

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL

JORDANA FERREIRA DA SILVA

**RESILIÊNCIA E COMPLEXIDADE ECONÔMICA: UMA NOVA  
ABORDAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

BELO HORIZONTE/MG  
UFMG/FACE/CEDEPLAR  
2024

JORDANA FERREIRA DA SILVA

**RESILIÊNCIA E COMPLEXIDADE ECONÔMICA: UMA NOVA ABORDAGEM  
PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Economia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial a obtenção do título de Doutora em Economia.

Orientador: Professor Gustavo Britto

Coorientador: Professor Diogo Ferraz

BELO HORIZONTE/MG  
UFMG/FACE/CEDEPLAR  
2024

#### Ficha Catalográfica

S586r  
2024 Silva, Jordana Ferreira da,  
Resiliência e complexidade econômica [manuscrito]: uma nova  
abordagem para o desenvolvimento sustentável / Jordana Ferreira  
da Silva. – 2024.

184 f.: il., gráfs.

Orientador: Gustavo Britto.

Coorientador: Diogo Ferraz.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,  
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.

Inclui bibliografia.

1. Economia – Teses. 2. Desenvolvimento sustentável – Teses.  
3. Mudanças climáticas – Teses. I. Britto, Gustavo. II. Ferraz,  
Diogo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de  
Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título.

CDD: 330

Elaborado por Rosilene Santos CRB-6/2527  
Biblioteca da FACE/UFMG. – 144/2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### RESILIÊNCIA E COMPLEXIDADE ECONÔMICA: UMA NOVA ABORDAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**JORDANA FERREIRA DA SILVA**

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia 21 de junho de 2024, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Prof. Gustavo de Britto Rocha (Orientador, Cedeplar-UFMG)

Prof. Diogo Ferraz (Co-orientador, UFOP)

Prof. Dominik Hartmann (UFSC)

Prof. Igor Santos Tupy (UFV)

Profa. Ana Maria Hermeto Camilo de Oliveira (Cedeplar-UFMG)

Prof. Pedro Vasconcelos Maia do Amaral (Cedeplar-UFMG)

Belo Horizonte, 21 de junho de 2024.

**PROF. RAFAEL SAULO MARQUES RIBEIRO**

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Vasconcelos Maia do Amaral, Professor do Magistério Superior**, em 21/06/2024, às 15:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo de Britto Rocha, Professor do Magistério Superior**, em 21/06/2024, às 15:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Maria Hermeto Camilo de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 21/06/2024, às 15:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Igor Santos Tupy, Usuário Externo**, em 21/06/2024, às 16:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Ferraz, Usuário Externo**, em 21/06/2024, às 17:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Dominik Hartmann, Usuário Externo**, em 24/06/2024, às 05:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3308080** e o código CRC **8FE2D795**.

---

## AGRADECIMENTOS

Eu fui resiliente! Para chegar até aqui, tive que me adaptar diante dos desafios acadêmicos, desmotivações, síndrome da impostora e pandemia. Além disso, me transformei diante de experiências profundas e mais desafiadoras, como minha gravidez e o exercício da maternidade. Fui resiliente ao continuar a ser a mesma pessoa que acredita no poder do conhecimento de transformar vidas. Para isso, confiei no meu processo de evolução que, por muitas vezes, a realidade indicava não estar acontecendo. Essas experiências me fizeram ver que minha realização profissional, enquanto mulher negra, só será possível quando eu conseguir contribuir para que, de alguma forma, pessoas de origem semelhante à minha tenham acesso às mesmas oportunidades que eu tive. Para isso, preciso continuar a ser resiliente diante dos desafios que virão. Pois, tenho ciência de que para fortalecer os meus iguais nos espaços que eu conseguir ocupar, não será uma questão trivial diante da realidade discriminatória que o mundo nos impõe.

O fim dessa fase foi muito esperado. Mas ao chegar, ele traz um misto de alegria, realização e insegurança quanto ao futuro. Pois nesse título estão depositadas as minhas esperanças e as de muitos que viveram e sonharam a conquista desse doutorado comigo. Pois, sim! Sou a primeira a defender um título de doutorado dentre muitas gerações da minha família preta e de origem pobre. Sou neta de mulheres que trabalharam a vida toda como empregadas domésticas e que jamais cogitaram chegar aonde cheguei, e de homens que aprenderam que o único futuro possível era através do trabalho precarizado, para garantir o sustento da família.

A trajetória da minha família na educação começou a mudar quando minha mãe e minha tia Tânia foram as primeiras na família a se formarem em ensino superior. Mas, para terem acesso a um ensino de qualidade, tiveram que esfregar o chão de muitas salas de aula do colégio de freiras que estudaram, como pagamento dos estudos. Meu pai, inicialmente, não pensava muito diferente dos meus avôs. Para ele, trabalhar para sustentar a família, era sinônimo de realização pessoal. Com o tempo aprendeu a importância do estudo, e como ele pode transformar carreiras, vidas. É por essas pessoas, portanto, que tanto me dedico aos estudos, e é por elas a minha gratidão pelo trabalho, criação e apoio para que eu pudesse chegar até aqui.

Inicio meus agradecimentos por Aquele que permitiu que tudo isso acontecesse. Agradeço a Deus, por me levantar e me encorajar todos os dias. Só o Senhor sabe onde essa jornada me levará e qual a razão de eu tê-la percorrido. A Nossa Senhora de Fátima. A quem tanto roguei e pedi interseção nos momentos mais difíceis desses anos de doutorado. Obrigada, Mãezinha.

A minha filha Helena. Isso é por você e para você, meu raio de sol. Você chegou em meio a um período conturbado de pandemia e elaboração de tese. Como agradeço a Deus por isso. Hoje sei que você veio no momento certo. Você veio para me mostrar que tudo nessa vida é possível, quando o amor é colocado em primeiro lugar. Obrigada por me escolher como sua mãe, meu amor.

Ao meu esposo, Marcos. Esta tese não existiria sem você. Você foi a pessoa que mais me motivou a fazer esse doutorado. Você sempre me disse que eu era capaz, quando não acreditava mais em mim. Você compreendeu suas responsabilidades enquanto pai e companheiro, e se empenhou para possibilitar que em alguns momentos eu fosse apenas uma doutoranda. Essa conquista também é sua. Te amo!

Aos meus pais, Andréa e Edvardo. Vocês são meu exemplo, “meu ouro de mina”. Meu desejo é que esse doutorado renda frutos, para que vocês continuem tendo orgulho de sua primogênita. Espero que um dia esse título possibilite que eu retribua de alguma forma todo apoio e investimento que vocês me deram. Obrigada por serem os pais que eu precisei e preciso ter. Tenham certeza de que tudo o que fizeram por mim semeou amor, gratidão e honra de ser filha de vocês.

À minha irmã, Joyce. Minha vida, minha outra metade. Agradeço os conselhos, o apoio e por sonhar esse sonho comigo. Sei que torceu por mim a cada momento. Obrigada por tudo mana! Ao meu irmão Jordan. Aos meus sobrinhos, Miguel e Olívia. Titia ama vocês. Vocês são a luz da minha vida. À minha madrastra Delvina. Obrigada pelo carinho e torcida durante essa fase em minha vida.

À família Silva. Meus primos-irmãos, tios e tias, vocês são a parte divertida dessa fase. Um agradecimento em especial à nossa matriarca, minha avó Geralda (*in memorian*). Queria que estivesse aqui para ver isso. Sei o quanto sonhava em ver seus netos com estudo para que pudessem ter as oportunidades que a senhora não teve. Isto é por você. À minha avó materna Efigênia, tia Tânia, tia Sandra, prima Ana Luiza e primos Alexander e André. Sei que vocês sempre torceram por mim. Muito obrigada. À família que meu esposo me deu. Obrigada Maria, Eliene, Heraldo, Elenice, Fabinho e, em especial, ao melhor sogro do mundo, Sr. Geraldo (*in memorian*). O senhor viu essa jornada começar, e tenho certeza de que está celebrando esse momento conosco.

