinoi, S., & Silvestri, F. (2018). Kuznets curve in municipal solid waste production: An empirical analysis based on municipal-level panel data from the Lombardy region (Italy). *Ecological indicators*, 93, 397-403.
- Gnonlonfin, A., Kocoglu, Y., & Peridy, N. (2017). Municipal solid waste and development: the Environmental Kuznets Curve evidence for Mediterranean countries. *Region et Developpement*, 45(1), 1.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377.

- Gui, S., Zhao, L., & Zhang, Z. (2019). Does municipal solid waste generation in China support the Environmental Kuznets Curve? New evidence from spatial linkage analysis. *Waste Management*, 84, 310-319.
- Huang, J., Zhang, S., Zou, Y., Tai, J., Shi, Y., Fu, B., Zhao, J. & Qian, G. (2021). The heterogeneous time and income effects in Kuznets curves of municipal solid waste generation: comparing developed and developing economies. *Science of the Total Environment*, 799, 149157.
- IBGE (2023). Sítio Eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 10 de maio de 2023.
- Ichinose, D., & Hosoda, E. B. (2014). Double asymmetry of information in a waste treatment contract. In *Handbook on Waste Management* (pp. 394-415). Edward Elgar Publishing.
- IPEA (2023). Ipeadata. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em 23 de outubro de 2025.
- Jaligot, R., & Chenal, J. (2018). Decoupling municipal solid waste generation and economic growth in the canton of Vaud, Switzerland. *Resources, Conservation and Recycling*, 130, 260-266.
- Kim, Y., Tanaka, K., & Ge, C. (2018). Estimating the provincial environmental Kuznets curve in China: a geographically weighted regression approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 2147-2163.
- MEC (2023). Censo da Educação Superior. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/microdados/centso-da-educacao-superior>. Acesso em 23 de outubro de 2025.
- Paes, M. X., de Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Bortoleto, A. P., de Oliveira, J. A. P., & Kulay, L. A. (2020). Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. *Journal of cleaner production*, 254, 119848.
- Sánchez-Muñoz, M. D. P., Cruz-Cerón, J. G., & Maldonado-Espinel, P. C. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321-336.
- Shah, W. U. H., Yasmeen, R., Sarfraz, M., & Ivascu, L. (2023). The repercussions of economic growth, industrialization, foreign direct investment, and technology on municipal solid waste: Evidence from OECD economies. *Sustainability*, 15(1), 836.
- SNIS (2023). Sítio Eletrônico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Resíduos Sólidos. Disponível em: [http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos#:~:text=Diagn%C3%B3stico%20Anual%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%202021%20\(ano%20de%20refer%C3%Aancia%202020\)&text=O%20SNIS%20coleta%20dados%20dos,panorama%20geral%20para%20o%20pa%C3%ADs](http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos#:~:text=Diagn%C3%B3stico%20Anual%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%202021%20(ano%20de%20refer%C3%Aancia%202020)&text=O%20SNIS%20coleta%20dados%20dos,panorama%20geral%20para%20o%20pa%C3%ADs). Acesso em: 07 de maio de 2023.
- Taguchi, H., Fujino, T., Asada, H., & Ma, J. J. (2023). Water pollution and pollution-control capacity in Chinese provinces: panel estimations of provincial environmental Kuznets curves. *Sustainability*, 15(5), 3979.
- Wang, K., Zhu, Y., & Zhang, J. (2021). Decoupling economic development from municipal solid waste generation in China's cities: Assessment and prediction based on Tapio method and EKC models. *Waste Management*, 133, 37-48.
- Yan, J., Lu, W., Xu, X., & Lian, J. (2023). Empirical study of the environmental Kuznets curve in China based on provincial panel data. *Sustainability*, 15(6), 5225.

**Como citar este artigo**

Asevedo, M. D. G., Sousa, W. L., Ferreira, J. F. & Araújo, J. A. (2025). A Curva de Kuznets para resíduos sólidos: evidências para os municípios brasileiros entre 2005 e 2020. *Revista de Contabilidade e Organizações*, 19:e241199. DOI: [http://dx.doi.org/10.11606/issn.1982-6486\\_rco.2025.241199](http://dx.doi.org/10.11606/issn.1982-6486_rco.2025.241199)