



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - ICSA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS - DEECO**

**SÁVIA COIMBRA PORTO SANTOS**

**SOFISTICAÇÃO PRODUTIVA E EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO: UMA  
ANÁLISE ECONOMETRICA DA AMÉRICA LATINA**

**MARIANA**

**2021**

**SÁVIA COIMBRA PORTO SANTOS**

**SOFISTICAÇÃO PRODUTIVA E EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO: UMA  
ANÁLISE ECONÔMETRICA DA AMÉRICA LATINA**

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas.

**Orientador:** Prof. Dr. Diogo Ferraz

**MARIANA**

**2021**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237s Santos, Savia Coimbra Porto .

Sofisticação produtiva e emissão de gás carbônico [manuscrito]: uma análise econométrica da América Latina. / Savia Coimbra Porto Santos. - 2021.

65 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Diogo Ferraz.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Graduação em Ciências Econômicas .

1. Economia. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Dióxido de carbono. I. Ferraz, Diogo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 502.131.1

Bibliotecário(a) Responsável: Edna da Silva Angelo - CRB6 2560



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Sávia Coimbra Porto Santos

**Sofisticação Produtiva e Emissão de Gás Carbônico: uma análise econométrica da América Latina**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas

Aprovada em 17 de dezembro de 2021

### Membros da banca

Doutor - Diogo Ferraz - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
Doutora - Fernanda Faria Silva - Universidade Federal de Ouro Preto  
Mestre - Eduardo Polloni Silva - Universidade Federal de São Carlos

Diogo Ferraz, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/12/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Ferraz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2021, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0260129** e o código CRC **5D75DB54**.

*À minha família.*

## **Agradecimentos**

À minha família, que contribuiu com cada etapa do meu crescimento e pela fonte de amor inesgotável. Ao meu pai, Sebastião, pelo incentivo e apoio em todas as minhas decisões. À minha mãe, Heloisa, por me dar forças. Em especial, à minha irmã, Emily, e à minha tia, Adélia.

Ao meu orientador, Prof. Diogo Ferraz, sem o qual sequer haveria defesa, por todos os ensinamentos.

Aos amigos que fiz nessa trajetória, especialmente a turminha do 18.2.

À Meio Metro, casinha que me acolheu em Mariana.

Aos amigos da vida.

À UFOP e aos professores do Departamento de Economia com quem tive o privilégio de aprender com suas sabedorias e conhecimentos. À UFV por ter me acolhido em tempos de pandemia.

A todos que contribuíram de alguma forma, meu muito obrigada!

*“O mundo era tão recente que muitas coisas  
careciam de nome, e para mencioná-las era  
preciso apontar com o dedo.”*

**Gabriel García Márquez**

**SUMÁRIO**

INTRODUÇÃO.....	14
Problema.....	18
Justificativa.....	18
CAPÍTULO 1 – ARCABOUÇO TEÓRICO.....	20
1.1 Crescimento Econômico e Sustentabilidade .....	20
1.2 Complexidade Econômica e Sustentabilidade.....	27
1.3 América Latina e Sustentabilidade .....	31
CAPÍTULO 2 – ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	34
2.1 Variáveis utilizadas.....	34
2.2 Dados em painel .....	35
2.3 Modelo de regressão Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para dados empilhados.....	35
2.4 Modelo de mínimos quadrados com variáveis <i>dummy</i> para efeitos fixos (MQDV) .....	36
2.5 Modelo de efeitos fixos dentro de um grupo (DG) .....	37
2.6 O modelo de efeitos aleatórios (MEA).....	37
2.7 Teste de Hausman.....	39
2.8 Problemas econométricos .....	40
2.9 Análise econométrica .....	41
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	56
REFERÊNCIAS .....	59

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Evolução das emissões de CO <sub>2</sub> em kt na Europa e na América Latina entre 1960 e 2016 .....	17
Figura 2 – Evolução das emissões de dióxido de carbono no mundo nos últimos mil anos.....	20
Figura 3 - Curva Ambiental de Kuznets .....	23
Figura 4 – Nível de complexidade econômica dos países .....	29
Figura 5 - Evolução das emissões de dióxido de carbono para a América Latina entre 1995 e 2016 .....	43
Figura 6 - Evolução do crescimento econômico para a América Latina entre 1995 e 2016 .....	44
Figura 7 - Evolução do Investimento Estrangeiro Direto (IED) para América Latina entre 1995 até 2016.....	44
Figura 8 - Evolução do Índice de Complexidade Econômica (ICE) para a América Latina entre 1995 até 2016 .....	45
Figura 9 - Matriz de Correlação de Pearson para a América Latina entre 1995 e 2016.	47

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Variáveis analisadas.....	34
Tabela 2 - Estatística descritiva .....	46
Tabela 3 - Matriz de correlação .....	47
Tabela 4 - Fator de inflação de variância .....	48
Tabela 5 - Teste de Breusch-Pagan .....	48
Tabela 6 - Teste de Hausman .....	49
Tabela 7 - Modelos básicos .....	51
Tabela 8 - Modelo CAK .....	55

**LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

- ALC** - América Latina e Caribe
- DG** - Modelo Efeitos Fixos Dentro de um Grupo
- CAK** - Curva Ambiental de Kuznets
- CEPAL** - Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
- FIV** - Fator de Inflação de Variância
- GEE** - Gases do Efeito Estufa
- GEMS** - Global Environmental Monitoring
- GMM** - Método dos Momentos Generalizados
- ICE** - Índice de Complexidade Econômica
- IED** - Investimento Estrangeiro Direto
- MCE** - Modelo de Componentes de Erros
- MCRL** - Modelo Clássico de Regressão Linear
- MEA** - Modelo de Efeitos Aleatórios
- MQDV** - Modelo de Mínimos Quadrados com Variáveis Dummy
- MQO** - Mínimos Quadrados Ordinários
- OCDE** - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento
- ODM** - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
- ODS** - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- ONU** - Organização das Nações Unidas
- ORNL** - Oak Ridge National Laboratory
- PIB** - Produto Interno Bruto
- UE** - União Europeia

## RESUMO

A sociedade moderna tem o desafio de crescer economicamente de forma a minimizar a degradação ambiental. Diversos estudos têm desvendado os determinantes para o desenvolvimento sustentável. Entretanto, menor atenção tem sido dada para a América Latina e para a sofisticação produtiva na região. Neste sentido, estudos internacionais têm discutido os efeitos da Complexidade Econômica para uma estratégia de desenvolvimento sustentável. O objetivo deste trabalho é analisar a relação entre sofisticação produtiva e degradação ambiental em países latino-americanos. Para tanto, este trabalho adota o modelo econométrico *Regression with Driscoll-Kraay standard errors* por meio de dados em painel entre 1995 e 2016 para 19 países da América Latina e do Caribe. Os resultados deste estudo confirmaram a importância da complexidade econômica para a emissão de CO<sub>2</sub>, que diminui a degradação ambiental considerando uma Curva Ambiental de Kuznets para os países analisados. Além disso, verificou-se a importância do consumo de energia, uso de combustíveis fósseis e urbanização como determinantes de emissão de dióxido de carbono. Entretanto, não foi verificada significância estatística para o Investimento Estrangeiro Direto em relação à emissão de CO<sub>2</sub> na região. Por fim, os resultados desta monografia apresentam alguns *insights* para formulação de políticas públicas na América Latina, a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Complexidade Econômica, Desenvolvimento sustentável, Emissão de CO<sub>2</sub>, Curva Ambiental de Kuznets.

## ABSTRACT

Modern society is challenged to generate economic growth by minimizing environmental degradation. For this reason, several studies evaluate the determinants of sustainable development. Nonetheless, less attention has been given to productive sophistication, especially in Latin America. Various international studies have discussed the effects of economic complexity as a strategy towards sustainable development. The aim of this work is to analyse the relationship between productive sophistication and environmental degradation in Latin American countries. Thus, this study adopts the Driscoll-Kraay Standard Errors econometric model using panel data for 19 Latin American and Caribbean countries between 1995 and 2016. The findings confirm the importance of economic complexity for CO<sub>2</sub> emissions, which was able to decrease environmental degradation through the Environmental Kuznets Curve hypothesis. Furthermore, control variables (i.e., energy consumption, fossil fuel use, and urbanization) were important determinants of carbon dioxide emissions. However, Foreign Direct Investment did not present statistical significance regarding CO<sub>2</sub> emissions in this region. Finally, the results present some policy recommendations in Latin America to achieve sustainable development.

**Keywords:** Economic complexity, Sustainable development, CO<sub>2</sub> emissions, Environmental Kuznets Curve.

## INTRODUÇÃO

Diversos estudos têm apontado que o aumento da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido ao uso de combustíveis fósseis, causa impactos negativos no meio ambiente (INGLESI-LOTZ; DOGAN, 2018) como, por exemplo, a elevação da temperatura no planeta (KÖNE; BÜKE, 2019). Neste aspecto, diversas medidas têm sido tomadas para conter a degradação ambiental. Um exemplo disto é o Acordo de Paris, compromisso firmado em 2015 e implementado em 2016 entre 195 nações para a redução dos gases do efeito estufa (GEE) (SHAHZAD; FAREED; SHAHZAD; SHAHZAD, 2021). Ademais, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), que faz parte das Organização das Nações Unidas (ONU), reúne cientistas de todo o mundo para calcular e dimensionar as mudanças climáticas futuras (KÖNE; BÜKE, 2019) e garantir formas de cumprimento da meta adotada pelos países, a fim de manter o aquecimento abaixo dos 2° Celsius (C) no planeta Terra.

Neste sentido, o sumário para formuladores de políticas públicas foi aprovado em 2018 e estabelecido por meio do quinto relatório de avaliação do IPCC. No documento, os cientistas procederam com diversos estudos para avaliar o impacto de um aquecimento em 1,5°C e 2°C. Os autores constataram que existe uma grande diferença entre reduzir a meta de aquecimento de 2°C para 1,5°C (IPCC, 2018) sendo que até mesmo a meta de 2°C causaria impactos negativos no meio ambiente. Desta forma, diversos são os efeitos do aquecimento global, a saber: elevação do nível do mar, impactos negativos na biodiversidade e ecossistema como, por exemplo, a perda e/ou extinção de espécies, riscos relacionados ao clima para a saúde como, por exemplo, na segurança alimentar, abastecimento de água, e outros efeitos (IPCC, 2018).

Frente aos problemas causados pela emissão de CO<sub>2</sub> no meio ambiente, diversos estudos analisam os determinantes das emissões de gás carbônico. Uma das razões pelo aumento da emissão de CO<sub>2</sub> é causada pelo maior consumo de energia (GOZGOR; CAN, 2016). Desde os anos 1990, a relação entre meio ambiente e crescimento econômico vem sendo estudada (DINDA, 2004; ZILIO; RECALDE, 2011). Shahnazi e Shabani (2021) consideram o dióxido de carbono um dos principais gases causadores do efeito estufa (SHAHNAZI; SHABANI, 2021) pois argumentam que a relação da emissão de CO<sub>2</sub> com o Produto Interno Bruto (PIB) é positiva e significativa para o desenvolvimento das nações. Note que a relação entre CO<sub>2</sub> e PIB pode ser apresentada por meio hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (CAK). Fundamentada a partir da Curva de Kuznets que previa a relação entre a renda per

capita e desigualdade de renda na forma de U invertido. Foi observado que a desigualdade de renda aumentava a medida em que a renda aumentava e a partir de um certo ponto essa desigualdade diminuía (DINDA, 2004). Essa mesma relação também foi encontrada entre degradação ambiental e crescimento econômico, sendo que Panayotou (1993) foi pioneiro em propor adaptações à curva ambiental de Kuznets. Shahnazi, Dehghan e Shabani (2021) testaram ainda a CAK para a urbanização e a liberdade econômica na União Europeia (UE).

Além disso, diversos estudos analisam a relação entre investimento estrangeiro direto (IED) e a degradação ambiental nos países. Por exemplo, Shahbaz *et al.* (SHAHBAZ; NASREEN; ABBAS; ANIS, 2015) investigaram a relação não linear entre IED, crescimento econômico, consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub> para um painel de 99 países. Os autores afirmam que para ter um meio ambiente mais limpo é necessário o uso de energia renovável, como a biomassa, para superar as emissões de CO<sub>2</sub>. Alguns estudos com este tipo de análise utilizam a hipótese do *Pollution Halo* cujo argumento é que uma economia mais aberta e com participação de empresas multinacionais induz uma produção mais limpa pela importação de padrões de poluição dos países desenvolvidos (BIRDSALL; WHEELER, 1993). Note que este tipo de análise é importante para uma transição verde na América Latina, tendo em vista a baixa capacidade tecnológica dos países desta região em produzir bens sustentáveis (*green products*) e empregos sustentáveis (*green jobs*). Contudo, este tipo de transição requer produtos com maior capacidade tecnológica, empregos de melhor qualidade e maior sofisticação produtiva para a região.

Embora os estudos anteriores tenham avançado em diversos aspectos, um novo campo da literatura internacional tem explorado a relevância da sofisticação produtiva para a degradação ambiental. A abordagem sobre a Complexidade Econômica se refere ao tipo de conhecimento necessário para desenvolver determinado produto. Em uma economia complexa são necessárias diversas capacidades para produzir bens tecnológicos (HIDALGO; HAUSMANN, 2009). Por exemplo, países devem apresentar infraestrutura, direitos de propriedade, regulamentação, conhecimento útil adequados para produção de bens sofisticados (aviões, máquinas, eletrônicos, carros, etc.). Estudos recentes, adaptaram as análises sobre os determinantes de CO<sub>2</sub> acrescentando o Índice de Complexidade Econômica (ICE), como fator explicativo da degradação ambiental (CAN; GOZGOR, 2017).

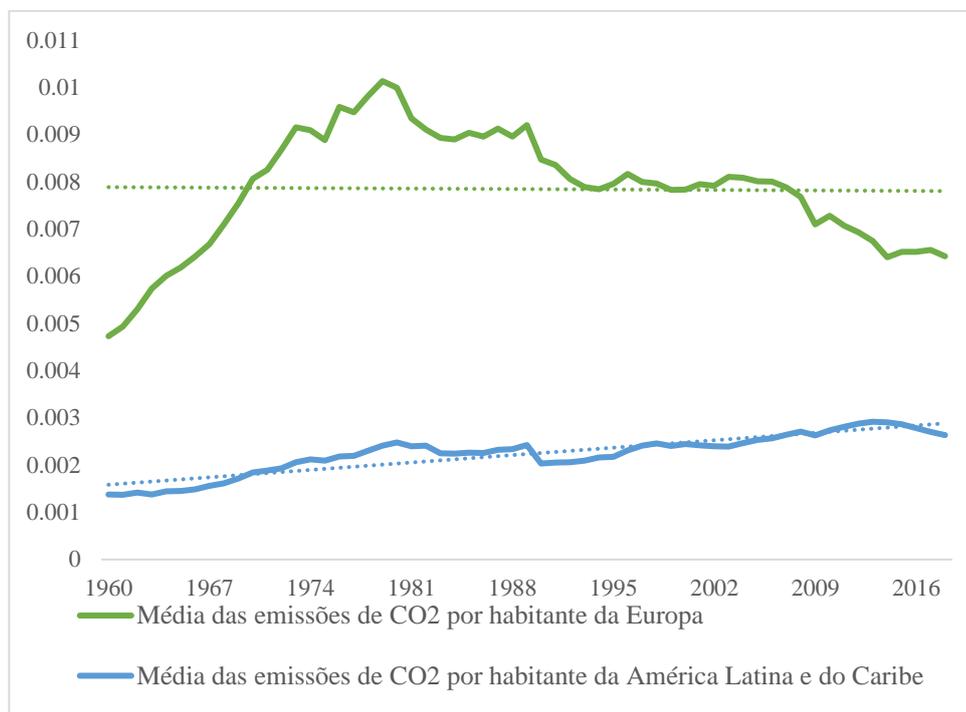
Note que a análise sobre a complexidade econômica tem se mostrado relevante para vários aspectos do desenvolvimento econômico. Por exemplo, há uma forte correlação entre a

renda per capita, o crescimento futuro e estrutura produtiva dos países (HIDALGO; HAUSMANN, 2009). Complementarmente, estudos recentes relacionam a complexidade econômica ao desenvolvimento sustentável. Por exemplo, Shahzad *et al.* 2021 investigaram a função da complexidade econômica para qualidade ambiental, usando combustível fóssil e pegada ecológica nos Estados Unidos (SHAHZAD; FAREED; SHAHZAD; SHAHZAD, 2021). Os autores concluíram que o consumo de combustível fóssil e complexidade econômica impactam a pegada ecológica nos Estados Unidos e a causalidade entre complexidade econômica e consumo de energia com a pegada ecológica. Devido ao crescimento populacional e o processo de urbanização, a demanda de energia tem crescido muito e tem sido considerado nos estudos, mostrando que contribuem para a emissão de CO<sub>2</sub> quando fontes não-renováveis são utilizadas. Em contrapartida, a complexidade econômica tem mostrado como uma forma de ter uma relação negativa com a emissão desses gases (DOĞAN; DRIHA; BALSALOBRE LORENTE; SHAHZAD, 2020).