Outro grande desafio desse doutorado foi cursá-lo e continuar vivendo as coisas importantes que existem para além da academia. Como diz o Emicida: “Quem tem um amigo, tem tudo”, e realmente tenho. Meus amigos são a parte calma e divertida da minha vida. Agradeço às minhas amigas e amigos de longa data, sem os quais eu não vivo: meu cunhado

Cristhiano, meus compadres Elaine e Charlin, minha amiga de infância Cidinha, e meus tios-amigos Márcia e Sidinei. Às minhas amigas de luta na UFOP, e que hoje são parte da minha vida: Carolina, Juliana e Professora Fernanda. Às amizades preciosas que este doutorado me deu: Tailiny, Tathiane, Alan e Luz Marina, sonho o dia olharemos para trás, e daremos risadas de todos os perrengues que passamos nessa fase de nossas vidas. E claro, tomaremos “aquele bom drink”. Muito obrigada!

Ao meu orientador, Professor Gustavo Britto. Obrigada por acreditar na minha confusa e árdua proposta de tema para a tese. Agradeço os conselhos profissionais, a compreensão diante de momentos em que a tese não foi minha prioridade, e por contribuir e acreditar no meu processo de evolução acadêmica ao longo desses anos.

Ao meu coorientador, Professor Diogo Ferraz. Suas contribuições para esta tese foram essenciais. Agradeço, sobretudo, por me escutar e me apoiar nos momentos de desespero. Você me fez dar gargalhadas durante a construção deste trabalho, isso trouxe muita leveza para esse processo. Sou grata por conhecê-lo nessa fase de minha vida e pela amizade que construímos.

Agradeço aos membros da banca examinadora Ana Maria Hermeto, Pedro Amaral, Dominik Hartmann e Igor Tupy pelo interesse neste trabalho. Fico feliz em poder contar com profissionais com a competência e experiência de vocês na avaliação dessa tese. Obrigada pela disponibilidade e pelos comentários que foram fundamentais para a versão final da tese.

Esse processo não seria possível sem uma instituição de ensino de qualidade e com profissionais dedicados. Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu cursasse esse doutorado. Esse processo não seria possível sem que servidores e demais profissionais se dedicassem em manter uma instituição de ensino em funcionamento. Sendo assim, agradeço à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), à Faculdade de Ciências Econômicas (FACE) e ao Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar).

Por fim, agradeço a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante o doutorado.

## RESUMO

Esta tese contribui por meio da proposição de uma abordagem teórica e testes empíricos acerca dos efeitos da relação entre resiliência e complexidade econômica na promoção do desenvolvimento sustentável. O objetivo geral, portanto, é fornecer uma abordagem integrada que conecta resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável, oferecendo uma nova perspectiva para enfrentar os desafios globais contemporâneos. Em sistemas socioecológicos, como o econômico, a resiliência pode ser um fator determinante da capacidade de interagir e combinar uma multiplicidade de mecanismos, que possibilita que esses sistemas se adaptem ou se transformem diante de choques ou perturbações constantes. Por outro lado, a complexidade econômica expressa a capacidade produtiva e o desenvolvimento econômico de uma região ou país, com base na diversidade e sofisticação dos produtos que esta economia é capaz de produzir. Assim, a complexidade econômica também pode ser um fator determinante na criação de novas formas de produção, capacidade adaptativa e na transformação de sistemas econômicos e ambientais. A partir desses conceitos, argumenta-se que economias mais complexas geralmente têm maior capacidade de crescer e se desenvolver devido à sua habilidade de inovar e se adaptar a novos contextos, o que contribui para uma maior resiliência e, conseqüentemente, para o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, tese avança ao evidenciar empiricamente que a relação entre resiliência e complexidade econômica tem efeitos sobre a adaptação de países frente aos impactos das mudanças climáticas, e sobre a capacidade de regiões de se recuperarem de crises econômicas ao mesmo tempo em que minimizam os impactos ambientais da retomada do crescimento econômico a longo prazo. Para testar empiricamente a abordagem proposta, o primeiro exercício empírico utilizou um modelo *GMM System* em uma amostra de 118 países, no qual a variável dependente é o Índice ND-GAIN que é utilizado na literatura para analisar a capacidade de adaptação dos países, enfatizando questões ambientais, econômicas e sociais que influenciam a resiliência frente às mudanças climáticas. Esse teste revelou que a complexidade econômica tem efeitos positivos e significativos sobre a resiliência climática, mesmo em países com diferentes níveis de renda. O segundo teste utilizou *Spatial Seemingly Unrelated Regression Models (Spatial SUR)* para 503 regiões imediatas do Brasil. Os modelos *Spatial SUR* permitem testar relações implícitas entre variáveis devido a externalidades espaciais, que são efeitos indiretos que uma unidade espacial pode ter sobre outras, sem que esses efeitos sejam diretamente observáveis ou intencionais. O resultado mostrou que os efeitos da complexidade econômica sobre as variáveis dependentes resiliência econômica e emissões de CO<sub>2</sub> são não lineares, o que confirma a Curva Ambiental de Kuznets

na equação da segunda variável. Além disso, verificou-se que existe relação implícita entre resiliência econômica e as emissões através da correlação positiva entre as equações do modelo. Por fim, os resultados desta tese têm implicações práticas relevantes, pois apresentam a complexidade econômica como alternativa estratégica para a resiliência e, em especial, para a adaptação frente às mudanças climáticas e recuperação econômica após crises com controle da degradação ambiental gerada pelo crescimento econômico.

**Palavras-Chave:** Resiliência; Complexidade Econômica; Desenvolvimento Sustentável; Mudanças Climáticas; ND-GAIN.

## ABSTRACT

This thesis contributes by proposing a theoretical approach and conducting empirical tests on the effects of the relationship between resilience and economic complexity in promoting sustainable development. Therefore, the objective is to provide an integrated approach that connects resilience, economic complexity, and sustainable development, offering a new perspective to address contemporary global challenges. In socioecological systems, such as economic ones, resilience can determine the ability to interact and combine multiple factors, enabling these systems to adapt or transform in the face of constant shocks or disturbances. On the other hand, economic complexity reflects a region's productive capacity and economic development based on the diversity and sophistication of the products that this economy can produce. Thus, economic complexity can also be a determining factor in creating new forms of production, adaptive capacity, and the transformation of economic and environmental systems. Based on these concepts, more complex economies generally have a greater capacity for growth and development due to their ability to innovate and adapt to new contexts, contributing to greater resilience and sustainable development. In this context, the thesis advances by empirically demonstrating that the relationship between resilience and economic complexity affects countries' adaptation to climate change impacts and regions' ability to recover from economic crises while minimizing the environmental impacts of long-term economic growth. To empirically test the proposed approach, the first empirical exercise employed a GMM System model on a sample of 118 countries, where the dependent variable was the ND-GAIN Index. This index is used in the literature to analyze countries' adaptive capacity, emphasizing environmental, economic, and social issues that influence resilience to climate change. This test revealed that economic complexity positively and significantly affects climate resilience, even in countries with different income levels. The second test utilized Spatial Seemingly Unrelated Regression Models (Spatial SUR) for 503 immediate regions in Brazil. Spatial SUR models allow for testing implicit relationships between variables due to spatial externalities, which are indirect effects that one spatial unit can have on others without these effects being directly observable or intentional. The results showed that the effects of economic complexity on the dependent variables, economic resilience and CO<sub>2</sub> emissions, are non-linear, confirming the Environmental Kuznets Curve in the equation of the second variable. Additionally, the test showed an implicit relationship between economic resilience and emissions through the positive correlation between the model's equations. Finally, the results of this thesis have relevant practical implications, as they present economic complexity as a strategic alternative

for resilience, particularly for adaptation to climate change and economic recovery after crises, while controlling the environmental degradation caused by economic growth.

**Keywords:** Resilience; Economic Complexity; Sustainable Development; Climate Change; ND-GAIN.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução Global da Temperatura da superfície, Anomalias de Temperatura e PIB (1961 a 2020).....	51
Figura 2 - Emissão Global de CO <sub>2</sub> e por Grupo de renda de países (toneladas métricas per capita) (1990-2020) .....	53
Figura 3 - Diagrama das relações conceituais da tese .....	71
Figura 4 - Matriz ND-GAIN.....	77
Figura 5 - Indicadores de Prontidão para Adaptação e Vulnerabilidade, Índice de Complexidade Econômica e Mudanças de Temperatura (2020) .....	80
Figura 6 - Matriz ND-GAIN com países da amostra diferenciados por nível de renda (1995-2020).....	83
Figura 7 - Gráfico de dispersão entre ND-GAIN e ICE (1995-2020).....	83
Figura 8 - Matriz de correlação entre as variáveis do modelo.....	90
Figura 9 - Gráfico de dispersão entre ND-GAIN, ICE Comércio, ICE Pesquisa e ICE Tecnologia (2019) .....	103
Figura 10 - Emprego e Taxa de Crescimento do Emprego no Brasil (2002-2019).....	112
Figura 11 - Vínculos empregatícios no Brasil por grandes setores (2002-2019) .....	113
Figura 12 - Emissão de CO <sub>2</sub> por atividade econômica (2007-2019).....	115
Figura 13 - Emissões de CO <sub>2</sub> por regiões imediatas (2019).....	116
Figura 14 - Total de vínculos empregatícios e total de emissões de CO <sub>2</sub> no Brasil (2002-2019) .....	118
Figura 15 -Matrizes de correlação entre as variáveis dos modelos de resistência e recuperação .....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - 10 primeiros e 10 últimos países no ranking do Índice ND-GAIN (2021) .....	81
Tabela 2 - Variáveis do modelo .....	88
Tabela 3 - Estatística descritiva .....	89
Tabela 4 - Teste de Raiz Unitária.....	93
Tabela 5 - Resultado do Teste de Chow.....	93
Tabela 6 - Resultados das estimações System GMM para 118 países (1995-2020).....	95
Tabela 7 - Resultados das estimações System GMM para 64 Países de Renda Média e 42 Países de Renda Alta (1995-2020).....	98
Tabela 8 - Resultados das estimações System GMM para 64 Países de Renda Média, 42 Países de Renda Alta e 118 países na amostra global (1995-2020).....	101
Tabela 9 - Complexidade Multidimensional e Resiliência, para amostra de 55 países de Renda Média, 42 países de Renda Alta e amostra global de 100 países.....	105
Tabela 10 - Variáveis do Modelo .....	124
Tabela 11 - Estatística Descritiva (2014-2016).....	126
Tabela 12 - Estatística Descritiva (2017-2019) .....	126
Tabela 13: Modelos SUR com Defasagens Espaciais .....	135
Tabela 14: Coeficientes de Impactos diretos, indiretos e total (2014/2016) .....	136
Tabela 15: Coeficientes de Impactos diretos, indiretos e total (2017/2019) .....	136

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 1 – RESILIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b> .....	24
<b>Introdução</b> .....	24
<b>1.1– Resiliência: uma propriedade dos Sistemas Adaptativos Complexos</b> .....	25
<b>1.2 - A Resiliência de Sistemas Socioecológicos</b> .....	26
<b>1.3 - Conceitos-chave relacionados com a Resiliência</b> .....	29
1.3.1 – Adaptação e Adaptabilidade.....	29
1.3.2 – Transformação e Transformabilidade .....	30
<b>1.4 – Resiliência Climática</b> .....	31
<b>1.5 – Resiliência Econômica</b> .....	35
1.5.1 - A economia como um sistema adaptativo complexo.....	35
1.5.2 – O conceito de Resiliência na Economia .....	36
1.5.3 – Resiliência Econômica Evolucionária.....	38
1.5.4 – Resiliência Econômica Regional.....	41
<b>1.6 - Resiliência e a Agenda do Desenvolvimento Sustentável</b> .....	43
<b>1.7 - Considerações Finais</b> .....	46
<b>CAPÍTULO 2 –RESILIÊNCIA, COMPLEXIDADE ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b> .....	48
<b>Introdução</b> .....	48
<b>2.1 - As Perturbações Contínuas: Mudanças Climáticas e Degradação Ambiental</b> .	49
<b>2.2 – Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável</b> .....	55
<b>2.3 - Mudança Estrutural</b> .....	57
<b>2.4 - Resiliência e Mudanças Estruturais</b> .....	59
<b>2.5 – Complexidade Econômica</b> .....	60
<b>2.6 – Desenvolvimento, Sustentabilidade e Complexidade Econômica</b> .....	66
<b>2.7 –Resiliência, Complexidade Econômica e Sustentabilidade</b> .....	69
<b>2.8 – Considerações Finais</b> .....	72
<b>CAPÍTULO 3 - COMPLEXIDADE ECONÔMICA COMO DETERMINANTE DA RESILIÊNCIA CLIMÁTICA</b> .....	74
<b>Introdução</b> .....	74
<b>3.1 - Um índice multidimensional para Resiliência: o <i>ND-GAIN Country Index</i></b> .....	75
3.1.1 – Análise preliminar dos índices ND-GAIN e ICE.....	79
3.1.2 – Análise dos índices ND-GAIN e ICE, por níveis de renda dos países.....	81

<b>3.2– Literatura empírica e variáveis de controle</b> .....	84
<b>3.3 - Análise Empírica</b> .....	86
3.3.1 - Modelo .....	86
3.3.2 – Métodos de Estimação.....	91
3.3.3 - Resultados .....	92
3.3.4 – Amostra alternativa .....	102
<b>3.4 – Considerações Finais</b> .....	106
<b>CAPÍTULO 4 – UMA ANÁLISE REGIONAL DA RELAÇÃO RESILIÊNCIA ECONÔMICA, COMPLEXIDADE ECONÔMICA E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL: O CASO DO BRASIL</b> .....	108
<b>Introdução</b> .....	108
<b>4.1 – Indicadores Econômico e Ambiental do Brasil</b> .....	109
4.1.1 – Emprego .....	109
4.1.2 – Degradação Ambiental no Brasil .....	114
4.1.3 – O choque econômico .....	117
<b>4.2 – Método e variáveis</b> .....	119
4.2.1 – Índice de Resiliência Econômica Regional .....	119
4.2.2 – Índice de Complexidade Econômica Regional (ICE-R) .....	120
4.2.3 - <i>Spatial Seemingly Unrelated Regression Models</i> (SUR Espacial) .....	121
4.4.2 – Variáveis de controle.....	123
<b>4.3 -Resultados</b> .....	125
4.3.1 – Análise Exploratória.....	125
4.3.2 – Resultados das estimações.....	131
<b>4.4 – Considerações Finais</b> .....	137
<b>CONCLUSÃO</b> .....	139
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	143
<b>APÊNDICE</b> .....	164
<b>A.1 - Índice de Complexidade Econômica (ICE)</b> .....	164
<b>A.2 - Tabelas</b> .....	166
A.2.1 – Indicadores de Vulnerabilidade do ND-GAIN.....	166
A.2.2 – Indicadores de Prontidão para Adaptação do ND-GAIN.....	172
A.2.3 – Ranking entre países ND-GAIN e ECI (2020).....	173
<b>A.3 – Métodos de Estimação</b> .....	176
A.3.1 – Mínimos quadrados ordinários (MQO).....	176
A.3.2 – Estimador de Efeitos Fixos (EF) .....	176
A.3.3 - <i>System Generalized Method of Moments Estimator</i> (SYS-GMM).....	177