Apesar da literatura internacional ter evoluído nos últimos anos, esta monografia analisará uma área pouco explorada pelos estudos disponíveis em repositórios científicos. Neste sentido, o objetivo geral desta monografia é analisar a relação entre sofisticação produtiva e degradação ambiental em países latino-americanos. Ademais, foram delimitados os seguintes objetivos específicos, a saber: a) revisar a literatura acerca da complexidade econômica e sustentabilidade ambiental; b) construir uma base de dados para os países da América Latina e analisá-los por meio da estatística descritiva; c) desenvolver um modelo econométrico que demonstre o impacto da complexidade econômica e outras variáveis explicativas sobre a emissão de CO<sub>2</sub>; e) verificar a hipótese da curva ambiental de Kuznets usando complexidade econômica e; f) discutir alternativas para o crescimento econômico com menor impacto ambiental na região analisada.

Para isto, será feita uma análise do impacto da complexidade econômica sobre a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina e Caribe. É importante analisar esta região porque em 2021, segundo as Nações Unidas (2021), a população da América Latina e do Caribe (ALC) representava quase 8,5% da população mundial. De acordo com dados de 2011, cada habitante emite, em média, 2,1 kg de CO<sub>2</sub> por ano em comparação com a média mundial de 4,9 kg por ano (MOUTINHO; FUINHAS; MARQUES; SANTIAGO, 2018). A Figura 1 ilustra essa evolução na Europa e na América Latina. Note que apesar da América Latina emitir menos dióxido de carbono em comparação com a Europa, essa média vem aumentando.

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM KT NA EUROPA E NA AMÉRICA LATINA ENTRE 1960 E 2016



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2021.

No entanto, mesmo sendo considerado uma média baixa em relação à média mundial, por se tratarem de países em desenvolvimento, essa média vem aumentando e tem se tornado um assunto importante em tratados internacionais relacionado ao comércio e ao meio ambiente (BLANCO; GONZALEZ; RUIZ, 2013). Nessa região da ALC o Brasil e o México foram, respectivamente, o 13º e o 14º maiores emissores de CO<sub>2</sub> em 2019 no mundo segundo dados do Global Carbon Atlas (2019).

Ademais, há carência de estudos científicos sobre complexidade econômica e os efeitos para a América Latina e do Caribe. A região é caracterizada por uma rica biodiversidade, que abriga a Floresta Amazônica e outros biomas relevantes para a sustentabilidade do planeta. Isto demonstra a relevância em avaliar os impactos e possibilidades para uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Vale destacar que a ALC é a região com a maior reserva terrestre para agricultura e onde teve a maior expansão agrícola durante o século XXI (GRAESSER; AIDE; GRAU; RAMANKUTTY, 2015). Isto tem causado desmatamento e colocado em risco a fauna e a flora da região. Note que o desmatamento tem sido causado pela expansão da agricultura (ARMENTERAS; ESPELTA; RODRÍGUEZ; RETANA, 2017), principalmente pelo maior consumo de carne e a necessidade de abastecer esse consumo de alimentos no mundo. Outros aspectos regionais também são importantes para justificar a análise do

desenvolvimento sustentável na América Latina e do Caribe. Por exemplo, as fontes de energia renováveis ainda são escassas no mundo e, principalmente, na região. Com exceção do Brasil, que utiliza fontes renováveis (hidrelétrica, biomassa, entre outros), o uso de energia limpa ainda é limitado na ALC.

## **Problema**

A literatura especializada em desenvolvimento econômico tem discutido como a emissão de CO<sub>2</sub> causa danos ambientais e é responsável pelas mudanças climáticas no mundo. Há alguns anos vem sendo discutido como o aumento da emissão de gases do efeito estufa é considerado um dos principais culpados por causar danos ambientais e rápidas mudanças climáticas. Diversos estudos têm considerado a hipótese da curva ambiental de Kuznets modificada de que complexidade econômica aumenta a emissão de CO<sub>2</sub> para países com menores rendas e reduz a emissão de CO<sub>2</sub> para países com maiores rendas.

Entretanto, países em desenvolvimento têm recebido menor atenção neste tipo de análise, em especial, países da América Latina. Desta forma, este trabalho busca responder ao seguinte problema de pesquisa: a sofisticação produtiva impacta a degradação ambiental dos países latino americanos? Para responder esta pergunta, este trabalho busca analisar o impacto da diversificação produtiva e o recebimento de IED sobre a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina.

## **Justificativa**

A escolha de fazer uma análise para os países da América Latina e do Caribe decorre da escassez de estudos para os países da região. Um estudo conduzido pelo *World Bank* foi entendido que “existem muitas motivações para a participação ativa dos países da América Latina e do Caribe nos esforços globais de mitigação climática.” (TORRE; FAJNZYLBBER; NASH, 2009). Se as emissões de gases do efeito estufa continuarem aumentando, a região poderá sofrer consequências graves no futuro.

Frente ao exposto, não foram encontrados estudos que analisem exclusivamente os países da América Latina e do Caribe em relação à sustentabilidade ambiental e sofisticação produtiva. Note que existem estudos para os países de renda alta onde foi usada a curva ambiental de Kuznets para validar a hipótese de que complexidade econômica reduz a emissão

de CO<sub>2</sub> (CAN; GOZGOR, 2017; CHU, 2020; DOGAN; SABOORI; CAN, 2019; GOZGOR; CAN, 2016; SHAHNAZI; SHABANI, 2021).

Neste sentido, esta monografia contribui por analisar países latino-americanos (Bolívia, Chile, Cuba, Equador, Venezuela, Guatemala, Honduras, Peru, Paraguai, Nicarágua, Panama, Uruguai, Argentina, México, Costa Rica, El Salvador, Brasil, Colômbia e República Dominicana).

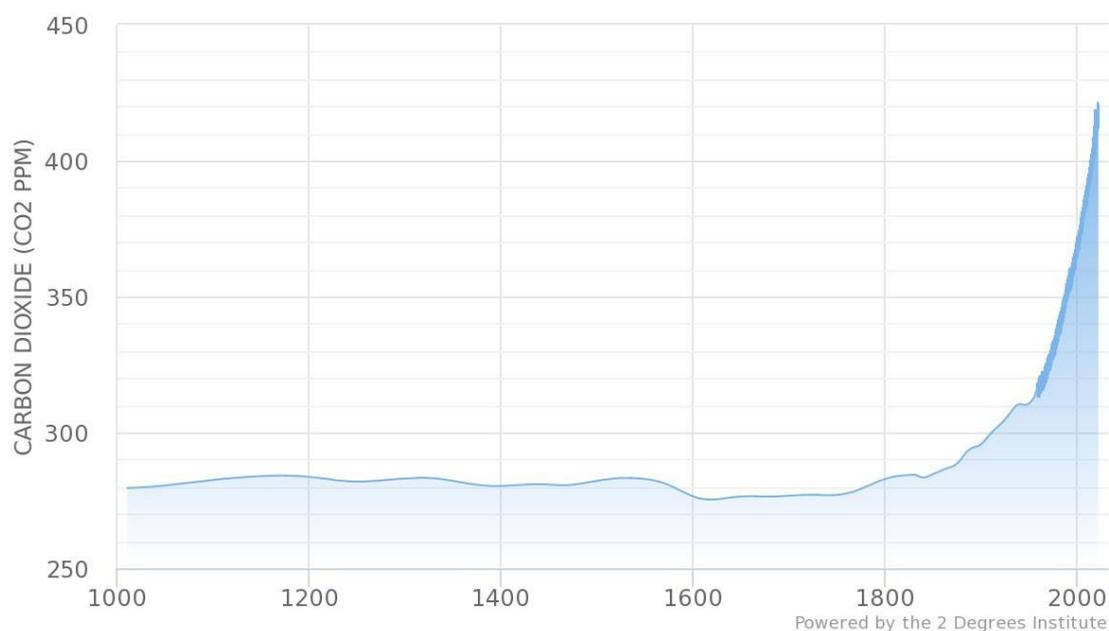
Desta forma, este trabalho está estruturado em 3 capítulos, além dos elementos introdutórios e a conclusão. O primeiro capítulo discute estudos internacionais acerca da sustentabilidade, crescimento econômico e sofisticação produtiva. O Capítulo 2 discorre sobre as técnicas econométricas utilizadas neste trabalho. Finalmente, o Capítulo 3 discute os resultados encontrados.

## CAPÍTULO 1 – ARCABOUÇO TEÓRICO

### 1.1 Crescimento Econômico e Sustentabilidade

O motivo que torna uma nação rica tem sido discutido desde Adam Smith (1776) por meio da obra *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. O crescimento econômico é motivo de estudos de diversos economistas e foi um dos campos mais pesquisados desde meados de 1980 (JONES, 2000). No último século e meio, o crescimento econômico ocorreu por meio do progresso tecnológico, além da exploração de recursos naturais finitos. Ademais, durante o período cresceu a emissão de gases de efeito estufa que contribuem com mudanças climáticas e degradação ambiental (FOUQUET, 2013). A Figura 2 apresenta a evolução das emissões de dióxido de carbono no mundo nos últimos mil anos. Note o crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> a partir dos 1<sup>a</sup> Revolução Industrial a partir do século XVIII. Contudo, desde os estudos de Meadows e Meadows (1972) e o Relatório de Brundtland (1987), tem ocorrido uma maior preocupação em discutir um modelo de crescimento econômico mais sustentável.

FIGURA 2 – EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NO MUNDO NOS ÚLTIMOS MIL ANOS



Fonte: *The 2° Institute*, 2021.

O desenvolvimento humano tem como definição o aumento das liberdades individuais, mas existe um *trade-off* entre a liberdade da geração atual e das gerações futuras com aspectos ligados à dimensão ambiental. Desta maneira, Mariano (2019, p. 46) afirma que

A ideia básica do conceito de desenvolvimento sustentável é que ele se baseia na promoção de desenvolvimento econômico, com a consequente satisfação das necessidades materiais e humanas da geração presente, sem comprometer, com isso, as necessidades das gerações futuras. (MARIANO, 2019, p.46).

Note que o desenvolvimento sustentável se assemelha ao desenvolvimento humano, com o acréscimo da dimensão ambiental. Há uma preocupação com o bem-estar social, que pode ser afetada pela qualidade do ar ou água, por exemplo. Além disso, há uma preocupação com outras espécies e como a degradação ambiental influencia em um declínio na diversidade das mesmas. É importante produzir de forma mais sustentável, uma produção mais limpa, buscando minimizar o consumo de matérias-primas, água e energia, reduzindo assim, os impactos ambientais e os custos de produção (MARIANO, 2019).

No entanto, o desenvolvimento sustentável tem sido questionado por alguns críticos devido à dificuldade de alcançar um consenso no mundo sobre as políticas ambientais. Com isso, tem-se o conceito de decrescimento sustentável, com em questões sociais e ambientais contra o ideal do crescimento econômico *mainstream*, fundamentado pelo crescimento do PIB. Decrescimento sustentável é definido como um processo temporário que acontece até a estabilização da economia em um estado estacionário em que a sustentabilidade seja possível. Para os críticos, a sustentabilidade não pode ser alcançada com o aumento do nível de rendimento nacional (MARIANO, 2019).

Há diversas evidências de que os países desenvolvidos e em desenvolvimento têm se preocupado com questões ambientais. Por exemplo, desde o evento Rio92, cientistas e políticos têm promovido relatórios, metas e acordos em prol de um mundo sustentável (MARIANO, 2019). A Organização das Nações Unidas (ONU) desenvolveu, no ano 2000, os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), que são oito objetivos de caráter genérico que a humanidade deve superar para atingir o desenvolvimento sustentável. Em 2015, os ODMs foram revisados, cedendo lugar para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS são 17 objetivos de desenvolvimento sustentável que se divide entre 169 metas a serem atingidas até 2030. Neste sentido, o Acordo de Paris (2015) tratou sobre a redução dos GEE e estratégias de mitigação do aquecimento global e a 26ª Conferência das Partes (2021), em Glasgow, buscou acelerar as ações para atingir os objetivos acordados em Paris.

Note que este trabalho se relaciona com algumas metas dos ODS da ONU. Primeiro, a meta *affordable and clean energy*<sup>1</sup> (SGD-7) para garantir acesso a fontes de energia fiáveis,

---

<sup>1</sup> Tradução: Energia limpa e acessível.

sustentáveis e modernas. Segundo, a meta *decent work and economic growth*<sup>2</sup> (SGD-8) para promover o crescimento econômico e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos. Terceiro, *industry innovation and infrastructure*<sup>3</sup>(SGD-9) para construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação. Em seguida, *responsible consumption and production*<sup>4</sup> (SGD-9) para garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis. Por fim, *climate action*<sup>5</sup> (SGD-13) para adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos. Desta forma, diversos estudos da literatura especializada têm analisado como os países devem desenvolver modelos econômicos para atingir as metas do desenvolvimento sustentável.

Neste aspecto, a literatura internacional mostra que muitas dimensões estão relacionadas com o crescimento econômico. Historicamente, o aumento do PIB tem sido estudado como fator de impacto na degradação ambiental. Por um lado, acreditou-se que uma maior atividade econômica aumenta a degradação ambiental. Por outro, estes problemas ambientais poderiam ser solucionados como consequência do crescimento econômico (SHAFIK, 1994<sup>a</sup>).

Durante a década de 1990, os primeiros trabalhos empíricos usaram indicadores que foram coletados sobre a qualidade ambiental e que até então não eram acessíveis. Os dados empíricos foram difundidos por meio do *Global Environmental Monitoring* (GEMS), o compêndio de dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento OCDE, as estimativas do *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL), entre outros (DINDA, 2004). Por exemplo, Shafik (2004) analisou 149 países entre 1960 e 1990 e verificou que a degradação ambiental tende a diminuir para países com renda alta. O autor concluiu que, conforme cresce a renda dos países, a demanda por um meio ambiente melhor aumenta, favorecendo legislações ambientais mais fortes (SHAFIK, 1994b).