A.3.4 - <i>Feasible Generalized Least Squares</i> (FGLS) .....	178
A.3.5 - Efeito Fixo com a abordagem de erros padrão Driscoll e Kraay (DK).....	179
A.3.6 – Diferentes especificações dos Modelos SUR Espacial .....	179
<b>A.4– Resultados dos modelos OLS, FGLS, EF e DK para amostra de 118 países ..</b>	<b>181</b>
<b>A.5 – Efeitos Marginais do modelo SUR Espacial.....</b>	<b>182</b>

## INTRODUÇÃO

A crise financeira de 2008, guerras geopolíticas em diferentes regiões do planeta, polarização política em diversos países, crise humanitária causada pelas migrações e a pandemia da COVID-19, são exemplos de crises que criaram um cenário de grande instabilidade e desafiam os governantes, setor privado e a sociedade em geral nas duas primeiras décadas do século XXI. A junção dessas crises é caracterizada pelos acadêmicos e *policymakers* de “policrise global” (JANZWOOD; HOMER-DIXON, 2022; LAWRENCE, 2024). As policrises consistem na formação de uma complexa teia de desafios que não podem ser resolvidos por soluções simples. Para enfrentá-las são necessários esforços globais coordenados, políticas inovadoras e mudanças transformadoras nas atitudes e comportamentos sociais (LAWRENCE et al., 2024).

Essas crises interligadas são um obstáculo significativo ao desenvolvimento sustentável, que pode ser definido como a busca pelo crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental. Dessa maneira, políticas adaptativas, inovadoras e transformadoras são essenciais para enfrentar esses desafios de forma mais ampla, com o objetivo de promover práticas produtiva sustentáveis, distribuição de renda, proteção de ecossistemas e garantia da justiça social (PELLING, 2010).

Diante desse panorama, na década de 2010, esforços para enfrentamento desses desafios se concretizaram em iniciativas como Quadro de Sendai para a Redução de Risco de Desastre (2015), Quadro da Cúpula Humanitária Mundial (2016), Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (2015) e o Acordo de Paris (2015) sobre Mudanças Climáticas, que representam passos significativos em direção a um futuro mais sustentável e equitativo (ONU, 2015a, 2023a). Nesse contexto, a resiliência surge como um conceito central para a formulação de estratégias que não apenas mitigam os efeitos negativos das crises, mas também fortalecem a capacidade dos sistemas de se adaptarem e transformarem diante de incertezas e surpresas (MEEROW; NEWELL, 2021).

De maneira geral, o conceito de resiliência é amplamente utilizado em diversas disciplinas para descrever a capacidade de sistemas, sejam eles ecológicos, sociais ou econômicos, de absorver distúrbios, reorganizar-se e continuar funcionando em face de choques e mudanças (DALZIELL; MCMANUS, 2004; FOLKE et al., 2010; GALLOPÍN, 2006; WALKER; SALT, 2012). No entanto, quando aplicado para análise de diferentes sistemas, o conceito de resiliência é adaptado de forma que considera as especificidades do cenário em

questão, resultando em abordagens como de resiliência climática (TYLER; MOENCH, 2012), resiliência econômica (SIMMIE; MARTIN, 2010a), resiliência social (KECK; SAKDAPOLRAK, 2013), resiliência urbana (MEEROW; NEWELL; STULTS, 2016), entre outras. Em resumo, essas variações enfatizam a capacidade do mesmo sistema de interesse de resistir, adaptar e transformar em resposta a choques e perturbações internas e externas ao sistema de interesse (PELLING, 2010).

A resiliência foi analisada, no contexto do desenvolvimento sustentável, sob diversas perspectivas, com o intuito de identificar os fatores que a definem e os mecanismos pelos quais operam, como a adaptação e transformação (BROWN, 2015; FOLKE et al., 2002; PERRINGS, 2006). A associação entre resiliência ao desenvolvimento sustentável, enfatiza a sobrevivência a longo prazo de diferentes sistemas, sejam eles humanos, ecológicos, econômicos ou sociais. Entretanto, fatores como ações antropológicas, catástrofes naturais, dependência de recursos, e atividades econômicas podem colocar em risco a sobrevivência desses sistemas (FOLKE et al., 2016). Com base nisso, duas perspectivas são revisadas nesse capítulo serão aplicadas nesta tese: resiliência climática e resiliência econômica

No que se refere as atividades econômicas, o papel da estrutura produtiva no desenvolvimento sustentável foi analisado em diferentes abordagens e escalas (DOSI; NELSON, 1994; MAZZUCATO, 2018a; OCAMPO; RADA; TAYLOR, 2009). Nesse contexto, outros estudos mostraram que a estrutura produtiva é um mecanismo que pode conferir ao sistema econômico a capacidade de ser resiliente diante de eventos adversos (MARTIN et al., 2016; MARTINI, 2020; TUPY et al., 2020). Entretanto, essas literaturas apresentam uma lacuna, pois ainda não analisaram como a relação entre estrutura produtiva e resiliência pode impactar o desenvolvimento sustentável.

A literatura recente sobre complexidade econômica destaca que a diversidade e sofisticação das estruturas produtivas de um país são indicadores significativos do seu conhecimento técnico e capacidade de inovação, aspectos que não são capturados por medidas agregadas tradicionais, como PIB ou dados educacionais (HIDALGO, 2021). Além disso, a complexidade econômica também pode ser vista como um reflexo do nível de desenvolvimento sustentável e da capacidade de adaptação a desafios ambientais (CAN; GOZGOR, 2017; LE CAOUS; HUARNG, 2020).

Estudos que analisam a relação entre estrutura produtiva e questões ambientais destacam a diferença de renda entre países como fator determinante das emissões de gases de efeito estufa e da pegada ecológica (PATA, 2021; RAFIQUE et al., 2022). Como estratégia empírica, alguns desses estudos utilizam o Índice de Complexidade Econômica como *proxy* para medir o nível

de sofisticação e diversificação produtiva desses países (DOĞAN; SABOORI; CAN, 2019; WEN et al., 2021). A partir dessa estratégia, foi evidenciado que a relação entre as variáveis de degradação ambiental e complexidade econômica é positiva em países que estão na primeira fase de crescimento econômico, que precisam expandir a capacidade produtiva. Entretanto, em países de renda alta, onde a estrutura produtiva é mais avançada e sofisticada tecnologicamente, essa relação é negativa (MOHAMMED et al., 2022; NEAGU, 2019; YILANCI; PATA, 2020).

Além disso, a diversificação produtiva, característica das economias complexas, diminui a dependência de setores vulneráveis às mudanças climáticas, como a agricultura tradicional e a exploração de recursos naturais, promovendo maior estabilidade econômica em face às adversidades ambientais (ACEMOGLU et al., 2012). Nesse contexto, a complexidade econômica fornece as bases para a inovação tecnológica, facilitando o desenvolvimento de soluções eficientes para a mitigação dos impactos climáticos. Por exemplo, países com economias complexas são mais propensos a investir em energias renováveis, sistemas de gestão de recursos hídricos e práticas agrícolas sustentáveis, reduzindo sua vulnerabilidade a eventos climáticos extremos (STERN, 2021).

Por outro lado, a complexidade econômica está associada à degradação ambiental. Economias complexas frequentemente dependem de processos industriais sofisticados e de alta intensidade tecnológica que podem resultar em impactos ambientais significativos. A produção de bens complexos, como eletrônicos e produtos químicos, muitas vezes envolve o uso de grandes quantidades de energia e recursos naturais, além da geração de resíduos tóxicos e emissões de gases de efeito estufa (ROCKSTRÖM et al., 2009).

Contudo, embora a complexidade econômica possa inicialmente parecer um fator de risco para a degradação ambiental, ela oferece os meios para desenvolver soluções inovadoras que promovem a sustentabilidade e fortalecem a resiliência econômica. Isso porque, via mecanismos que envolvem a estrutura produtiva diversificada e sofisticada, as economias complexas têm maior capacidade de inovação e adaptação tecnológica. Essas economias podem investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias verdes, implementar práticas de produção mais eficientes e sustentáveis, e promover a diversificação setorial que reduz a dependência de recursos naturais intensivos (MAZZUCATO, 2018b).

Além disso, a presença de instituições robustas e redes colaborativas facilita a disseminação de conhecimento e a coordenação de esforços para mitigar impactos ambientais, transformando desafios em oportunidades para um crescimento econômico sustentável. Essa perspectiva, portanto, permite não apenas enfrentar os desafios ambientais, mas também

fortalecer a economia ao criar setores e mercados, melhorando a resiliência econômica a longo prazo (ACEMOGLU; ROBINSON, 2019).

Portanto, no que se refere a relação entre complexidade econômica e resiliência, existem poucos estudos que abordam essa conexão. As diferenças na capacidade das economias de interagir e combinar uma multiplicidade de conhecimentos úteis na produção podem explicar a resposta diferenciada das economias frente a choques (PINTO; GUERREIRO, 2019). Portanto, a complexidade econômica pode atuar como um fator determinante da capacidade adaptativa, da transformação e da criação de novas formas de produção, contribuindo para uma maior resiliência do sistema econômico. Lapatinas et al., (2022) verificam a relação positiva entre resiliência e complexidade econômica em resposta aos efeitos da crise financeira de 2008 em cidades da União Europeia. Entretanto, não são encontrados estudos que investigam tal relação em um contexto no qual as economias são concomitantemente afetadas por choques econômicos e perturbações constantes, como as mudanças climáticas.

Diante desse panorama e a partir das lacunas na literatura apresentadas, esta tese parte da elaboração da seguinte pergunta: Qual o papel da complexidade econômica para explicar a capacidade diferenciada entre países ou regiões de serem resilientes, em resposta às perturbações constantes e choques econômicos que afetam o desenvolvimento sustentável?

Para responder essa pergunta, esta tese avança ao integrar as literaturas de resiliência e complexidade econômica, argumentando que essa interação é relevante para analisar como países e regiões se reorganizam, adaptam ou se transformam na busca pelo desenvolvimento sustentável, em que as mudanças climáticas, degradação ambiental e crises financeiras são consideradas perturbações constantes ao progresso econômico, social e ambiental em escala regional e global. Para isso, além de explorar o conceito geral de resiliência, os conceitos de resiliência climática e resiliência econômica também são destacados para subsidiar a abordagem teórica proposta nesta tese.

Do ponto de vista aplicado, a tese inclui duas contribuições. Por um lado, integra as três perspectivas discutidas utilizando índices construídos para mensurá-las. Nesses termos, a tese traz avanços metodológicos, uma vez que o modelo econométrico incorpora um índice utilizado especificamente para mensurar os determinantes da resiliência de países frente às mudanças climáticas, o Índice para Países *Notre Dame Global Adaptation Initiative* (ND-GAIN).

A literatura que utiliza o ND-GAIN para analisar a capacidade de adaptação dos países enfatiza principalmente questões ambientais, econômicas e sociais, destacando diversos fatores que influenciam a resiliência frente a essas mudanças. Esse índice é considerado um indicador abrangente devido à inclusão da capacidade de adaptação, frequentemente omitida em outros

índices. Esta capacidade está relacionada a fatores significativos que determinam a pressão que as mudanças climáticas exercem sobre os países (REGAN; KIM; MAIDEN, 2019). Assim, o ND-GAIN se tornou uma importante ferramenta para averiguar o desempenho do financiamento de ações que promovam a adaptação de países frente a mudanças climáticas, e por isso é utilizado nesta tese como *proxy* para testar a relação entre resiliência climática e complexidade econômica.

Em segundo lugar, uma vez verificadas as relações em nível internacional, investigação avança para a escala regional no Brasil. Assim, consideradas as limitações técnicas para mensurar a resiliência, a tese propõe uma análise simultânea entre resiliência e degradação ambiental, ao passo em que ambas têm efeitos da complexidade econômica. Isso é feito através do método *Spatial Seemingly Unrelated Regressions* (doravante, SUR Espacial).

A aplicação do SUR Espacial envolve reconhecer e modelar a interdependência entre variáveis econômicas e sociais em uma abordagem que reflete uma visão do mundo onde as variáveis não operam isoladamente, mas sim interligadas por relações implícitas e externalidades. Nesse caso, embora as variáveis dependentes das equações não sejam explicitamente relacionadas, a presença de correlações nos erros residuais entre elas pode sugerir que há fatores subjacentes comuns que afetam essas variáveis simultaneamente. Adicionalmente, portanto, a abordagem SUR Espacial, reconhece que existem relações implícitas entre variáveis devido a externalidades espaciais, que são efeitos indiretos que uma unidade espacial pode ter sobre outras, sem que esses efeitos sejam diretamente observáveis ou intencionais (LESAGE; PACE, 2009).

Os conceitos de adaptação e transformação, e as capacidades a eles relacionados (adaptabilidade e transformabilidade) estão presentes na literatura que trata da resiliência de diferentes sistemas (FOLKE et al., 2010; WALKER et al., 2004; ZANOTTI et al., 2020). Aqui eles são interpretados como estratégias que possibilitam a capacidade de sistemas econômicos, sociais, humano e ecológicos serem resilientes diante de qualquer evento adverso. Diante disso, a tese busca explorar a relação entre resiliência e complexidade econômica ao investigar se a complexidade econômica é um fator que tem efeitos sobre dois tipos de resiliência: climática e econômica.

A partir da abordagem da Curva Ambiental de Kuznets, a relação entre complexidade econômica e emissões de CO<sub>2</sub> traduz a estrutura produtiva e degradação ambiental como fatores que afetam negativamente o desenvolvimento sustentável a curto prazo, mas a longo prazo é capaz de garantir a sustentabilidade do crescimento econômico (DINDA, 2004; STERN, 2017).

Por fim, o desenvolvimento sustentável pode ser possível quando diferentes sistemas se adaptam diante de um choque, ao renovarem suas estruturas para continuar existindo (WALKER et al., 2004). Mas, quando o sistema atinge um limiar de aprisionamento em uma estrutura que não se desenvolve a longo prazo, a transformação para um novo sistema também é uma tarefa desafiadora, que requer uma abordagem estratégica e mudanças profundas em diversos níveis para alcançar a sustentabilidade e a resiliência desejadas (JOHNSON et al., 2018).

O objetivo desta tese, portanto, é fornecer uma abordagem integrada que conecte resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável, oferecendo uma nova perspectiva para enfrentar os desafios globais contemporâneos. Para isso, a tese explora o conceito de resiliência, suas abordagens e principais conceitos a ele conectados. Depois, parte para revisar a literatura sobre complexidade econômica a fim de identificar formas em que essa literatura se conecta à literatura de resiliência. O próximo passo, foi destacar como a relação resiliência e complexidade econômica afeta o desenvolvimento sustentável, utilizando as temáticas das mudanças climáticas e degradação ambiental como contexto subjacente. Por fim, testes empíricos são realizados a fim de evidenciar essas relações. Esta tese, portanto, se insere no debate sobre como garantir o bem-estar, a igualdade de renda e a proteção ao meio ambiente tanto para a geração atual quanto para as futuras.