Em outro estudo, Panayotou (1993) usou dados de diferentes países para alguns anos da década de 1980. O autor encontrou que a degradação ambiental piora até um certo ponto. A partir de um ponto de mudança, a degradação ambiental começa a melhorar, devido ao processo de desenvolvimento econômico mais avançado, priorizando bens sustentáveis. Embora estes

---

<sup>2</sup> Tradução: Trabalho decente e crescimento econômico

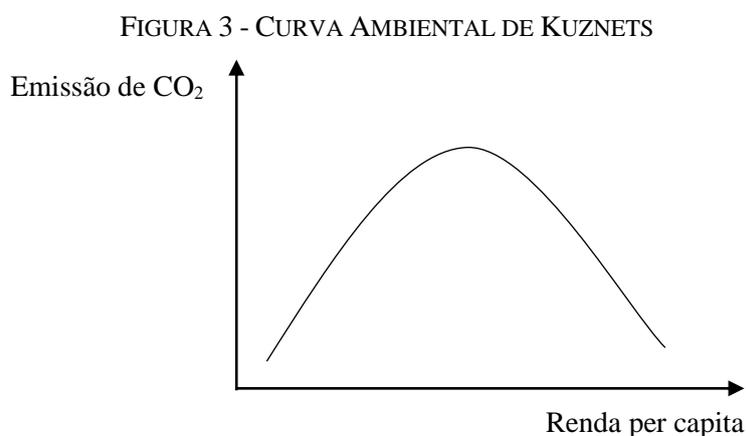
<sup>3</sup> Tradução: Indústria, inovação e infraestrutura

<sup>4</sup> Tradução: Consumo e produção responsáveis

<sup>5</sup> Tradução: Ação contra a mudança global do clima

estudos sejam relevantes, outros estudos avançaram no entendimento sobre a relação do crescimento econômico com a degradação ambiental.

Neste aspecto, a Curva Ambiental de Kuznets foi um dos primeiros avanços sobre a influência do crescimento econômico em questões ambientais (DINDA, 2004; GROSSMAN; KRUEGER, 1995<sup>a</sup>; PANAYOTOU, 1993). A hipótese da CAK é que a degradação ambiental se eleva com o crescimento econômico, mas a partir de um certo ponto essa degradação começa a cair, apresentando uma forma de U invertido (GROSSMAN; KRUEGER, 1995<sup>a</sup>). Essa relação pode ser entendida por meio da Figura 3.



Fonte: Elaborado pela autora.

Grossman e Krueger (1995) utilizaram o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) como *proxy* para degradação ambiental em 42 países entre 1977 e 1988. Os resultados encontrados confirmaram a hipótese da CAK entre crescimento econômico e emissão de CO<sub>2</sub>. Além disso, Selden e Song (1994) analisaram a emissão per capita de poluentes em relação a renda per capita da população. Os autores também constataram a hipótese da CAK apesar de os valores encontrados para o “ponto de virada” serem mais altos (SELDEN;; SONG, 1994). Neste aspecto, estes dois trabalhos verificaram a forma de U invertido para a relação crescimento econômico e degradação ambiental para diversos países.

Outros estudos também evidenciaram a existência desta relação em outras regiões geográficas. Bilgili, Koçak e Bulut (2016) analisaram a hipótese da CAK para 17 países da (OCDE) entre 1977 e 2010. Os autores utilizaram um modelo econométrico introduzindo a variável consumo de energia renovável, além de outras variáveis explicativas da degradação ambiental. O estudo concluiu que a hipótese da CAK é válida e consumo de energia renovável diminui a emissão de CO<sub>2</sub> (BILGILI; KOÇAK; BULUT, 2016). Javid e Sharif (2016) testaram a CAK para o Paquistão, examinando o efeito do consumo de energia, renda per capita, desenvolvimento do sistema financeiro e abertura comercial na emissão de CO<sub>2</sub> entre 1971 e

2013. Os autores encontraram a existência da CAK no curto e longo prazo. O estudo sugere que as maiores contribuições para a emissão desse gás foi a renda, o desenvolvimento do sistema financeiro e consumo de energia (JAVID; SHARIF, 2016). Note que a comprovação da CAK é importante para formulação de políticas públicas, bem como a análise de outros fatores determinantes de degradação ambiental.

Outra área explorada pela literatura destaca o impacto do consumo energético sobre a degradação ambiental. O consumo de energia foi identificado como um dos maiores causadores de efeitos adversos no meio ambiente (WANG; SU, 2019). Odugbesan e Rjoub (2020) afirmaram que crescimento econômico juntamente com efeitos da urbanização aumentaram o consumo de energia, aumentando as emissões de dióxido de carbono. Os autores investigaram a relação entre crescimento e energia para o México, Indonésia, Nigéria e Turquia entre 1993 e 2017. Foi encontrado aumento de emissão de CO<sub>2</sub> quando houve um aumento de consumo de energia. Os resultados sugerem que estes países desenvolvam políticas de conservação de energia. Vale destacar que o dióxido de carbono emitido de fontes de combustível fóssil é considerado uma grande fonte de aquecimento global (MENSAH; SUN; GAO; OMARI-SASU *et al.*, 2019). Assim, alguns estudos avaliaram a relação entre crescimento econômico e emissão de CO<sub>2</sub> usando energias renováveis como estratégias para diminuir a degradação ambiental. Além das variáveis crescimento econômico e consumo de energia, diversas outras variáveis explicativas têm sido inseridas nos modelos para explicar a degradação ambiental.

Note que diversas variáveis têm sido utilizadas como *proxy* para degradação ambiental. Por exemplo, diversos estudos, usaram a emissão de CO<sub>2</sub> para representar a degradação ambiental (BAKHSH; ROSE; ALI; AHMAD *et al.*, 2017; BLANCO; GONZALEZ; RUIZ, 2013; MARTÍNEZ-ZARZOSO; MARUOTTI, 2011; NEAGU, 2019; SHAHZAD; FERRAZ; DOĞAN; APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO, 2020). Outros estudos têm utilizado a poluição do ar, SO<sub>2</sub> e outros emissores para analisar a degradação ambiental nos países (CUNHA-ZERI; OMETTO, 2021; GROSSMAN; KRUEGER, 1995b). Por fim, estudos mais recentes estão analisando o impacto do crescimento econômico na pegada ecológica<sup>6</sup> (AHMAD; JIANG; MAJEED; UMAR *et al.*, 2020; AHMED; ZHANG; CARY, 2021; ALVARADO; TILLAGUANGO; DAGAR; AHMAD *et al.*, 2021; DESTEK; SINHA, 2020).

---

<sup>6</sup> Do inglês: “Ecological footprint”.

Muitos pesquisadores têm testado o efeito de diferentes parâmetros para explicar a degradação ambiental como, por exemplo, a urbanização (CAN; DOGAN; SABOORI, 2020). Em relação ao impacto da urbanização na emissão de CO<sub>2</sub> Martínez-Zarzoso e Maruotti (2011) analisaram países em desenvolvimento no período de 1975 a 2003. Os países foram divididos em três grupos de acordo com a faixa de renda e foi analisado o nível de tecnologia ambientalmente prejudicial junto com a população e a urbanização. Os autores encontraram que, para alguns países, o efeito das emissões se torna negativo (MARTÍNEZ-ZARZOSO; MARUOTTI, 2011). Odugbesan e Rjoub (2020) analisaram a relação entre crescimento econômico, emissão de CO<sub>2</sub>, urbanização e consumo de energia para o México, Indonésia, Nigéria e Turquia. Os resultados empíricos mostram que há uma relação e que políticas de energia, econômica e ambiental deveriam ser feitas de formas mais efetivas para guiar a taxa de desenvolvimento da urbanização nesses países sem comprometer o crescimento econômico e diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> (ODUGBESAN; RJOUB, 2020).

Outros estudos têm analisado a relação entre degradação ambiental e o Investimento Estrangeiro Direto. Contudo, não há um consenso para esta relação, pois há evidências de que o recebimento de IED pode aumentar ou diminuir a emissão de poluentes (BAKHSH; ROSE; ALI; AHMAD *et al.*, 2017; BLANCO; GONZALEZ; RUIZ, 2013; HE; YAO, 2016; HUYNH; HOANG, 2018; JIANG, 2015; MERT; CAGLAR, 2020; SHAHBAZ; NASREEN; ABBAS; ANIS, 2015; ZENG; ZHOU, 2021). A hipótese conhecida como *Pollution Haven* argumenta que o recebimento de IED aumenta a emissão de CO<sub>2</sub> ou outros poluentes, pois atividades de produção intensiva, que são causadoras de poluição advindas de países desenvolvidos, são direcionadas para países com políticas ambientais mais fracas por meio do investimento estrangeiro, o que reduz o custo de adaptação às regulamentações vigentes (HE; YAO, 2016). Por outro lado, a hipótese conhecida como *Pollution Halo* indica que o recebimento de IED diminui a degradação ambiental, pois empresas de países desenvolvidos contribuem com a redução de emissões de poluentes, tendo em vista que a tecnologia utilizada durante o processo produtivo das multinacionais tende a ser mais verde (MERT; CAGLAR, 2020).

Por exemplo, Shahbaz *et al.* (2015) investigou a relação entre o IED e a degradação ambiental para 99 países de alta, média e baixa renda entre os anos de 1975 e 2012. Os resultados empíricos mostraram que para países de renda alta a hipótese do *Pollution Halo* é verdadeira. Isto porque investidores financeiros instalam práticas e tecnologias mais avançadas para um meio ambiente mais limpo. No entanto, os autores verificaram que para países de baixa e média renda, o IED contribui para a degradação ambiental, o que confirma a hipótese do

*Pollution Haven*. Neste caso, é interessante para estes países políticas ambientais apropriadas para controlar a poluição (SHAHBAZ; NASREEN; ABBAS; ANIS, 2015).

De acordo com Zeng e Zhou (2021), o recebimento de IED aumenta a emissão de poluentes por conta da insuficiência do desenvolvimento econômico regional e pela existência de brechas na introdução do capital externo. Assim sendo, o IED se direciona para indústrias de energia intensiva e alta poluição. Nasir, Huynh e Tram (2019) investigaram essa relação na Associação das Nações do Sudeste Asiático entre 1982 e 2014. Os resultados do modelo econométrico indicam que há um aumento da degradação ambiental com o crescimento econômico e aumento do IED, confirmando a hipótese do *Pollution Haven*. (NASIR; DUC HUYNH; XUAN TRAM, 2019)

Outros estudos analisaram o impacto do IED sobre a degradação ambiental para países isolados. Zeng e Zhou (2021) avaliaram o impacto do IED no crescimento econômico, inovação tecnológica e poluição ambiental para a China entre 2004 e 2016. Os autores encontraram que o IED tem impacto direto no aumento da descarga de efluentes, embora a análise sobre a emissão de SO<sub>2</sub> indique o efeito *Pollution Halo* (ZENG; ZHOU, 2021). Em contrapartida, Bakhsh *et al.* (2017) investigaram o efeito do IED sobre a poluição no Paquistão entre 1980 e 2014. Os autores encontraram que o IED está positivamente relacionado com a poluição e o que confirma a hipótese do *Pollution Haven* para o país. (BAKHSH; ROSE; ALI; AHMAD *et al.*, 2017)

Entretanto, poucos estudos na literatura internacional analisaram o efeito do IED sobre a emissão de CO<sub>2</sub> para a América Latina e do Caribe. É importante analisar esta região devido ao aumento das emissões de CO<sub>2</sub> e o crescente fluxo de IED nas últimas décadas na região (BLANCO; GONZALEZ; RUIZ, 2013). Blanco, Gonzalez e Ruiz (2013) encontraram que o fluxo de IED para indústrias intensivas em poluição contribuiu para aumentar a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina entre 1908 e 2007. Em um outro estudo, Albuлесcu *et al.* (2019) analisaram 14 países da América Latina entre 1980 e 2010 e encontraram evidências contra a hipótese do *Pollution Haven* (ALBULESCU; TIWARI; YOON; KANG, 2019). Para o Brasil, Polloni-Silva *et al.* (2021) avaliaram os impactos do crescimento econômico e IED na emissão de CO<sub>2</sub> para o estado de São Paulo. Para isso, foram usadas observações de 592 municípios. Os resultados encontrados revelam o impacto negativo nas emissões de CO<sub>2</sub>, o que indica presença de empresas estrangeiras com práticas verdes e alto nível de produtividade operando em São Paulo (POLLONI-SILVA; FERRAZ; CAMIOTO; REBELATTO *et al.*, 2021). Note que os estudos

sobre a América Latina ainda carecem de análise sobre a importância da estrutura produtiva da região em relação à degradação ambiental. Neste sentido, a próxima seção aborda a literatura internacional acerca da abordagem da complexidade econômica.

## 1.2 Complexidade Econômica e Sustentabilidade

Algumas linhas de pesquisa podem ser traçadas desde Adam Smith (1776), Karl Marx (1885) e Joseph Schumpeter (1911) para explicar as diferentes estratégias que as economias alcançam crescimento econômico e diversificação das suas estruturas produtivas. Por exemplo, o conceito de diversificação foi um assunto importante para Adam Smith (1776), que identificou a divisão do trabalho como força motora do desenvolvimento (HARTMANN, 2014). Antes de Adam Smith, economistas perceberam que resultados agregados na economia, como padrões de comércio, preços de mercado e quantidades de bens produzidos e consumidos, se formam a partir de comportamentos individuais e em retorno, comportamentos individuais reagem aos resultados. O que evidencia um ciclo econômico para o processo de desenvolvimento, o que torna a economia um sistema complexo (ARTHUR, 2021).

Sistemas complexos são estudados em outras áreas do conhecimento, principalmente nas Ciências Naturais. As leis da física possuem sistemas “complexos”, que não podem ser entendidos por meio de métodos tradicionais de modelagem (FOSTER, 2005). Na área de Ciências econômicas, a abordagem dos sistemas complexos tem sido estudada como uma área multidisciplinar. Em outros termos, para a complexidade econômica a economia não está necessariamente em equilíbrio, os agentes não são racionais e os problemas a serem enfrentados não estão bem definidos (ARTHUR, 2021).

De tal modo, trabalhos abordando a economia como um sistema complexo avançaram nas últimas décadas (FERRAZ; FALGUERA; MARIANO; HARTMANN, 2021). Além disso, duas contribuições foram importantes para esse avanço. Primeiro, o chamado princípio da semelhança em que duas atividades estão relacionadas quando é preciso conhecimento similar para o processo produtivo (HIDALGO; BALLAND; BOSCHMA; DELGADO *et al.*, 2018). Segundo Hidalgo (2021) a métrica da semelhança é capaz de prever quais atividades produtivas tem mais chance de serem desenvolvidas ou encontrarão maior restrição para o desenvolvimento em determinada região geográfica. A segunda contribuição do campo de

Complexidade Econômica decorre da apresentação de métricas para interpretação do conceito teórico. De acordo com Hidalgo e Hausmann (2009), usando o Método de Reflexões para dados de comércio internacional é possível representar quantitativamente o nível de conhecimento útil acumulado dentro da estrutura produtiva. Neste aspecto, os indicadores da complexidade econômica demonstram definições importantes acerca da disponibilidade de conhecimento, diversidade dos setores produtivos e sofisticação das ocupações para as economias analisadas.