Esta tese é composta por cinco capítulos. Neles esses conceitos são explorados e esclarecidos de forma oferecer o embasamento teórico para responder o problema de pesquisa. Assim, o Capítulo 1 destaca que a definição fundamental de resiliência presente na literatura de sistemas complexos, juntamente com os conceitos chave a ela interligados (adaptação, adaptabilidade, transformação e transformabilidade), que fundamentam as aplicações e interpretações dessa propriedade em diversas áreas da ciência. Argumenta-se, assim, que o conceito de resiliência possui um sólido respaldo teórico e ampla aplicabilidade para analisar questões intrincadas pertinentes ao desenvolvimento sustentável, como as que são exploradas nesta tese. Além disso, o capítulo também explora as definições de resiliência climática e resiliência econômica, que serão posteriormente, testadas empiricamente.

A relação entre resiliência, complexidade econômica e sustentabilidade é apresentada no Capítulo 2. Primeiramente, o capítulo enfatiza que as mudanças climáticas e degradação ambiental são fatores que impactam essas três dimensões. Isso porque, mudanças climáticas e a degradação ambiental se relacionam por meio das interações entre clima, ecossistema, biodiversidade, sociedade e economia. Nesse capítulo, a estrutura produtiva é considerada como um dos fatores que impactam a sustentabilidade ambiental de um país ou região, por meio

da complexidade econômica. Por fim, o Capítulo 2 destaca o papel da complexidade econômica e resiliência no desenvolvimento econômico sustentável. Sobretudo, o capítulo argumenta que a estrutura produtiva extrapola as relações econômicas entre os agentes, e influencia outras questões pertinentes ao funcionamento do sistema global, como a resiliência.

O Capítulo 3 testa a relação resiliência climática e complexidade econômica em países com diferentes níveis de renda. Neste caso, a hipótese é de que diferentes níveis de renda implicam em diferentes capacidades de adaptação de estruturas produtivas, sociais e ecológicas para enfrentamento dos efeitos negativos das mudanças climáticas. Para isso, o *System Generalized Method of Moment (System GMM)* foi aplicado em uma amostra de 121 países, composta por 42 países de renda alta, 66 de renda média e 13 de renda baixa. Os resultados mostram que a complexidade econômica exerce um efeito positivo sobre a capacidade dos países estarem aptos para responder aos impactos das mudanças climáticas. Entretanto, embora a complexidade econômica melhore a resiliência climática em países de renda média, esse efeito positivo é menos pronunciado em comparação com os países de renda alta.

Por fim, o Capítulo 4 testa a relação entre resiliência econômica, complexidade econômica e degradação ambiental no contexto econômico do Brasil. O objetivo desse capítulo foi analisar tal relação utilizando dados de 503 regiões imediatas brasileiras. A hipótese avaliada é se a sofisticação produtiva pode ser um caminho para tornar a economia dessas regiões mais resiliente, ao mesmo tempo em que contribui para mitigação dos efeitos da degradação ambiental a longo prazo. Para isso, os efeitos da complexidade econômica sobre a resiliência econômica e degradação ambiental são testados de forma direta, e de forma indireta a relação entre resiliência econômica e emissões de CO<sub>2</sub>.

Para isso, foi utilizado um modelo de regressões espaciais aparentemente não relacionadas (*Spatial Seemingly Unrelated Regressions - Spatial SUR*), que permite capturar a relação implícita entre resiliência econômica e emissões. Utilizar o modelo SUR Espacial é particularmente motivado pela necessidade de considerar a estrutura espacial dos dados, com a finalidade de proporcionar estimativas mais precisas e robustas em contextos em que as dependências espaciais são significativas. Essa abordagem melhora a capacidade de realizar inferências válidas e previsões confiáveis. Assim, esse método permite avaliar como variações nas variáveis de interesse em uma região influenciam as mesmas variáveis de regiões vizinhas.

O choque analisado no capítulo é a recessão econômica brasileira entre os anos de 2014 e 2016, seguida de estagnação econômica entre 2017 e 2019. A recessão econômica no país foi marcada pela conjunção das crises política e econômica, na qual a retração industrial e a diminuição da demanda mundial por *commodities* foram fatores cruciais para a desaceleração

da atividade econômica. Para mensurar a resiliência econômica das regiões imediatas do Brasil nos períodos de crise e pós-crise foram utilizados os indicadores de resistência e recuperação propostos por Martin et al. (2016).

Os resultados apresentaram evidências empíricas de que a sofisticação produtiva pode ser um caminho para tornar uma economia mais resiliente ao mesmo tempo em que pode contribuir para torná-la mais sustentável. A não linearidade da complexidade econômica tanto nas equações da resiliência, quanto nas equações das emissões e CO<sub>2</sub> também foi observada. Isso sugere que a complexidade econômica regional tem poder preditivo para explicar a recuperação das regiões durante o período de 2017/2019. Além disso, o impacto da complexidade na resiliência é positivo e quadrático, indicando que o seu efeito tende a se intensificar em regiões de média e alta complexidade. A mesma metodologia foi utilizada para examinar a relação entre complexidade econômica e emissões de CO<sub>2</sub>, evidenciando a Curva Ambiental de Kuznets por meio deste exercício. Por fim, o modelo de equações simultâneas demonstrou uma relação positiva implícita entre as variáveis *proxies* de resiliência e de degradação ambiental.

O Capítulo 4, entretanto, é uma tentativa inicial de examinar a perspectiva teórica sugerida para o Brasil. Dessa forma, proporciona uma análise preliminar, considerando que há uma carência de informações, e que as diversidades estruturais e espaciais restringem as pesquisas sobre o assunto no Brasil, o que cria oportunidades para novas abordagens empíricas para investigar as relações entre resiliência e complexidade econômica em distintas regiões brasileiras.

Por último, a tese apresenta uma seção de conclusão que sintetiza os principais resultados e contribuições à discussão sobre desenvolvimento sustentável, resiliência e estruturas produtivas, e aponta para a possibilidade de avanços e desdobramentos em pesquisas futuras, incentivando a continuidade das discussões e a aplicação dos resultados obtidos.

## CAPÍTULO 1 – RESILIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### Introdução

O conceito de resiliência transpassa diferentes abordagens teóricas como a resiliência psicológica (FLETCHER; SARKAR, 2013; SISTO et al., 2019), resiliência socioecológica (BOLLETTINO et al., 2017; CRETNEY, 2014), resiliência econômica (BRIGUGLIO et al., 2009; ROSE, 2007) e resiliência climática (BAHADUR; IBRAHIM; TANNER, 2013; MOENCH, 2018). Essa amplitude de interpretações funcionais e dinâmicas da resiliência leva, portanto, a diferentes abordagens operacionais (TANNER; BAHADUR; MOENCH, 2017).

Este capítulo apresenta uma discussão teórica através de trabalhos acadêmicos de diferentes áreas da ciência que discutem o conceito de resiliência e seus conceitos-chave a eles relacionados, como adaptação e transformação. A motivação para este capítulo está relacionada às críticas quanto o uso do tema, principalmente, quando aplicado nas ciências econômicas. Tais críticas se fundamentam no surgimento de diferentes interpretações da resiliência, o que culminou em diferentes abordagens teóricas, e na ausência de uma definição precisa e universalmente acordada da noção de resiliência (WALKER; SALT, 2012).

Entretanto, apesar dessa variedade, as diferentes abordagens do conceito fornecem ferramentas para avaliar, adaptar e fortalecer a capacidade de resposta de sistemas complexos frente a choques, perturbações e mudanças lentas. Sobretudo, o emprego do conceito contribui para a construção da Agenda do Desenvolvimento Sustentável, que tem como foco a integração de práticas econômicas, sociais e ambientais para promover um desenvolvimento equilibrado e duradouro (NÜCHTER et al., 2021).

O objetivo do capítulo é esclarecer que, embora existam diversas aplicações do conceito, a resiliência apresenta valor teórico para fundamentar a formulação de estratégias e políticas que tratam da capacidade de adaptação e de transformação de diferentes tipos de sistemas.

Além disso, o capítulo reforça que, essencialmente, a definição base de resiliência presente na literatura de sistemas complexos, assim como os conceitos chave de adaptação, adaptabilidade, transformação e transformabilidade, ancoram as aplicações e interpretações dessa propriedade em diferentes áreas da ciência, o que pode justificar a sua utilização em diferentes estudos que analisam as capacidades de sistemas para responderem a mudanças, perturbações ou choques.

Com isso, argumenta-se que o conceito de resiliência possui respaldo teórico e aplicabilidade para analisar questões profundas, como as que serão explorada nesta tese. O

principal exercício deste capítulo é compreender os principais conceitos que se relacionam com a resiliência e como eles são empregados nas diferentes abordagens teóricas da resiliência. Esse pode ser um caminho possível para esclarecer suas aplicações e contribuições analíticas da resiliência. Com base nisso, duas perspectivas são revisadas nesse capítulo serão aplicadas nesta tese: resiliência climática e resiliência econômica.

Este capítulo está dividido da seguinte maneira: na seção 1.1 a resiliência é definida como uma propriedade de sistemas adaptativos complexos, uma vez que são interpretados como organismos em processos de mudanças constantes (perturbações) com às quais aprendem e se adaptam. A seção 1.2, traz a abordagem da resiliência em sistemas socioecológicos e suas tipologias. A seção 1.3 apresenta os principais conceitos pertinentes ao processo de construção da resiliência em diferentes contextos. As seções 1.4 e 1.5 apresentam as abordagens de resiliência climática e resiliência econômica, respectivamente. Por fim, a seção 1.6 integra ao escopo da sustentabilidade, todos os conceitos e abordagens relacionados à resiliência discutidos ao longo do capítulo.

### **1.1– Resiliência: uma propriedade dos Sistemas Adaptativos Complexos**

Sistemas como o imunológico, cerebral, ecológico e econômico exibem complexidades que desafiam a simulação do seu comportamento, por meio de equações matemáticas e métodos computacionais. Isso porque, esses sistemas estão em constante evolução e são objetos de estudo em movimento, que mudam e reorganizam seus componentes para se adaptarem a mudanças no ambiente (HOLLAND, 1992a).

Apesar da complexidade específica de cada um desses sistemas, eles apresentam uma estrutura de evolução semelhante, o que torna possível agrupá-los sob um nome comum: sistemas adaptativos complexos (*Complex Adaptive Systems – CAS*). Os sistemas adaptativos complexos envolvem muitas partes, formadas por muitos componentes, que estão submetidos a um conjunto de interações simultâneas, que mudam de padrão ao longo do tempo. Sobretudo, os sistemas adaptativos complexos têm a capacidade de se adaptarem a essas mudanças de padrão, ou a mudanças geradas por fatores externos ao sistema (HOLLAND, 1992a). De modo geral, pode-se definir um sistema adaptativo complexo como “um sistema em que grandes redes de componentes, sem controle central e regras de funcionamento, dão origem a um comportamento coletivo complexo, processamento de informação sofisticado, e adaptação através da aprendizagem ou evolução” (MITCHELL, p. 13, 2009, tradução nossa).

A resiliência dos sistemas adaptativos complexos, portanto, trata da capacidade desses componentes de se adaptarem ou reorganizarem diante de uma perturbação, mas mantendo,

essencialmente, a mesma função, estrutura, identidade e feedbacks, (WALKER et al., 2004). Assim, a resiliência pode ser definida como uma propriedade dinâmica de sistemas complexos, que requer mudança nas principais atividades do sistema. Portanto, um sistema é considerado resiliente quando possui a habilidade de adaptação em relação às perturbações internas ou externas, alterando o modo de operação e mantendo a funcionalidade (BARABÁSI, 2016).

A importância da estrutura no processo adaptativo desses sistemas é expressa nas questões de otimização que são dificultadas por complexidades substanciais e incertezas. Na busca de soluções para tais problemas, a adaptação parece se estabelecer como um processo fundamental. A adaptação pode ser definida como propriedade de estruturas geradas por planos adaptativos, que são responsáveis por determinar quais estruturas surgem em resposta ao ambiente. Os planos adaptativos representam um conjunto de fatores que controlam uma mistura de operadores que agem sobre as estruturas, em diferentes momentos (HOLLAND, 1992b). Nesse contexto, a adaptação é resultado desses planos adaptativos que permitem que um sistema possa lidar, gerenciar ou ajustar-se a alguma mudança de condição, estresse, perigo, risco ou oportunidade (SMIT; WANDEL, 2006).

Segundo Owen (2020), um sistema é adaptável quando tem capacidade de responder de forma eficaz às perturbações, mudanças e choques para gerenciar e reduzir efeitos negativos. Uma segunda forma de configuração da adaptação de sistemas complexos é a capacidade de reduzir a vulnerabilidade a danos quando expostos a riscos. A terceira é a capacidade de continuar funcionando quando confrontado por choque ou perturbação. Segundo o autor, por serem interligadas, estas capacidades oferecem uma definição geral para a adaptação, mas também podem ser utilizadas individualmente.

Essa seção apresentou o conceito de resiliência na perspectiva da literatura de sistemas adaptativos complexos. A próxima, realiza o mesmo exercício para a literatura de sistemas socioecológicos. Ambos são relevantes para enquadramento da economia como um sistema adaptativo e socioecológico, que é realizado na seção 1.5.

## **1.2 - A Resiliência de Sistemas Socioecológicos**

Preiser et al. (2018) argumentam que o estudo dos sistemas socioecológicos (*Socioecological Systems* - SES) foi significativamente moldado pelas reflexões da pesquisa sobre sistemas adaptativos complexos. Para os autores, os pressupostos que moldaram os métodos, teorias e abordagens de pesquisa sobre os sistemas socioecológicos e o pensamento sobre resiliência vêm de suposições subjacentes das características e dinâmicas dos sistemas

adaptativos complexos. Com isso, a compreensão de como resiliência é conduzida nos sistemas socioecológicos também derivam desses pressupostos.

Assim, os sistemas socioecológicos são sistemas adaptativos complexos em que os agentes interagem de formas não planejadas e imprevisíveis. Esses agentes estão subjacentes ao surgimento de padrões de interações em escala mais ampla, que retroalimentam o sistema e influenciam suas interações (WALKER et al., 2006). Os sistemas socioecológicos, portanto, são sistemas que integram os processos e componentes socioeconômicos e biofísicos, reconhecendo a interdependência e a interação entre os seres humanos e a natureza. Esses sistemas são complexos, dinâmicos e sujeitos a incertezas e surpresas, o que requer uma abordagem integrada, sistêmica e adaptativa para que sejam compreendidos e gerenciados (FOLKE et al., 2016).

Os estudos sobre a resiliência dos sistemas socioecológicos se iniciam quando Holling (1973, p.4, tradução nossa) introduz a ótica de não equilíbrio da ecologia na análise, como “uma medida de persistência dos sistemas e de sua capacidade de absorver mudanças e perturbações e ainda manter as mesmas relações entre populações ou variáveis de estados”. A resiliência socioecológica centra-se explicitamente na compreensão de como os períodos de mudança gradual interagem com períodos de mudança rápida em sistemas socioecológicos interligados, confrontados com a verdadeira incerteza, e o que isso significa para as pessoas e para o planeta (FOLKE, 2016).

A resiliência de sistemas adaptativos complexos socioecológicos pode ser entendida através de três dimensões principais: resiliência de engenharia, que se concentra na rapidez de recuperação após um choque; resiliência ecológica, que se refere à capacidade do sistema de absorver distúrbios sem alterar suas funções fundamentais; e resiliência evolutiva, que considera a capacidade de um sistema de se transformar e inovar em resposta a mudanças ambientais (FOLKE et al., 2016).