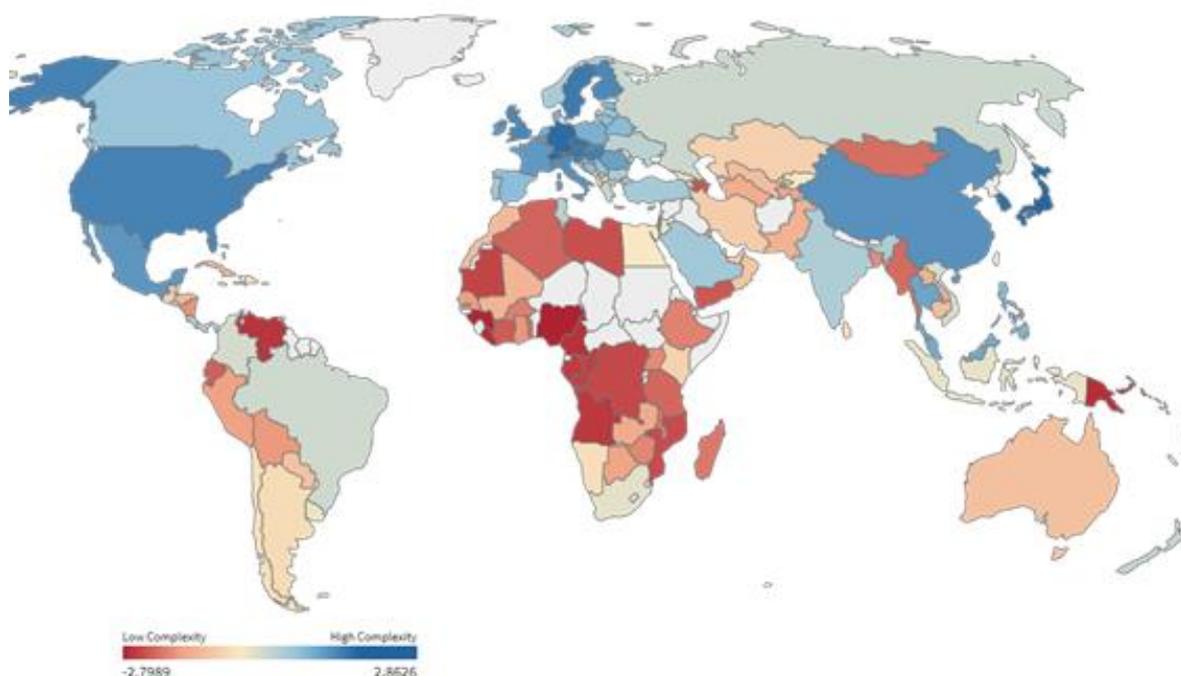
Pesquisas no princípio da semelhança avançaram na diversificação econômica ao explorar até que ponto as atividades econômicas são similares em termos de capacidade produtiva, mercado e instituições para produção e comércio internacional (FERRAZ; FALGUERA; MARIANO; HARTMANN, 2021). Para Hidalgo (2007), se dois bens são semelhantes, eles precisam de instituições, infraestrutura, fatores físicos, tecnologia similares para serem produzidos juntos. Para essa medida, foi o dado o nome de proximidade, em que a habilidade de um país produzir um produto depende da aptidão de produzir outro bem (HIDALGO; KLINGER; BARABASI; HAUSMANN, 2007). Além disso, economias mais diversas costumam produzir menos bens ubíquos, tornando o sistema produtivo mais complexo (ROMERO; GRAMKOW, 2021).

Segundo Hausmann *et al.* (2013), complexidade econômica é uma medida que demonstra o grau de interações da rede produtiva do país. Em outros termos, uma rede produtiva intrincada pode ser interpretada como uma sociedade que mobiliza conhecimento para bens sofisticados. Neste sentido, a complexidade econômica é expressa pela composição da produção de um país e reflete as estruturas para “segurar” e “combinar” esse conhecimento. São as maiores quantias de conhecimento produtivo que precisa de maiores redes complexas de interação humana (HAUSMANN; HIDALGO; BUSTOS; COSCIA *et al.*, 2013). Uma forma de analisar o crescimento decorre da melhora nos produtos exportados. Pesquisadores do *Centre of International Development* da Universidade Harvard mediram a complexidade de uma economia por meio do Índice de Complexidade Econômica (ICE). Este índice tem sido utilizado para analisar diversos fatores explicativos do processo de desenvolvimento econômico como, por exemplo, crescimento da economia, desenvolvimento humano, desigualdade de renda, educação, saúde, entre outros (FERRAZ; FALGUERA; MARIANO; HARTMANN, 2021; HAUSMANN; HIDALGO; BUSTOS; COSCIA *et al.*, 2013).

A Figura 4 ilustra o nível de complexidade econômica de cada país por meio do Índice de Complexidade Econômica. A cor azul mostra os países em estrutura produtiva mais

sofisticada, ou seja, com maior conhecimento útil disponível para produzir bens tecnologicamente intensivos, melhor infraestrutura, instituições e capital humano. Por outro lado, a cor vermelha indica os países com a pior estrutura produtiva no mundo. Isto revela que estes países não possuem capacidade de exportar produtos complexos, mas commodities agrícolas, mineirais ou pedras preciosas. Este tipo de estrutura produtiva revela ainda a infraestrutura inadequada, falta de conhecimento técnico dos profissionais e instituições pouco avançadas se comparadas aos demais países. Note que alguns países da América Latina possuem uma estrutura produtiva pouco sofisticada, que podem ser comparadas com países da África Subsaariana. Entretanto, há países com estrutura produtiva intermediária (coloração verde claro), o que demonstra possibilidades de desenvolvimento econômico para a região.

FIGURA 4 – NÍVEL DE COMPLEXIDADE ECONÔMICA DOS PAÍSES



Fonte: Adaptado do Atlas of Economic Complexity, 2021.

A literatura sobre complexidade econômica tem avançado em estudos sobre e sustentabilidade ambiental (FERRAZ; FALGUERA; MARIANO; HARTMANN, 2021). A definição de crescimento verde pelo Banco Mundial (2012, p.2) é “crescimento que é eficiente no uso de recursos naturais, limpo para minimizar poluição e impactos ambientais, e resiliente para que seja responsável por riscos naturais e no papel de gestão ambiental e capital natural

em prevenir desastres físicos.”<sup>7</sup>. Para HICKEL e KALLIS (2019), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) oferece definições claras e fortes para estratégias de políticas voltadas para o crescimento verde, pois afirma que o crescimento verde necessita desagregar totalmente o PIB do uso de recursos naturais e impactos ambientais.

A industrialização tem sido uma das fontes de crescimento desde a Revolução Industrial. No entanto, com a industrialização há uma grande expansão das cidades, o que aumenta a demanda por energia e indiretamente aumenta a emissão de carbono (WANG; SU, 2019). Assim, é importante otimizar a estrutura industrial e investir em tecnologia de energia limpa e energia de origens alternativas. Neste sentido a CAK foi encontrada para a relação entre complexidade econômica e emissão de carbono. Neagu (2019) investigou esta relação para os países da União Europeia entre os anos de 1995 e 2017 por meio de um modelo econométrico. A autora encontrou uma curva de U invertido, entre o Índice de Complexidade Econômica e emissão de CO<sub>2</sub>. A explicação teórica para esse fenômeno é que no primeiro estágio de desenvolvimento, o nível de emissão de carbono aumenta pelo uso de recursos em produtos mais complexos e sofisticados. No segundo estágio de desenvolvimento, com o aumento da utilização de recursos tecnológicos, aumento da eficiência produtiva e diversificação dos produtos exportados, o aumento de emissão de carbono decresce devido a possibilidade de menor utilização dos recursos naturais, utilização de fontes de energia limpas e produtos verdes. (NEAGU, 2019).

Além disso, um outro elemento direcionado ao crescimento é um *portfolio* de mercado diversificado, substituindo *commodities* com tendência de preço positiva por tendência de preço negativa, substituindo a produção doméstica de *commodities* de comida e matéria prima industrial por importações (ALI; ALWANG; SIEGEL, 1991). Pode ser feita por meio de expansão da cesta de exportação existente e aumentando o número de produtos na cesta de exportação. Como países em desenvolvimento possuem produtos limitados, é importante diversificar para poder ter um crescimento mais estável. Mudanças na cesta de exportação acontece em dois estágios, em que o primeiro sendo de diversificação e o segundo de concentração (CAN; DOGAN; SABOORI, 2020).

Segundo Shahzad *et al.* (2020), o Fundo Monetário Internacional (FMI) e o Banco Mundial recomendam que economias em desenvolvimento tenham estratégias de diversificação

---

<sup>7</sup> No original: growth that is efficient in its use of natural resources, clean in that it minimizes pollution and environmental impacts, and resilient in that it accounts for natural hazards and the role of environmental management and natural capital in preventing physical disasters.

das exportações para reduzir a dependência em exportações específicas e receitas estáveis. No entanto, os países em desenvolvimento devem buscar estratégias para acumular conhecimento necessário, a fim de conseguirem produzir bens tecnológicos com menor impacto no meio ambiente. Por exemplo, a produção de carros elétricos, sistemas elétricos inteligentes, placas fotovoltaicas, turbinas de energia solar e outros produtos necessitam de conhecimento adequado para a produção nos países em desenvolvimento. Por meio de uma estratégia focada neste tipo de produtos, a América Latina poderia conquistar um melhor estágio de desenvolvimento econômico causando menores degradações ambientais (SHAHZAD; FERRAZ; DOĞAN; APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO, 2020).

### **1.3 América Latina e Sustentabilidade**

A América Latina e Caribe é uma região composta por 33 países que possui ampla diversidade ambiental e recursos naturais abundantes. Além disso, contém uma das maiores reservas de terra rica em carbono, que é importante para o enfrentamento das mudanças climáticas (GRAESSER; AIDE; GRAU; RAMANKUTTY, 2015).

A ALC observou um processo de crescimento econômico nos anos 2000, o melhorou as condições sociais da população, mas trouxe problemas para as questões ambientais (CUNHA-ZERI; OMETTO, 2021). Por exemplo, os países em desenvolvimento que observaram melhora nas condições sociais passaram a consumir mais energia que causam impactos negativos no meio ambiente como poluição do ar e degradação florestal. Ademais, o foco no crescimento econômico é importante para os países em desenvolvimento, mas ocorre em detrimento às questões ambientais, tendo em vista que muitos formuladores de políticas públicas não consideram os desafios ambientais como prioridade na agenda política do país (HANIF, 2017).

De acordo com Dabene (1994), o impulso da modernização na América Latina teve origem externa pela grande demanda de matérias primas devido ao rápido crescimento das economias europeias e estadunidenses. Segundo o autor, na segunda metade do século XX, cada país se especializou em um produto e enfatizou três grupos de produtos – agrícolas (Argentina, Uruguai), agrícolas tropicais (Brasil, Colômbia, Equador, América Central e o Caribe) e minerais (México, Chile, Peru, Bolívia) (DABENE, 1994). No modelo antigo de

divisão internacional do trabalho, cabia à América Latina o papel de produzir alimentos e matérias-primas para os grandes centros industriais. Além de produtos agrícolas, a ALC é um importante fornecedor de energia e recursos minerais e contém 13% da produção de óleo além de possuir 10% das reservas mundiais (JIMÉNEZ; TROMBEN, 2006).

Neste sentido, os governos latino-americanos fecharam o mercado e tentaram diversificar a economia regional por meio de políticas industriais via substituição de importação. O resultado deste tipo de política foi positivo em alguns casos, mas também causou ineficácia nas trocas comerciais, aumento da dívida pública, inflação e colapso econômico nos países que não possuíam mercado interno suficiente para este processo (CEPAL, 2000).

Segundo Barbier e Bugas (2014), o uso da terra nessa região está ligado ao desenvolvimento econômico pois a economia da ALC ainda é dependente de produtos primários para exportações como matérias-primas agrícolas, combustível, metais, entre outros. Mesmo com esforços de diversificação, alguns principais produtos primários são importantes para compor a pauta de exportação dos países da América Latina (BARBIER; BUGAS, 2014).

A Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) desde a sua origem vem estudando a questão do desenvolvimento. A CEPAL é uma instituição chave por investigar o conceito do desenvolvimento econômico levando em consideração questões sociais e ambientais da região. A CEPAL tem buscado traduzir as perspectivas globais em acordos internacionais, a fim de colocar a América Latina em lugar de destaque no cenário internacional (GRAMKOW, 2019). O paradigma de desenvolvimento utilizado pela CEPAL é fundamentado na ideia da relação centro-periferia. Essa abordagem afirma que, na divisão internacional do trabalho a troca de produtos industrializados, produzidos pelos países avançados, e os produtos primários, fabricados por países periféricos, produz um desequilíbrio que favorece os países centrais ao longo do tempo (ESTENSSORO, 2003). É importante ressaltar que a América Latina é uma região muito desigual e, segundo o autor, quando utilizado linhas de pobreza baseado nas necessidades básicas, houve uma pequena melhoria percentual, mas um aumento quando observado em números absolutos. Note que esta é uma questão fundamental para o desenvolvimento econômico sustentável, pois abrange as metas dos ODS.

A ideia-força chamada de *Big Push* Ambiental é uma abordagem em construção em que os investimentos são o componente mais importante, em que “o investimento de hoje explica a estrutura produtiva de amanhã, incluindo sua sustentabilidade socioeconômica e ambiental.” (GRAMKOW, 2019, p. 14). O interesse é que esses investimentos “levem ao

desacoplamento entre, de um lado, crescimento econômico e geração de empregos, necessários para elevar padrões de vida da população e reduzir desigualdades e, de outro lado, emissões de GEE.” (GRAMKOW, 2019, p. 14).

A história do IED na América Latina é variada. Depois da Segunda Guerra Mundial a industrialização por substituição de importação mudou o IED para manufaturas para consumo doméstico. Assim, a economia doméstica se tornou mais isolada de competidores estrangeiros (TREVINO; THOMAS; CULLEN, 2008). Brasil e México dominam o fluxo de IED da ALC que cresceu bastante desde 1998 (MAZOUZ; WOOD; YIN; ZHANG, 2021). É importante considerar que em 2019 foi firmado o acordo Mercosul-União Europeia para a criação de uma área de livre comércio. Com isso um dos principais impactos positivos esperados é o incremento de investimento estrangeiro direto. (SARTI; CASTILHO, 2021).

## CAPÍTULO 2 – ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a base de dados e o método utilizado nesta monografia. A região analisada foi a América Latina e o Caribe, em que foram considerados 19 países. Estes países são: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Equador, Guatemala, Venezuela, Honduras, México, Nicarágua, Peru, Paraguai, Panamá, República Dominicana e Uruguai. Os países foram selecionados devido à disponibilidade de dados para o modelo econométrico. Ademais, os dados para emissão de CO<sub>2</sub> estão disponíveis até o ano de 2016 na base do Banco Mundial. As informações acerca do Índice de Complexidade Econômica estão disponíveis a partir de 1995. Por este motivo, este estudo analisa os dados entre 1995 e 2016, sendo que a frequência dos dados é anual.

### 2.1 Variáveis utilizadas

As variáveis que foram selecionadas para este trabalho foram coletadas na base de dados do Banco Mundial (2021) e do Atlas de Complexidade Econômica (2021) e estão descritas na Tabela 1.

TABELA 1 – VARIÁVEIS ANALISADAS

Variáveis	Descrição	Fonte dos dados
Emissão de CO <sub>2</sub>	Emissão causada por queima de energia fóssil	Banco Mundial (2021)
Uso de energia	Uso de energia total	Banco Mundial (2021)
Consumo de energia fóssil	Consumo total de energia fóssil	Banco Mundial (2021)
PIB	Produtos e serviços da economia do país	Banco Mundial (2021)
Urbanização	Número de habitantes em cidades	Banco Mundial (2021)
Índice de complexidade econômica	Média ponderada dos produtos em que a localidade possui vantagem comparativa revelada	Atlas de complexidade econômica (2021)

Variáveis	Descrição	Fonte dos dados
Investimento estrangeiro direto	Fluxo de capital de investimento direto. Soma de capital próprio, reinvestimento de ganhos e outros capitais	Banco Mundial (2021)

Fonte: Elaborado pela autora.

Como o objetivo deste trabalho foi analisar a relação entre sofisticação produtiva e degradação ambiental, foi utilizado emissão de CO<sub>2</sub> como *proxy* para degradação ambiental da variável dependente. O ICE foi utilizado como *proxy* para a sofisticação produtiva dos países. Note que essas variáveis são amplamente usadas na literatura para analisar essa relação (CAN; GOZGOR, 2017; CHU, 2020; DOĞAN; DRIHA; BALSALOBRE LORENTE; SHAHZAD, 2020; DOGAN; SABOORI; CAN, 2019; NEAGU, 2019; NEAGU; TEODORU, 2019; ROMERO; GRAMKOW, 2021). Além disso, outras variáveis foram utilizadas como controle no modelo econométrico, a saber, consumo de energia, consumo de energia fóssil, PIB, urbanização e IED.

## 2.2 Dados em painel

O arcabouço teórico que embasam essa metodologia é Gujarati e Porter (2011) e Wooldridge (2018). Para este trabalho foi utilizado um conjunto de dados em painel, a fim de avaliar uma mesma unidade ao longo do tempo em corte transversal (GUJARATI; PORTER, 2011). Dados em painel são vantajosos porque oferecem maior variabilidade dos dados analisados, menor colinearidade entre as variáveis, mais eficiência e maiores graus de liberdade para a análise estatística. Como existem número diferentes de observações para cada unidade, esta monografia empregou um modelo em painel desbalanceado.

## 2.3 Modelo de regressão Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para dados empilhados

O modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para dados empilhados ocorre quando os dados são empilhados, desprezando a natureza de corte transversal e de séries

temporais. Os coeficientes de regressão são dados como os mesmos para todas as variáveis. O grande problema deste modelo é camuflar a heterogeneidade que possa existir nos dados. Em consequência, uma possibilidade é que o termo de erro esteja correlacionado com alguns regressores incluídos no modelo. Caso isso aconteça, os coeficientes estimados podem ser tendenciosos e inconsistentes, violando uma importante hipótese do modelo clássico de regressão linear gerando estimativas de MQO tendenciosas e inconsistentes (GUJARATI; PORTER, 2011). Desta forma, esta monografia utiliza um modelo de regressão por MQO para dados empilhados, apenas como ponto de partida para mensurar o fenômeno analisado, verificar o grau de explicabilidade do modelo proposto e averiguar a existência de multicolinearidade.

#### 2.4 Modelo de mínimos quadrados com variáveis *dummy* para efeitos fixos (MQDV)

Segundo Gujarati e Porter (2011), o modelo MQDV conta com a heterogeneidade entre indivíduos e permite que cada um tenha seu próprio intercepto. O termo “efeito fixo” mostra que o intercepto de cada indivíduo não varia com o tempo. Como no exemplo:

$$Y_{it} = \beta_1 + \beta_2 X_{it} + \beta_3 W_{it} + \beta_4 Z_{it} + u_{it}$$

Para que o intercepto (com efeito fixo) varie entre as unidades analisadas, usa-se a técnica das variáveis *dummies* de intercepto diferencial. Note que para não cair na armadilha da variável *dummy* foram introduzidos cinco *dummies* para seis variáveis. Reescrevendo a equação:

$$Y_{it} = \alpha_1 + \alpha_1 D_{2i} + \alpha_3 D_{3i} + \alpha_4 D_{4i} + \alpha_5 D_{5i} + \alpha_6 D_{6i} + \beta_2 X_{it} + \beta_3 W_{it} + \beta_4 Z_{it} + u_{it}$$

Este modelo conhecido como fixos unidirecionais permite que os interceptos difiram entre as variáveis. É possível permitir o efeito tempo, caso seja observado que uma variável se altere com o tempo. Para isto, é possível introduzir variáveis *dummies* de tempo para cada ano. Assim sendo, tem-se um modelo de efeitos fixos bidirecionais. Porém, ao adicionar variáveis *dummies*, consome-se vários graus de liberdade.

É importante ressaltar alguns problemas em utilizar esse modelo. Muitas variáveis *dummies* consomem muitos graus de liberdade, o que compromete uma análise estatística significativa. Além disso, há a possibilidade de multicolinearidade. Um outro problema possível, é o modelo MQVD não ser capaz de identificar o impacto das variáveis que não

mudam ao longo do tempo. E por fim, deve-se pensar cuidadosamente no termo de erro  $u_{it}$ , pois supõe-se que segue as hipóteses clássicas  $u_{it} \sim iid(0, \sigma^2_u)$ .

## 2.5 Modelo de efeitos fixos dentro de um grupo (DG)

Uma outra forma de estimar uma regressão para dados empilhados é eliminando o efeito fixo,  $\beta_{1i}$ . expressa-se os valores das variáveis dependente e explanatória para cada variável independente como desvio dos seus respectivos valores médios. Obtêm-se os valores resultantes corrigidos para média. Como exemplo,  $y_{it}$ ,  $x_{it}$ ,  $w_{it}$  e  $z_{it}$  são valores corrigidos para a média. A partir disso efetua-se a regressão:

$$y_{it} = \beta_2 x_{it} + \beta_3 w_{it} + \beta_4 z_{it} + u_{it}$$

Esta equação leva em conta a heterogeneidade entre as variáveis, eliminando-o por diferenciações das observações amostrais em torno de suas médias amostrais. Este estimador produz estimativas consistentes dos coeficientes angulares, mas ineficientes (variâncias maiores), quando comparados com resultados de regressão com dados empilhados ordinários.

Algumas desvantagens do estimador DG são que as variáveis que são invariantes no tempo serão eliminadas por causa da diferenciação. Entretanto, com isso evita-se a correlação entre o termo de erro e as variáveis explanatórias. Uma outra desvantagem é que ele pode distorcer os valores de parâmetro e eliminar efeitos a longo prazo. Quando se diferencia uma variável, o componente daquela variável a longo prazo é removido e permanece o valor da variável a curto prazo (GUJARATI; PORTER, 2011).

## 2.6 O modelo de efeitos aleatórios (MEA)

Segundo Gujarati e Porter (2011), na abordagem de efeitos aleatórios a falta de conhecimento sobre o verdadeiro modelo é expressa por meio do termo de erro. Usando como exemplo:

$$Y_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 X_{it} + \beta_3 W_{it} + \beta_4 Z_{it} + u_{it}$$

Ao invés de tratar  $\beta_{1i}$  como fixo, pressupõe que seja uma variável aleatória com valor médio de  $\beta_1$ . O valor do intercepto pode ser expresso como:

$$\beta_{1i} = \beta_1 + \varepsilon_i$$

Em que  $\varepsilon_i$  é um termo de erro com um valor médio nulo e variância  $\sigma_\varepsilon^2$ . Tem-se então que:

$$Y_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 X_{it} + \beta_3 W_{it} + \beta_4 Z_{it} + \varepsilon_i + u_{it}$$

=

$$Y_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 X_{it} + \beta_3 W_{it} + \beta_4 Z_{it} + w_{it}$$

em que

$$w_{it} = \varepsilon_i + u_{it}$$

O termo de erro composto  $w_{it}$  é constituído por  $\varepsilon_i$ , que é o componente de corte transversal ou específico dos indivíduos, e  $u_{it}$ , que é o elemento de erro combinado da série temporal e corte transversal e às vezes chamado de termo idiossincrático, porque varia com o corte transversal e com o tempo. O modelo também chamado de modelo de componentes dos erros (MCE) pois o termo de erro composto consiste em dois (ou mais) erros.

As hipóteses habituais são:

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

$$u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$$

$$E(\varepsilon_i u_{it}) = 0; \quad E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0 \quad (i \neq j)$$

$$E(u_{it} u_{is}) = E(u_{ij} u_{ij}) = E(u_{it} u_{js}) = 0 \quad (i \neq j; t \neq s)$$

Ou seja, os componentes de erro individual não estão correlacionados com as unidades de corte transversal e de série temporal e nem entre si. Note que  $w_{it}$  não está correlacionado com qualquer uma das variáveis explanatórias no modelo. Como  $\varepsilon_i$  é um componente de  $w_{it}$ , não é possível que esteja correlacionado com as variáveis explanatórias. Caso aconteça, haverá uma estimativa inconsistente dos coeficientes de regressão. O teste de Hausman é uma forma de descobrir se  $w_{it}$  está correlacionado com as variáveis explanatórias indicando que o MCE é o modelo adequado.

A escolha entre modelo de efeitos fixos e modelo de componente de erros depende do pressuposto sobre a correlação provável entre o componente de erro  $\varepsilon_i$  específico ao corte transversal ou individual e os regressores  $X$ . Algumas observações a serem feitas para escolher o modelo de efeitos fixos são se o número de dados das séries temporais,  $T$ , for grande e o número de unidades de corte transversal,  $N$ , for pequeno, quando  $N$  é grande e  $T$  pequeno e as unidades individuais de corte transversal da amostra não são extrações aleatórias de uma amostra maior e se o componente de erros individual  $\varepsilon_i$  e um ou mais regressores são correlacionados.

Para a escolha do modelo de componentes dos erros deve-se observar se  $N$  for grande e  $T$  pequeno e as premissas subjacentes ao MCE. Uma diferença entre os dois modelos é que o MCE pode estimar coeficientes das variáveis que não mudam ao longo do tempo, como gênero e raça. No entanto, o modelo de efeitos fixos pode controlar todas as variáveis que não mudam ao longo do tempo.

## 2.7 Teste de Hausman

Segundo Wooldridge (2018) é comum aplicar efeitos aleatórios e efeitos ajustados e depois fazer testes formais das diferenças estatisticamente significantes nos coeficientes das variáveis explicativas com variação temporal. Este teste foi primeiro proposto por Hausman (1978).

De acordo com Gujarati e Porter (2011) a hipótese nula é que os estimadores de efeito fixo e do modelo de componente dos erros não diferem de forma considerável. Este teste possui uma distribuição assintótica  $\chi^2$ . Quando a hipótese nula é rejeitada, o MCE não é adequado pois os efeitos aleatórios provavelmente estão correlacionados com um ou mais regressores. Assim, o modelo de efeitos fixos é preferível.

Considerando que se torna um modelo de efeitos aleatórios quando o efeito não observado  $a_i$  é não correlacionado com a variável explicativa:

$$H_0: \text{cov}(x_{itj}, a_i) = 0, \text{ (uso do modelo de efeitos aleatórios)}$$

$$H_1: \text{cov}(c_i, X'_{it}) \neq 0, \text{ (uso do modelo de efeitos fixos)}$$

Além do teste Hausman, usa-se o teste de Breusch-Pagan (BP) para verificar a hipótese de que não há efeitos aleatórios. Testando a hipótese nula de que  $\sigma_u^2 = 0$ , sob a hipótese nula, o BP segue uma distribuição de qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

## 2.8 Problemas econométricos

Alguns fatores devem ser levados em consideração para determinar a qualidade do modelo econométrico. A Hipótese 8 do modelo clássico de regressão linear (MCRL) expressa que não há multicolinearidade entre os regressores. Isso acontece pois se a multicolinearidade for perfeita os coeficientes de regressão das variáveis  $X$  serão indeterminados e seus erros padrão, infinitos. Se for menos que perfeita os coeficientes de regressão possuirão grandes erros padrão, ou seja, os coeficientes não podem ser estimados com grande precisão ou exatidão.

Portanto, deve-se considerar alguns aspectos que levam à multicolinearidade como o método de coleta de dados, restrições ao modelo ou à população amostrada, especificação do modelo, um modelo sobredeterminado ou regressores que tenham uma tendência comum (GUJARATI; PORTER, 2011). Algumas consequências de quase ou alta multicolinearidade são estimadores de MQO com grandes variâncias e covariâncias, o que leva a intervalos de confiança mais amplos e a razão  $t$  de um ou mais coeficientes tenderem a ser estatisticamente insignificante. No entanto, o  $R^2$  pode ser muito alto.

Para detectar a velocidade com a qual as variâncias e covariâncias aumentam pode-se usar o Fator de Inflação da Variância (FIV). O FIV mostra com a variância é inflada pela presença de multicolinearidade. Quando a colinearidade aumenta, a variância aumenta. No limite, pode ser infinita. O FIV é definido como:

$$FIV = \frac{1}{(1 - r_{23}^2)}$$

Além disso, é importante considerar a Hipótese 4 do MCRL que enuncia que os termos de erro  $u_i$  que aparecem na função de regressão populacional são homocedásticos, o que significa que todos possuem a mesma variância. Quando isso não acontece, há heterocedasticidade no modelo. Simbolicamente:

$$E(u_i^2) = \sigma_i^2$$

Essas variâncias de  $u_i$  podem ocorrer devido à *outliers* e à violação da Hipótese 9 que diz que se o modelo de regressão está ser especificado com mais detalhe, não há viés de especificidade e alguma variável importante é omitida. Outro motivo de heterocedasticidade é a assimetria de um ou mais regressores. Como também, da transformação incorreta de dados e da forma funcional incorreta.

Para analisar a heterocedasticidade será usado o teste de Breusch-Pagan-Godfrey. Para realizar esse teste calcula-se a equação por MQO e obtém-se os resíduos  $\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_n$ . A partir de então obtém-se o estimador de máxima verossimilhança.

Segundo Gujarati e Porter (2011), no caso de autocorrelação são encontradas duas situações em que os estimadores não apresentam variância mínima entre todos os estimadores não tendenciosos, ou seja, não são eficientes em relação a outros estimadores lineares e não tendenciosos. Como consequência, os testes  $t$ ,  $F$  e  $\chi^2$  podem não ser válidos. A autocorrelação é a correlação entre elementos de séries de observações ordenadas no tempo ou no espaço. O MCRL pressupõe que essa autocorrelação não existe nos termos de  $u_i$ , ou seja, que o termo de erro relacionado a qualquer uma das observações não é influenciado pelo termo de qualquer outra observação. Simbolicamente:

$$cov(u_i, u_j | x_i, x_j) = E(u_i u_j) = 0 \quad i \neq j$$

## 2.9 Análise econométrica

O modelo geral é:

$$\ln(CO_2)_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{complexidade})_{it} + \beta_2 \ln(PIB)_{it} + \beta_3 \ln(\text{fóssil})_{it} + \beta_4 \ln(IED)_{it} \\ + \beta_5 \ln(\text{energia})_{it} + \beta_6 (\text{urbanização})_{it} + u_{it}$$

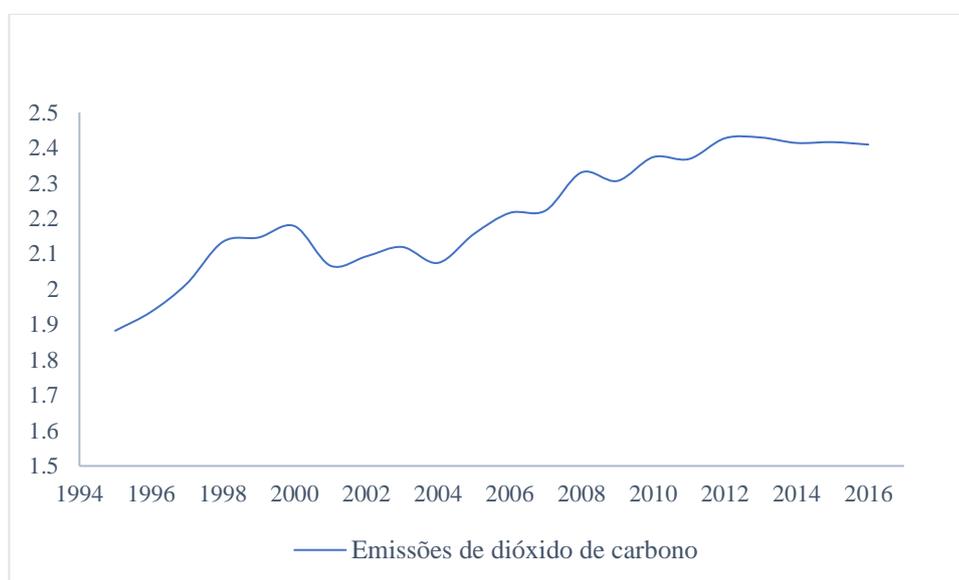
Por haver uma não linearidade e para eliminar qualquer viés do modelo e suavizar a variância das variáveis, foi aplicado um modelo log-log. (WOOLDRIGE, 2018).  $CO_2$  é a emissão de gás carbônico em toneladas métricas per capita e é a variável dependente do modelo.  $\beta_0$  é o intercepto do modelo. As variáveis independentes estão descritas a seguir. *Complexidade*, que é o índice de complexidade econômica calculado com dados de comércio das Nações Unidas baseado na cesta de exportação. *PIB*, que é o Produto Interno Bruto per capita de cada país em dólares correntes. *Fóssil*, que é o consumo de energia fóssil (% do total).

*IED*, que é o fluxo de capital de investimento direto na economia líquido em dólares correntes. *Energia*, que é o quilograma de óleo equivalente ao uso de energia pelo PIB baseado na paridade de poder de compra. *Urbanização*, que é o total da população morando em área urbana.

### CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão analisados os resultados encontrados a partir da base de dados utilizada nesta monografia. Inicialmente, a evolução média das variáveis de interesse foi analisada para a América Latina. A Figura 5 mostra que a emissão de CO<sub>2</sub> cresceu ligeiramente durante os anos analisados. Por exemplo, em 1995 a América Latina emitiu 1,88 toneladas métricas per capita de CO<sub>2</sub> enquanto a emissão foi de 2,41 toneladas métricas per capita em 2016. Isto representa um crescimento de 28,19% em relação ao período inicial da nossa amostra.

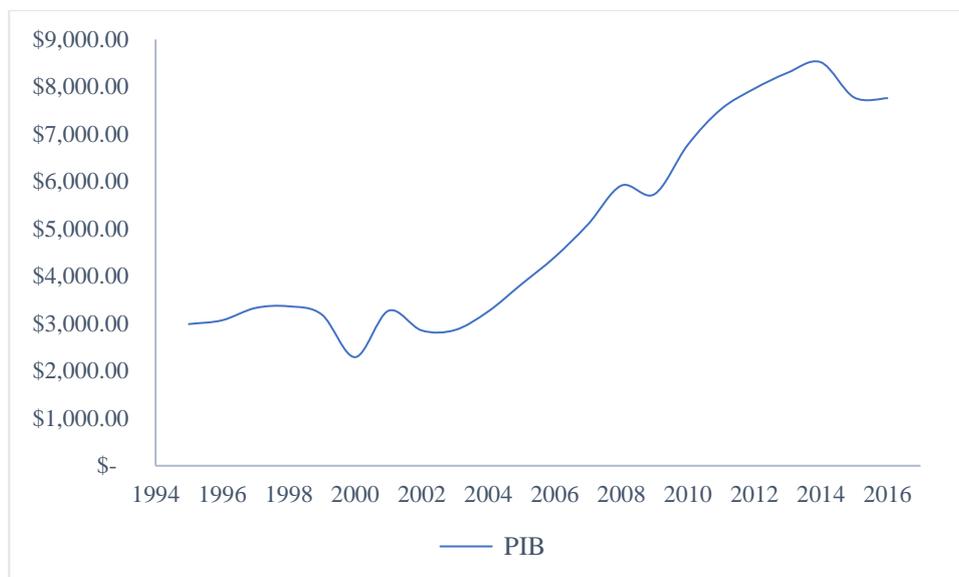
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO PARA A AMÉRICA LATINA ENTRE 1995 E 2016



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2021.

A Figura 6 ilustra a evolução do crescimento econômico da região durante os anos analisados. Note que a região passou por um *boom* de crescimento econômico entre 1995 e 2016. Isto demonstra os avanços que a região tem conquistado em termos de geração de riqueza, pois o PIB regional que era de \$ 2992 bilhões de dólares em 1995 passou para \$ 7761 bilhões de dólares em 2016. Isto representa um crescimento de 159,39% durante o período analisado.

FIGURA 6 - EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO ECONÔMICO PARA A AMÉRICA LATINA ENTRE 1995 E 2016



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2021.

Entretanto, a Figura 7 revela que o Investimento Estrangeiro Direto tem oscilado ao longo dos anos. Por exemplo, houve um pico de \$ 23 bilhões de dólares recebidos pela região em 1999. Por outro lado, em 2004, a América Latina teve o período com menor recebimento de IED. Para os anos subsequentes, houve avanço no recebimento de investimento externos, embora a oscilação tenha continuado. Os maiores decréscimos de investimento estrangeiro ocorreram em um cenário em que o PIB da América Latina também diminuiu como, por exemplo, durante os anos de 1999, 2008 e 2014. Note que o decréscimo da atividade produtiva deve ter desestimulado o investimento nos países da região.

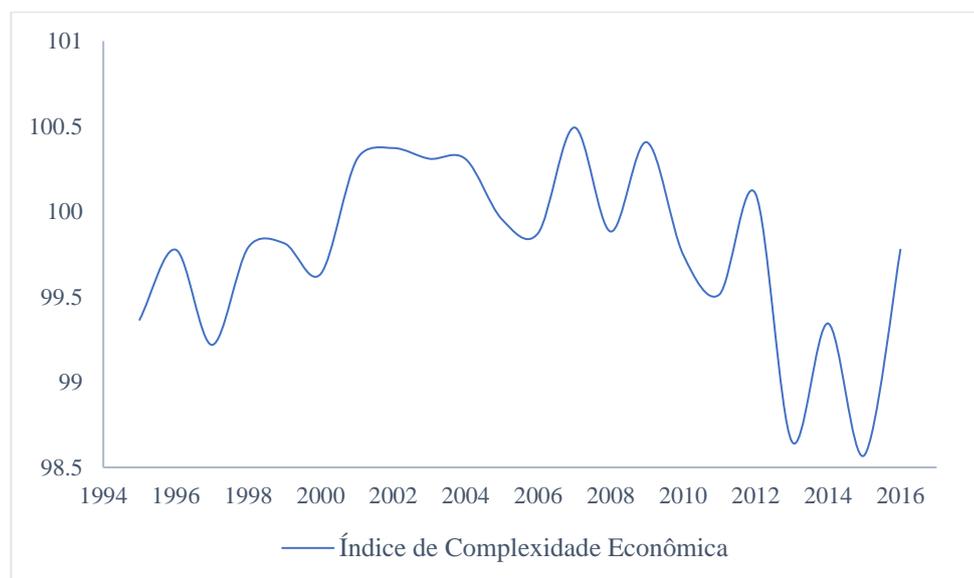
FIGURA 7 - EVOLUÇÃO DO INVESTIMENTO ESTRANGEIRO DIRETO (IED) PARA AMÉRICA LATINA ENTRE 1995 ATÉ 2016



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2021.

Note que a Figura 8 ilustra a evolução da estrutura produtiva da América Latina por meio do Índice de Complexidade Econômica. Vale destacar que, embora a região tenha apresentado um *boom* no crescimento econômico via PIB, a sofisticação da estrutura produtiva da região não conseguiu acompanhar o crescimento econômico. Em outros termos, o crescimento do PIB foi engendrado por produtos de baixa complexidade, tendo em vista que o ICE alcançou os menores níveis de sofisticação entre os anos de 2010 e 2015. Este é um resultado relevante, pois demonstra que a região não tem conseguido diversificar a matriz produtiva por meio de produtos mais complexos. Isto coloca em evidência a vulnerabilidade latino-americana em relação a pauta de exportações, com foco em *commodities* de baixo valor agregado e alta oscilação via preços internacionais.

FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE COMPLEXIDADE ECONÔMICA (ICE) PARA A AMÉRICA LATINA ENTRE 1995 ATÉ 2016



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Banco Mundial, 2021.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva por meio do valor médio, máximo, mínimo e o desvio padrão de cada variável do modelo econométrico. É importante ressaltar que foi aplicado a transformação logarítmica dos dados. Apenas a variável urbanização não sofreu transformação, pois está apresentada na forma de taxa percentual. Note que a média da emissão de CO<sub>2</sub> foi de 0,599 toneladas métricas per capita com desvio-padrão de 0,613. O ICE variou entre os países da região, demonstrando que a estrutura produtiva da América Latina é heterogênea. A média do ICE foi de 4,799 com desvio-padrão de 0,93, mas o valor mínimo foi de 4,595 e o máximo de 9,549. O consumo de energia teve uma média de 6,78 e desvio-padrão de 0,45. O consumo médio de combustível fóssil foi de 66,9%, indicando que a maior parte da

energia é adquirido de fontes que emitem gases causadores do efeito estufa, e desvio-padrão de 0,185. No entanto, o valor máximo foi de 0,911 e o valor mínimo foi de 0,282. O PIB obteve uma média de 8,314 e o desvio-padrão foi 0,747, indicando um nível de crescimento econômico heterogêneo na região. Para a urbanização, uma média de 90,2% da população vive em áreas urbanas com um desvio-padrão de 0,0112, mostrando que grande parte da ALC vive nas cidades. Por fim, o IED teve uma média de 22,63 e desvio-padrão de 0,649.

TABELA 2 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Variável	Observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Emissão de CO <sub>2</sub>	418	0,599	0,613	-0,515	2,041
ICE	434	4,799	0,93	4,595	9,549
Energia	381	6,787	0,45	6,052	7,842
Combustível fós	381	0,669	0,185	0,282	0,911
PIB	452	8,314	0,747	6,781	9,76
Urbanização	456	0,902	0,0112	0,882	0,919
IED	456	22,63	0,649	21,23	23,9

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados apresentados na estatística descritiva, uma matriz de correlação foi analisada, a fim de verificar como as variáveis se relacionam. A Tabela 3 apresenta a correlação entre as variáveis analisadas, sendo que a correlação entre a emissão de CO<sub>2</sub> e o consumo de energia foi de 89,14% com significância estatística de 1%. Além disso, PIB demonstrou correlação positiva, estatisticamente significativa com a emissão de CO<sub>2</sub> com valor igual a 70,73%. Outro resultado interessante foi que o Investimento Externo Direto não obteve significância estatística para a correlação da emissão de CO<sub>2</sub>, embora a correlação tenha apresentado sinal positivo (0,0359). Ademais, pela matriz de correlação, verificou-se que a complexidade econômica está positivamente correlacionada com as emissões de CO<sub>2</sub> na América Latina (0,2883) e possui significância estatística de 1%. Este é um resultado interessante que precisa ser melhor investigado pelo modelo econométrico, mas que contradiz estudos anteriores na literatura internacional (CHU, 2020; DOGAN; SABOORI; CAN, 2019; ROMERO; GRAMKOW, 2021; SHAHZAD; FAREED; SHAHZAD; SHAHZAD, 2021). Note ainda que a utilização de combustíveis fósseis (0,7952) e a urbanização (0,7952) apresentaram correlação positiva e estatisticamente significativa em relação à emissão de CO<sub>2</sub> para a América Latina.

TABELA 3 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO

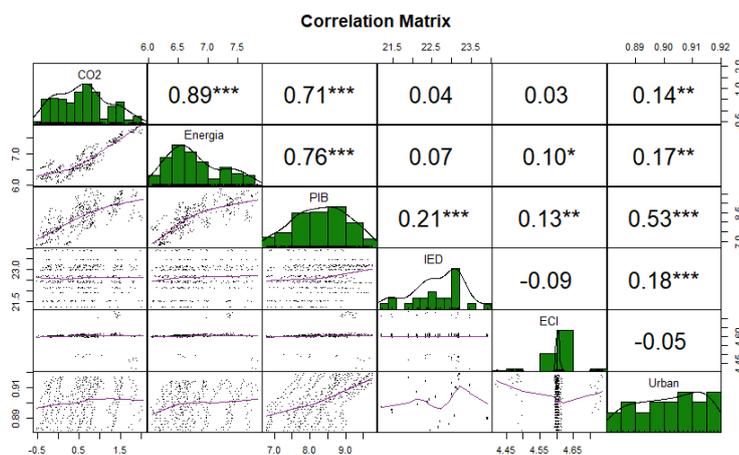
Variáveis	Emissão de CO <sub>2</sub>	Energia	PIB	IED	ICE	Combustível fóssil	Urbanização
Emissão de CO <sub>2</sub>	1						
Energia	0.8914*	1					
PIB	0.7073*	0.7602*	1				
IED	0.0359	0.0689	0.2113*	1			
ICE	0.2883*	0.2740*	0.2300*	-0.0225	1		
Combustível fóssil	0.7952*	0.4692*	0.3941*	0.0141	0.2585*	1	
Urbanização	0.1437*	0.1653*	0.5253*	0.1842*	0.103	0.0487	1

Estatisticamente significativo: (\*\*\*) ao nível de 1%; (\*\*) ao nível de 5%; (\*) ao nível de 10%

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 9 ilustra a matriz de correlação para os dados analisados. Note que a variável consumo de energia foi a que mais impactou a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Este resultado é consistente com estudos prévios para outras regiões (GOZGOR; CAN, 2016; HANIF, 2017; NEAGU; TEODORU, 2019; ODUGBESAN; RJOUB, 2020). Ademais, o PIB foi a segunda variável que mais contribuiu para a emissão de CO<sub>2</sub>, o que evidencia o impacto que o crescimento econômico possui na degradação ambiental.

FIGURA 9 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA A AMÉRICA LATINA ENTRE 1995 E 2016



Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, esta monografia avaliou a existência de multicolinearidade entre os dados analisados o Fator de Inflação da Variância apresentou valor médio igual a 1,93, conforme apresentado na Tabela 4. Este resultado indica que não há multicolinearidade no modelo econométrico proposto (WOOLDRIGE, 2018). Note que há uma leve correção entre as variáveis PIB (3,72) e energia (2,93), mas ainda assim não há preocupação com multicolinearidade no modelo econométrico.

TABELA 4 - FATOR DE INFLAÇÃO DE VARIÂNCIA

Variáveis	FIV	1/FIV
PIB	3,72	0,268543
Energia	2,93	0,341825
Urbanização	1,52	0,660036
Combustível fóssil	1,30	0,769299
IED	1,08	0,927356
ICE	1,05	0,955479
Média FIV	1,93	

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 5 traz os resultados do Teste de Breusch-Pagan para avaliar se o modelo deve ser tratado como *pooled* ou dados em painel. Note que o resultado do teste indicou a rejeição da hipótese nula, o que implica que os dados deve ser tratados como painel (GUJARATI; PORTER, 2011).

TABELA 5 - TESTE DE BREUSCH-PAGAN

	Variância	Desvio padrão
Emissão de CO <sub>2</sub>	0,3813885	0,6175666
e	0,0043455	0,0659204
u	0,0027122	0,0520786
$\chi^2 (01) = 696,81$		
Prob > $\chi^2 = 0,0000$		

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 6 mostra os resultados para o Teste de Hausman. Este teste foi utilizado para decidir entre a utilização de um modelo em painel com Efeito Fixo (FE) ou Efeito Aleatório (RE). O teste foi estatisticamente significativo ao nível de 1%, o que indica a rejeição da

hipótese nula. Neste sentido, o Teste de Hausman indica que o modelo de Efeito Fixo é preferível ao modelo de Efeito Aleatório para o fenômeno analisado.

TABELA 6 - TESTE DE HAUSMAN

	Coeficientes			Raiz quadrada
	(b) fixo	(B)	(b-B)	
Energia	0,885861	0,8935754	-0,0077144	0,0310468
PIB	0,0243306	0,0300429	-0,0057123	0,0075917
IED	-0,0042547	-0,0057999	0,0015452	0,0011019
ICE	0,4246477	0,3430934	0,0815543	0,0239032
Combustível fóssil	1,40827	1,533665	-0,1253949	0,0782789
Urbanização	-0,3317466	-0,6929075	0,361161	0,3785423

$\chi^2 (6) = 45,73$   
 Prob >  $\chi^2 = 0,0000$

Fonte: Elaborado pela autora.

Para validar as estimações, considera-se o pressuposto da homogeneidade e da ausência de autocorrelação nos resíduos. A fim de investigar estes pressupostos, esta monografia utilizou o teste de Wald, em que a hipótese nula garante a homoscedasticidade no modelo. O resultado do teste de Wald foi  $\chi^2 (19) = 6783,26$  Prob > 0 com significância estatística ao nível de 1%. Desta forma, conclui-se que a hipótese nula deve ser rejeitada e, por este motivo, o modelo possui heterocedasticidade. Além disso, o teste de Wooldrige foi utilizado para detectar a existência de autocorrelação serial. A hipótese nula deste teste pressupõe que não há autocorrelação no modelo. O resultado deste modelo foi  $(F(1,18) = 60,918)$ , apresentando significância estatística ao nível de 1%. Por este motivo, a hipótese nula foi rejeitada, o que demonstra a existência autocorrelação nos resíduos para o fenômeno investigado por esta monografia.

Tendo em vista os problemas econométricos encontrados para a análise, este trabalho utilizou uma técnica econométrica mais avançada. O modelo econométrico utilizado foi o *Regression with Driscoll-Kraay standard errors* (FE-DK), que produz erros padrão por meio da técnica Driscoll e Kraay (1998) para coeficientes estimados por OLS ou efeitos fixos (DRISCOLL; KRAAY, 1998). A estrutura do erro é assumida como heterocedástica, autocorrelacionada até alguma defasagem e possivelmente correlacionada entre os grupos

(painéis). Esses erros padrão são robustos para formas de dependência transversal (espacial) e temporal.

A Tabela 7 traz os resultados das estimativas econométricas com os determinantes da emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina entre 1995 e 2016. O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) do modelo MQO foi 0,978, o que indica que as variáveis independentes explicam 97% da variância da variável dependente do modelo. Ademais, o modelo foi estatisticamente significativo ao nível de 1%. Na coluna 1 são apresentados os resultados obtidos pela estimação por MQO. Note que energia, PIB e combustível fóssil foram estatisticamente significativos ao nível de 1%. A variação de 1% na variável energia aumenta em 0,85% a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Quando observado para o PIB, uma variação de 1% aumenta em 0,06% a emissão de dióxido de carbono, e para o combustível fóssil, uma variação de 1% aumenta as emissões em 1,58%. Além disso, urbanização afeta negativamente (-1,48%) as emissões de dióxido de carbono, com nível de significância de 5%.

Um resultado interessante no modelo MQO foi que o IED não apresentou significância estatística em relação à emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Isto indica que a entrada de investimentos externos diretos não foi relevante para explicar a emissão de CO<sub>2</sub> na região, o que pode ter decorrido de períodos com altos e baixos investimentos que não acompanharam a evolução da emissão de gases na América Latina. Este resultado será melhor investigado pelo modelo FE-DK apresentado mais à frente.

Outro resultado interessante no modelo de MQO foi que a complexidade econômica possui significância estatística de 10% em relação à emissão de CO<sub>2</sub>. Note que o ICE apresentou impacto negativo na emissão de CO<sub>2</sub>, sendo que a variação de 1% no Índice de Complexidade Econômica diminui em 0,240% a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Em outros termos, o modelo MQO mostra que a estrutura produtiva é uma variável importante para explicar a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina.

TABELA 7 - MODELOS BÁSICOS

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)
	MQO	EF	EA	FE-DK
ICE	-0,240*	0,425***	0,343**	0,425***
	(0,135)	(0,148)	(0,146)	(0,141)
Energia	0,850***	0,886***	0,894***	0,886***
	(0,0249)	(0,0422)	(0,0285)	(0,0464)
PIB	0,0603***	0,0243	0,0300*	0,0243*
	(0,0153)	(0,0181)	(0,0164)	(0,0131)
IED	-0,0114	-0,00425	-0,00580	-0,00425
	(0,00727)	(0,00586)	(0,00576)	(0,00439)
Combustível fóssil	1,596***	1,408***	1,534***	1,408***
	(0,0296)	(0,0978)	(0,0586)	(0,0644)
Urbanização	-1,485**	-0,332	-0,693	-0,332
	(0,656)	(0,702)	(0,591)	(0,505)
Constante	-4,047***	-8,129***	-7,577***	-8,129***
	(0,958)	(0,860)	(0,853)	(0,928)
Observações	381	381	381	381
R <sup>2</sup>	0,978	0,770		
Número de países		19	19	19
Países EF		Sim	Não	
Ano EF		Sim	Não	

Estatisticamente significativo: (\*\*\*) ao nível de 1%; (\*\*) ao nível de 5%; (\*) ao nível de 10%

Fonte: Elaborado pela autora.

Na coluna 2 são apresentados os resultados para o modelo de efeitos fixos, que possuem similaridade com as estimativas previamente apresentadas pela técnica MQO. Isso porque as variáveis energia e combustível fóssil explicam um aumento das emissões de CO<sub>2</sub> com significância estatística ao nível de 1%. Note que as variáveis Urbanização, PIB e IED não apresentaram significância estatística. No entanto, a principal variável de interesse apresentou um impacto positivo nas emissões de dióxido de carbono em 0,42%. Esse valor foi estatisticamente significativo ao nível de 1%. Vale destacar que este modelo econométrico não tratou os problemas de heterocedasticidade e de autocorrelação.

Na coluna 3, os resultados encontrados a partir do modelo de efeitos aleatórios indicam que energia, PIB e combustível fóssil contribuem positivamente com as emissões de dióxido de carbono. Note que neste modelo econométrico, as variáveis IED e urbanização não obtiveram significância estatística. A variável ICE explica 0,34% o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> com uma significância estatística em 5%. Novamente, o modelo de efeitos aleatórios não tratou os problemas de heterocedasticidade e autocorrelação.

A coluna 4 apresenta os principais resultados desta monografia. Isto porque, estes resultados foram estimados por meio da técnica *Regression with Driscoll-Kraay standard errors* (FE-DK), que leva em consideração a heterocedasticidade e a autocorrelação do modelo. Note que a variável energia impactou positivamente a emissão de CO<sub>2</sub> e foi estatisticamente significativa ao nível de 1%. O modelo mostra que a variação de 1% na variável energia aumenta em 0,886% a emissão de CO<sub>2</sub>. Este é um resultado que corrobora com estudos anteriores, pois aponta para a importância de políticas públicas que aumentem a eficiência e conscientização do consumo energético (GOZGOR; CAN, 2016; HANIF, 2017; NEAGU; TEODORU, 2019; ODUGBESAN; RJOUB, 2020).

O modelo FE-DK comprova que o crescimento econômico impacta positivamente a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Isto porque, a variável de 1% do PIB aumenta em 0,0243% a emissão de CO<sub>2</sub>, apresentado significância estatística ao nível de 10%. Novamente, este resultado corrobora com estudos anteriores, que demonstraram que o crescimento econômico tem causado degradação ambiental (DINDA, 2004; SHAFIK, 1994b; STERN; COMMON; BARBIER, 1996; ZILIO; RECALDE, 2011). Neste sentido, esta monografia entende que a América Latina possui um grande desafio para as próximas décadas, pois a região precisa gerar desenvolvimento econômico, mas reduzindo os impactos ambientais, a fim de atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos acordos estipulados em rodadas de negociação internacional. Frente ao exposto, os governantes da América Latina precisam encontrar alternativas de desenvolvimento, a fim de priorizar estratégias ambientalmente sustentáveis.

Um resultado importante do modelo FE-DK foi a confirmação de que a variável IED não possui impacto na emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Isto porque, neste modelo esta variável não foi estatisticamente significativa. Isto demonstra um achado diferente em relação aos resultados encontrados por Polloni-Silva et al. (2021) para municípios paulistas. Em outros termos, a falta de significância estatística do IED pode demonstrar que, na América Latina, as

empresas não têm apresentado foco em desenvolver técnicas que diminuam a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Neste sentido, os resultados deste modelo não permitem confirmar as hipóteses de *Pollution Halo* e *Pollution Haven* para a região analisada.

A complexidade econômica foi estatisticamente significativa ao nível de 1%. Após controlar o problema da heterocedasticidade e autocorrelação, o modelo FE-DK indicou que a complexidade tende a aumentar a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Em outros termos, o aumento de 1% no Índice de Complexidade Econômica aumenta em 0,425% a emissão de CO<sub>2</sub> na região. Este resultado contradiz diversos estudos que analisam a importância da estrutura produtiva em relação à emissão de poluentes (CAN; GOZGOR, 2017; DOGAN; SABOORI; CAN, 2019; MEALY; TEYTELBOYM, 2020; SHAHNAZI; SHABANI, 2021). Vale destacar que este resultado pode ser explicado pela possível adoção de produtos mais sofisticados, mas que ainda não atingiram o nível de complexidade dos países desenvolvidos, a fim de gerar produção limpa e menor utilização de recursos naturais. Neste sentido, interpreta-se que a estrutura produtiva da América Latina precisa engendrar o processo de diversificação econômica via produtos tecnológicos, para que seja possível observar o efeito negativo da complexidade econômica na emissão de poluentes.

Neste modelo econométrico, foi observado que urbanização não obteve significância estatística, contradizendo estudos em que confirmaram a relação entre urbanização e degradação ambiental (MARTÍNEZ-ZARZOSO; MARUOTTI, 2011; ODUGBESAN; RJOUB, 2020). Os combustíveis fósseis foram estatisticamente significativos ao nível de 1%. O modelo FE-DK indicou que a variável contribui com o aumento das emissões na América Latina, um aumento 1% nos combustíveis fósseis aumenta em 1,534 as emissões de CO<sub>2</sub>. Outros estudos encontraram essa mesma relação (INGLESI-LOTZ; DOGAN, 2018; MENSAH; SUN; GAO; OMARI-SASU *et al.*, 2019).

A Tabela 8 traz as estimativas para o modelo econométrico com a Curva Ambiental de Kuznets. Note que esta monografia optou por analisar a CAK para a principal variável de interesse, a saber: Índice de Complexidade Econômica. Desta forma, além das variáveis previamente analisadas, a variável ICE<sup>2</sup> foi inserida no modelo para investigar a existência de relação na forma de U invertido entre a complexidade econômica e a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina.

Os resultados econométricos revelam a existência da CAK para a complexidade econômica. Isto porque a primeira parte da curva mostra o impacto positivo e estatisticamente

significativo do ICE. Em relação às emissões de CO<sub>2</sub>. Note que a variação de 1% na Índice de Complexidade Econômica aumenta a emissão de CO<sub>2</sub> em 0,002%. Em contrapartida, na segunda parte da curva, a variável ICE<sup>2</sup> impactou negativamente as emissões de CO<sub>2</sub>. Desta forma, a variação de 1% no ICE diminui em -0,0003% a emissão de CO<sub>2</sub>, o que foi estatisticamente significativo ao nível de 1%. Esta descoberta é muito importante para a formulação de políticas públicas na América Latina, pois demonstra que a continuidade do processo de diversificação produtiva é um fator relevante e significativo para a diminuição de CO<sub>2</sub> na região. Vale destacar que esta descoberta está de acordo com estudos prévios que analisam a CAK em outras regiões (BALSALOBRE-LORENTE; IBÁÑEZ-LUZÓN; USMAN; MUHAMMADSHAHBAZ, 2021; BOUBELLOUTA; KUSCH-BRANDT, 2020; ZHENG; ZHOU; RAHAT; RUBBANIY, 2021). No entanto, alguns outros estudos não encontraram essa CAK (ALVARADO; TILLAGUANGO; DAGAR; AHMAD *et al.*, 2021; LAVERDE-ROJAS; GUEVARA-FLETCHER; CAMACHO-MURILLO, 2021).

Finalmente, as variáveis de controle mostraram significância estatística no modelo estimado. Por exemplo, a variável energia impactou a emissão de CO<sub>2</sub> em 0,883%. O mesmo ocorreu para o crescimento econômico, sendo que o PIB impactou a emissão de CO<sub>2</sub> em 0,0301%. O uso de combustível fóssil impactou positivamente as emissões de CO<sub>2</sub> em 1,41%. Urbanização e IED não foram estatisticamente significativos. Note que IED não ter significância estatística não corrobora com estudos prévios em que foi encontrado uma confirmação para a hipótese do *Pollution Halo*, uma confirmação da hipótese do *Pollution Haven* ou os dois de acordo com o que é considerado (HE; YAO, 2016; HUYNH; HOANG, 2018; MERT; CAGLAR, 2020; SHAHBAZ; NASREEN; ABBAS; ANIS, 2015; ZENG; ZHOU, 2021)

TABELA 8 - MODELO CAK

Variáveis	(1) FE-DK
ICE	0,00293** (0,00109)
ICE <sup>2</sup>	-0,000335*** (0,000115)
Energia	0,883*** (0,0460)
PIB	0,0301** (0,0124)
IED	-0,00522 (0,00455)
Combustível fóssil	1,416*** (0,0657)
Urbanização	-0,346 (0,489)
Constante	-6,169*** (0,546)
Observações	381
Número de países	19

Estatisticamente significativo: (\*\*\*) ao nível de 1%; (\*\*) ao nível de 5%; (\*) ao nível de 10%

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, esta monografia corroborou por demonstrar a importância da complexidade econômica para as emissões de CO<sub>2</sub> na América Latina. Este resultado é importante porque as autoridades da região podem criar políticas de desenvolvimento que priorizem a produção de bens tecnologicamente intensivos, a fim de utilizar menos recursos naturais e gerar uma produção mais limpa. Em outros termos, a complexidade econômica se mostrou uma alternativa relevante para o enfrentamento do crescimento econômico sem degradação ambiental.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta monografia teve como objetivo analisar a relação entre sofisticação produtiva e degradação ambiental. Buscou-se contribuir com a literatura por meio de uma análise sobre o impacto da complexidade econômica em relação à emissão de CO<sub>2</sub> para os países da América Latina. O Índice de Complexidade Econômica foi utilizado como *proxy* para complexidade econômica. Neste sentido, este trabalho partiu da premissa de que complexidade econômica pode contribuir para a redução da degradação ambiental. É importante fazer essa análise, pois contribui com alternativas de desenvolvimento em uma região emergente, que necessita de instrumentos políticos para superação do desafio de crescer economicamente sem gerar degradação ambiental.

A fim de cumprir com este objetivo, esta monografia utilizou dados do Banco Mundial e do Atlas de Complexidade Econômica. As estimativas do modelo econométrico constataram, a partir de dados em painel, que existe uma Curva Ambiental de Kuznets para os países da América Latina. Em primeiro lugar, a complexidade econômica tende a aumentar as emissões de CO<sub>2</sub>. Após um ponto de inflexão, a complexidade econômica tem efeito contrário, ou seja, o aumento da complexidade diminui as emissões de CO<sub>2</sub> na América Latina. Essa descoberta é importante para os formuladores de políticas públicas da região, pois, as emissões de CO<sub>2</sub> causam impactos negativos no meio ambiente. Note que o principal resultado encontrado nesta monografia colabora com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, a fim de buscar formas de garantir um desenvolvimento sustentável. Desta forma, a complexidade econômica tem capacidade de mitigar a degradação ambiental no longo prazo, o que deve ser considerado na agenda política da América Latina. Em outros termos, conclui-se a importância dos governantes latino-americanos priorizarem, bens tecnologicamente intensivos, em especial, *green investments*, *green products* e *green jobs*.

Além dos resultados sobre a Complexidade Econômica, esta monografia encontrou que a utilização de combustíveis fósseis foi o principal determinante para a emissão de CO<sub>2</sub> na América Latina. Apesar da matriz energética latino-americana ser uma das mais limpas do mundo, ainda é preciso explorar seu potencial de recursos renováveis. Vale destacar que para garantir um desenvolvimento econômico sustentável, esforços devem ser somados para incentivar o uso de fontes limpas de energia.

Outra contribuição importante deste trabalho foram os resultados acerca do Investimento Estrangeiro Direto que não demonstraram significância estatística nos modelos econométricos apresentados. Conseqüentemente, por meio desta monografia, não é possível confirmar as hipóteses do *Pollution Halo* ou *Pollution Haven* para a América Latina. Entretanto, considera-se que estudos futuros devam analisar a questão em maior detalhe, com base de dados mais extensas e recortes regionais dentro da própria América Latina, por exemplo, priorizando os países que mais receberam Investimento Estrangeiro Direto.

Existem ainda outras possibilidades de aprofundar os estudos acerca da emissão de CO<sub>2</sub>, estrutura produtiva e outros determinantes da degradação ambiental. Primeiro, o Índice de Complexidade Econômica está disponível a partir de 1995 para América Latina. Entretanto, não foi possível analisar um horizonte temporal maior para a região. Uma análise com um número maior de anos auxiliaria a interpretação sobre o comportamento da Curva Ambiental de Kuznets. Segundo, esta monografia propões que estudos futuros utilizem outras *proxies* para a degradação ambiental como, por exemplo, *ecological Footprint* ou outros poluentes que tem sido priorizados nas rodadas de negociações internacionais (gás metano). A utilização de diferentes variáveis que representem a degradação ambiental contribui para a formulação de políticas públicas distintas na região. Terceiro, esta monografia utilizou o tradicional Índice de Complexidade Econômica. Uma limitação importante deste índice é levar em conta apenas os produtos físicos exportados, o que não considera o Setor de Serviços. Há novos indicadores sobre diversificação e qualidade das exportações na literatura internacional que podem ser priorizados por estudos futuros. Quarto, sugere-se que estudos futuros analisem a América Latina por grupos renda (alta, média e baixa), a fim de descobrir a relação entre complexidade econômica e degradação ambiental em diferentes etapas do desenvolvimento econômico.

Finalmente, esta monografia revelou a importância da complexidade econômica para a degradação ambiental na América Latina. Neste sentido, a região possui o desafio de priorizar investimentos verdes por meio da sofisticação tecnológica. Além disso, a região deve priorizar uma transição energética, a fim de utilizar fontes renováveis como, por exemplo, energia solar, eólica, biomassa, entre outras fontes. A transição energética garantiria uma expansão econômica com a menor participação relativa dos combustíveis fósseis. Vale destacar que a expansão dos centros urbanos na América Latina também precisa ser estratégica, a fim de garantir eficiência energética na região. Note que estas mudanças estão ligadas ao processo de sofisticação da matriz produtiva. Por um lado, a diversificação da matriz energética depende do acúmulo de conhecimento da região em produtos tecnológicos para fontes renováveis (placas

fotovoltaicas ou turbinas para energia eólica). Por outro lado, a complexidade econômica pode disponibilizar produtos com maior eficiência energética (aparelhos de ar-condicionado, televisores, chuveiros elétricos, geladeiras, etc.), bem como engendrar a maior concentração urbana decorrente do processo de aglomeração produtiva de empresas complexas. Em outros termos, a América Latina possui o desafio de crescer e se modernizar, proporcionando oportunidades econômicas e sociais para os indivíduos, mas defendendo os recursos naturais que a região abriga.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, M.; JIANG, P.; MAJEED, A.; UMAR, M. *et al.* The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: An advanced panel data estimation. **Resources Policy**, 69, 2020.

AHMED, Z.; ZHANG, B.; CARY, M. Linking economic globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint: Evidence from symmetric and asymmetric ARDL. **Ecological Indicators**, 121, 2021.

ALBULESCU, C. T.; TIWARI, A. K.; YOON, S.-M.; KANG, S. H. FDI, income, and environmental pollution in Latin America: Replication and extension using panel quantiles regression analysis. **Energy Economics**, 84, 2019.

ALI, R.; ALWANG, J.; SIEGEL, P. B. Is export diversification the best way to achieve export growth and stability? 1991.

ALVARADO, R.; TILLAGUANGO, B.; DAGAR, V.; AHMAD, M. *et al.* Ecological footprint, economic complexity and natural resources rents in Latin America: Empirical evidence using quantile regressions. **Journal of Cleaner Production**, 318, 2021.

ARMENTERAS, D.; ESPELTA, J. M.; RODRÍGUEZ, N.; RETANA, J. Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). **Global Environmental Change**, 46, p. 139-147, 2017.

ARTHUR, W. B. Foundations of complexity economics. **Nat Rev Phys**, p. 1-10, Jan 29 2021.

BAKHSH, K.; ROSE, S.; ALI, M. F.; AHMAD, N. *et al.* Economic growth, CO2 emissions, renewable waste and FDI relation in Pakistan: New evidences from 3SLS. **J Environ Manage**, 196, p. 627-632, Jul 1 2017.

BALSALOBRE-LORENTE, D.; IBÁÑEZ-LUZÓN, L.; USMAN, M.; MUHAMMADSHAHBAZ. The environmental Kuznets curve, based on the economic complexity, and the pollution haven hypothesis in PIIGS countries. **Renewable Energy**, 2021.

BARBIER, E. B.; BUGAS, J. S. Structural change, marginal land and economic development in Latin America and the Caribbean. 2014.

- BILGILI, F.; KOÇAK, E.; BULUT, Ü. The dynamic impact of renewable energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 54, p. 838-845, 2016.
- BIRDSALL, N.; WHEELER, D. Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where Are the Pollution Havens? **The Journal of Environment & Development**, 2, n. 1, p. 137-149, 1993.
- BLANCO, L.; GONZALEZ, F.; RUIZ, I. The Impact of FDI on CO<sub>2</sub>Emissions in Latin America. **Oxford Development Studies**, 41, n. 1, p. 104-121, 2013.
- BOUBELLOUTA, B.; KUSCH-BRANDT, S. Testing the environmental Kuznets Curve hypothesis for E-waste in the EU28+2 countries. **Journal of Cleaner Production**, 277, 2020.
- CAN, M.; DOGAN, B.; SABOORI, B. Does trade matter for environmental degradation in developing countries? New evidence in the context of export product diversification. **Environ Sci Pollut Res Int**, 27, n. 13, p. 14702-14710, May 2020.
- CAN, M.; GOZGOR, G. The impact of economic complexity on carbon emissions: evidence from France. **Environ Sci Pollut Res Int**, 24, n. 19, p. 16364-16370, Jul 2017.
- CEPAL. **Cinquenta anos de pensamento na CEPAL**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2000.
- CHU, L. K. Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. **Applied Economics Letters**, 28, n. 7, p. 612-616, 2020.
- CUNHA-ZERI, G.; OMETTO, J. Nitrogen emissions in Latin America: A conceptual framework of drivers, impacts, and policy responses. **Environmental Development**, 38, 2021.
- DABENE, O. *América Latina no século XX*. 1994.
- DESTEK, M. A.; SINHA, A. Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. **Journal of Cleaner Production**, 242, 2020.
- DINDA, S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. **Ecological Economics**, 49, n. 4, p. 431-455, 2004.
- DOĞAN, B.; DRIHA, O. M.; BALSALOBRE LORENTE, D.; SHAHZAD, U. The mitigating effects of economic complexity and renewable energy on carbon emissions in developed countries. **Sustainable Development**, 29, n. 1, p. 1-12, 2020.

- DOGAN, B.; SABOORI, B.; CAN, M. Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. **Environ Sci Pollut Res Int**, 26, n. 31, p. 31900-31912, Nov 2019.
- DRISCOLL, J. C.; KRAAY, A. C. Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. **The Review of Economics and Statistics** 1998.
- FERRAZ, D.; FALGUERA, F. P. S.; MARIANO, E. B.; HARTMANN, D. Linking Economic Complexity, Diversification, and Industrial Policy with Sustainable Development: A Structured Literature Review. **Sustainability**, 13, n. 3, 2021.
- FOSTER, J. From simplistic to complex systems in economics. **Cambridge Journal of Economics**, 29, n. 6, p. 873-892, 2005.
- GOZGOR, G.; CAN, M. Export product diversification and the environmental Kuznets curve: evidence from Turkey. **Environ Sci Pollut Res Int**, 23, n. 21, p. 21594-21603, Nov 2016.
- GRAESSER, J.; AIDE, T. M.; GRAU, H. R.; RAMANKUTTY, N. Cropland/pastureland dynamics and the slowdown of deforestation in Latin America. **Environmental Research Letters**, 10, n. 3, 2015.
- GRAMKOW, C. O Big Push Ambiental no Brasil: investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável. 2019.
- GROSSMAN, G.; KRUEGER, L. Economic Growth and the Environment. **The Quarterly Journal of Economics**, p. 353–377, 1995a.
- GROSSMAN, G.; KRUEGER, L. Economic Growth and the Environment. **The Quarterly Journal of Economics**, 1995b.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Econometria Básica*. 2011.
- HANIF, I. Economics-energy-environment nexus in Latin America and the Caribbean. **Energy**, 141, p. 170-178, 2017.
- HARTMANN, D. **Economic complexity and human development: How economic diversification and social network affect human agency and welfare**. 1 ed. New York: 2014.
- HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A.; BUSTOS, S.; COSCIA, M. *et al.* The atlas of economic complex: mapping paths to prosperity. 2013.

HE, X.; YAO, X. Foreign Direct Investments and the Environmental Kuznets Curve: New Evidence from Chinese Provinces. **Emerging Markets Finance and Trade**, 53, n. 1, p. 12-25, 2016.

HICKEL, J.; KALLIS, G. Is Green Growth Possible? **New Political Economy**, 25, n. 4, p. 469-486, 2019.

HIDALGO, C.; KLINGER, B.; BARABASI, A. L.; HAUSMANN, R. The product space conditions the development of nations. 2007.

HIDALGO, C. A.; BALLAND, P.-A.; BOSCHMA, R.; DELGADO, M. *et al.* The Principle of Relatedness. *In: Unifying Themes in Complex Systems IX*, 2018. cap. Chapter 46, p. 451-457. (Springer Proceedings in Complexity).

HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. 2009.

HUYNH, C. M.; HOANG, H. H. Foreign direct investment and air pollution in Asian countries: does institutional quality matter? **Applied Economics Letters**, 26, n. 17, p. 1388-1392, 2018.

INGLES-LOTZ, R.; DOGAN, E. The role of renewable versus non-renewable energy to the level of CO<sub>2</sub> emissions a panel analysis of sub-Saharan Africa's Big 10 electricity generators. **Renewable Energy**, 123, p. 36-43, 2018.

IPCC. Sumário para formuladores de políticas. 2018.

JAVID, M.; SHARIF, F. Environmental Kuznets curve and financial development in Pakistan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 54, p. 406-414, 2016.

JIANG, Y. Foreign Direct Investment, Pollution, and the Environmental Quality: A Model with Empirical Evidence From the Chinese Regions. **The International Trade Journal**, 29, n. 3, p. 212-227, 2015.

JIMÉNEZ, J. P.; TROMBEN, V. Fiscal policy and the commodities boom: the impact of higher prices for non-renewables in Latin America and the Caribbean. 2006.

KÖNE, A. Ç.; BÜKE, T. Factor analysis of projected carbon dioxide emissions according to the IPCC based sustainable emission scenario in Turkey. **Renewable Energy**, 133, p. 914-918, 2019.

LAVERDE-ROJAS, H.; GUEVARA-FLETCHER, D. A.; CAMACHO-MURILLO, A. Economic growth, economic complexity, and carbon dioxide emissions: The case of Colombia. **Heliyon**, 7, n. 6, p. e07188, Jun 2021.

MARIANO, E. B. **Progresso e Desenvolvimento Humano: Teorias e indicadores de riqueza, qualidade de vida, felicidade e desigualdade.** 2019.

MARTÍNEZ-ZARZOSO, I.; MARUOTTI, A. The impact of urbanization on CO2 emissions: Evidence from developing countries. **Ecological Economics**, 70, n. 7, p. 1344-1353, 2011.

MAZOUZ, K.; WOOD, G.; YIN, S.; ZHANG, M. Comprehending the outward FDI from Latin America and OCED: A comparative perspective. **International Business Review**, 2021.

MEALY, P.; TEYTELBOYM, A. Economic complexity and the green economy. **Research Policy**, 2020.

MENSAH, I. A.; SUN, M.; GAO, C.; OMARI-SASU, A. Y. *et al.* Analysis on the nexus of economic growth, fossil fuel energy consumption, CO2 emissions and oil price in Africa based on a PMG panel ARDL approach. **Journal of Cleaner Production**, 228, p. 161-174, 2019.

MERT, M.; CAGLAR, A. E. Testing pollution haven and pollution halo hypotheses for Turkey: a new perspective. **Environ Sci Pollut Res Int**, 27, n. 26, p. 32933-32943, Sep 2020.

MOUTINHO, V.; FUINHAS, J. A.; MARQUES, A. C.; SANTIAGO, R. Assessing eco-efficiency through the DEA analysis and decoupling index in the Latin America countries. **Journal of Cleaner Production**, 205, p. 512-524, 2018.

NASIR, M. A.; DUC HUYNH, T. L.; XUAN TRAM, H. T. Role of financial development, economic growth & foreign direct investment in driving climate change: A case of emerging ASEAN. **J Environ Manage**, 242, p. 131-141, Jul 15 2019.

NEAGU. The Link between Economic Complexity and Carbon Emissions in the European Union Countries: A Model Based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) Approach. **Sustainability**, 11, n. 17, 2019.

NEAGU, O.; TEODORU, M. The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries. **Sustainability**, 11, n. 2, 2019.

ODUGBESAN, J. A.; RJOUB, H. Relationship Among Economic Growth, Energy Consumption, CO2 Emission, and Urbanization: Evidence From MINT Countries. **SAGE Open**, 10, n. 2, 2020.

PANAYOTOU, T. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. **International Labour Office**, 1993.

POLLONI-SILVA, E.; FERRAZ, D.; CAMIOTO, F. d. C.; REBELATTO, D. A. d. N. *et al.* Environmental Kuznets Curve and the Pollution-Halo/Haven Hypotheses: An Investigation in Brazilian Municipalities. **Sustainability**, 13, n. 8, 2021.

ROMERO, J. P.; GRAMKOW, C. Economic complexity and greenhouse gas emissions. **World Development**, 139, 2021.

SARTI, F.; CASTILHO, M. Impactos do Acordo Mercosul e União Europeia sobre a Indústria Brasileira. 2021.

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental quality and development: Is there a kuznets curve for air pollution emissions? 1994.

SHAFIK, N. Economic Development and Environmental Quality An Econometric Analysis. **Oxford Economic Papers**, Vol. 46, p. 757-773, 1994a.

SHAFIK, N. Economic development and environmental quality: An econometric analysis. 1994b.

SHAHBAZ, M.; NASREEN, S.; ABBAS, F.; ANIS, O. Does foreign direct investment impede environmental quality in high-, middle-, and low-income countries? **Energy Economics**, 51, p. 275-287, 2015.

SHAHNAZI, R.; SHABANI, Z. The effects of renewable energy, spatial spillover of CO2 emissions and economic freedom on CO2 emissions in the EU. **Renewable Energy**, 169, p. 293-307, 2021.

SHAHZAD, U.; FAREED, Z.; SHAHZAD, F.; SHAHZAD, K. Investigating the nexus between economic complexity, energy consumption and ecological footprint for the United States: New insights from quantile methods. **Journal of Cleaner Production**, 279, 2021.

SHAHZAD, U.; FERRAZ, D.; DOĞAN, B.; APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO, D. Export product diversification and CO<sub>2</sub> emissions: Contextual evidences from developing and developed economies. **Journal of Cleaner Production**, 276, 2020.

STERN, D.; COMMON, M. S.; BARBIER, E. B. Economic Growth and environmental degradation: the environmental kuznets curve and sustainable development. **World Development**, 1996.

TORRE, A. d. I.; FAJNZYLBER, P.; NASH, J. Desenvolvimento com menos carbono: respostas da América Latina ao desafio das mudanças climáticas. **The World Bank**, 2009.

TREVINO, L. J.; THOMAS, D. E.; CULLEN, J. The three pillars of institutional theory and FDI in Latin America: An institutionalization process. **International Business Review**, 17, n. 1, p. 118-133, 2008.

WANG, Q.; SU, M. The effects of urbanization and industrialization on decoupling economic growth from carbon emission – A case study of China. **Sustainable Cities and Society**, 51, 2019.

WOOLDRIGE, J. M. Introdução à econometria: uma abordagem moderna. 2018.

ZENG, S.; ZHOU, Y. Foreign Direct Investment's Impact on China's Economic Growth, Technological Innovation and Pollution. **Int J Environ Res Public Health**, 18, n. 6, Mar 10 2021.

ZHENG, F.; ZHOU, X.; RAHAT, B.; RUBBANIY, G. Carbon neutrality target for leading exporting countries: On the role of economic complexity index and renewable energy electricity. **Journal Environment Management**, 299, p. 113558, Dec 1 2021.

ZILIO, M.; RECALDE, M. GDP and environment pressure: The role of energy in Latin America and the Caribbean. **Energy Policy**, 39, n. 12, p. 7941-7949, 2011.