A resiliência de engenharia mede a resiliência de um sistema através da velocidade na qual o sistema retoma ao ponto estável, após uma perturbação. O conceito de estabilidade é adicionado à concepção de resiliência e se concentra no comportamento do sistema próximo a um ponto ou trajetória de equilíbrio (GALLOPÍN, 2006). Na noção de resiliência de engenharia, um sistema que seja mais resistente (ou sensível) a perturbações e que retorna rapidamente a seu estado de equilíbrio (pré-perturbação) é considerado mais resiliente do que um sistema que, quando submetido à mesma perturbação, não só tem uma reação muito mais pronunciada a ela, mas também leva mais tempo para voltar ao seu equilíbrio ou estado estacionário (MARTIN, 2012).

A segunda tipologia, resiliência ecológica, se concentra no papel das perturbações em empurrar um sistema além de seu ponto de equilíbrio, podendo o novo equilíbrio ser diferente do inicial, ou seja, é um conceito que permite múltiplos equilíbrios. Neste caso, a resiliência é medida pela magnitude da perturbação que pode ser absorvida antes que o sistema mude de forma, função ou posição (FINGLETON; GARRETSEN; MARTIN, 2012). A resiliência, neste caso, está relacionada à capacidade de um sistema multiestável de manter os valores de suas variáveis de estado dentro de um determinado domínio de estabilidade<sup>1</sup>, diante de uma perturbação. Assim, o foco não está na estabilidade ou na constância do estado, mas sim na magnitude da perturbação que pode ser absorvida antes que o estado do sistema saia do seu domínio de estabilidade.

Para Holling (1973) as diferenças na definição refletem dois aspectos diferentes da estabilidade. A resiliência ecológica foca na persistência, mudança e imprevisibilidade, características celebradas por biólogos com uma perspectiva evolutiva e por aqueles que procuram projetos com falhas seguras. Enquanto a resiliência de engenharia concentra-se na eficiência, constância e previsibilidade, o que caracteriza os anseios de engenheiros por atributos perfeitos de um projeto à prova de falhas. Davoudi et al. (2012), entretanto, destaca que apesar dessas diferenças e do fato de estarem enraizadas em diferentes tradições disciplinares, o que sustenta ambas as perspectivas de engenharia e ecológica da resiliência é a confiança na existência de equilíbrio nos sistemas, seja ela preexistente à qual um sistema resiliente se recupera (engenharia) ou um novo aquele para o qual ele muda (ecológico).

A resiliência evolutiva, por outro lado, tem como característica central a aceitação do não equilíbrio como uma condição normal para os sistemas socioecológicos. Ao contrário da visão tradicional de que os sistemas tendem a retornar a um estado de equilíbrio após uma perturbação, a resiliência evolutiva reconhece que os sistemas estão frequentemente em estados de mudança e reorganização contínua. Este enfoque no não equilíbrio permite uma compreensão mais dinâmica e realista dos processos ecológicos e sociais, onde a variabilidade e a incerteza são vistas como inerentes ao funcionamento dos sistemas (DAVIDSON et al., 2016).

---

<sup>1</sup> O domínio de estabilidade ou atração trata de uma parte do espaço de estados de um sistema dinâmico, que contém um atrator para o estado “objetivo”, ou seja, um estado para o qual o sistema tende a ir. Cada estado do sistema, neste caso, é representado por um ponto no espaço de estados. Sendo assim, se o estado do sistema muda, a sucessão de estados ao longo do tempo pode ser definida como trajetória. O estado de um sistema, por sua vez, se refere a qualquer condição bem definida, que é visível em diferentes momentos. Ou seja, um conjunto de valores adotados por todas as variáveis do sistema em um dado instante, e que podem ser observados em diferentes momentos, caso nenhuma perturbação aconteça (GALLOPÍN, 2006).

A resiliência evolutiva refere-se à capacidade dos sistemas de não apenas se adaptar, mas também de se transformar em resposta a mudanças e desafios ambientais, sociais e econômicos. Este conceito vai além da simples recuperação e adaptação, englobando a habilidade dos sistemas de evoluir e inovar continuamente (BOSCHMA, 2015). A resiliência evolutiva é fundamental para a sustentabilidade a longo prazo, pois reconhece que os sistemas estão em constante mudança e que a transformação é uma resposta necessária para lidar com pressões complexas e dinâmicas. Desse modo, essa tipologia sublinha a importância da transformação contínua e inovadora para enfrentar desafios complexos e dinâmicos, sendo assim, é crucial para enfrentar crises prolongadas, como as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade, pois permite que os sistemas socioecológicos se adaptem e evoluam em direção a estados mais sustentáveis (OLAZABAL, 2017).

Esse conceito, portanto, amplia a compreensão tradicional de resiliência, enfatizando a necessidade de evolução adaptativa e inovação contínua para alcançar a sustentabilidade a longo prazo. A integração da resiliência evolutiva nas políticas e práticas de gestão pode ajudar a construir sistemas socioecológicos mais robustos e capazes de prosperar em um mundo em constante mudança (BOSCHMA, 2015).

Após a discussão sobre o conceito de resiliência em diferentes sistemas, a próxima seção parte para apresentação de quatro conceitos essenciais para tratar dessa propriedade em diferentes contextos.

### **1.3 - Conceitos-chave relacionados com a Resiliência**

#### **1.3.1 – Adaptação e Adaptabilidade**

Adaptação e adaptabilidade (ou capacidade adaptativa) são conceitos que se relacionam e que podem explicar diferentes tipos de resiliência. A adaptação pode explicar, por exemplo, a resiliência baseada na renovação de um sistema em resposta a mudanças, perturbações e choques. A adaptabilidade, por sua vez, explica a resiliência baseada na inovação, ou seja, na capacidade de readequar a estrutura existente para lidar com eventos imprevistos.

A adaptação é caracterizada por ligações justas e fortes entre os agentes de um sistema, colocando-o em um movimento em direção a uma estabilidade pré-concebida, como resposta a um evento perturbador. A adaptabilidade, por outro lado, está relacionada a ideia de flexibilidade. Isso significa que um sistema tem a capacidade dinâmica para efetuar e desdobrar múltiplas trajetórias, uma vez que as ligações entre os agentes são fracas, o que possibilita a melhor capacidade de resposta geral do sistema a mudanças imprevistas (PIKE; DAWLEY; TOMANEY, 2010).

A adaptabilidade é a capacidade de um sistema socioecológico aprender, integrar experiência e conhecimento, adaptar suas respostas diante das mudanças nos fatores externos e internos, e continuar a se desenvolver dentro dos limites do domínio de estabilidade atual. Portanto, a capacidade adaptativa é “um processo precursor da auto-organização, por exemplo, a adaptação a um estado desejável antes de a auto-organização poder começar, ou um subprocesso, por exemplo, a adaptação para melhorar a auto-organização atual” (BIRDSEY; SZABO; FALKNER, 2017, p. 132). Assim, a adaptabilidade permite a condução de um sistema como um todo a novos estados desejáveis.

A adaptabilidade também é uma propriedade crítica dos sistemas adaptativos complexos, e assim como a resiliência, é difícil de analisar em cenários do mundo, pois ela apresenta restrições de desempenho, mensuração e ferramentas de análise. Por exemplo, há uma certa confusão em relação à distinção entre resiliência e adaptabilidade. Uma perspectiva acadêmica sugere que a adaptabilidade se refere à habilidade ou potencial de sistemas ou de seus componentes em lidar com distúrbios de maneira resiliente. Por outro lado, outra perspectiva considera a adaptabilidade como a parte da resiliência que envolve o "aprendizado" dos sistemas em resposta a distúrbios. (BAHADUR; IBRAHIM; TANNER, 2013).

Nesse contexto, visto que a resiliência trata de processos de mudanças e trajetórias de longo prazo, a adaptação e adaptabilidade são processos e recursos que operam para manter a função de um sistema de forma que não leve a perdas futuras. Assim, enquanto a adaptação é influenciada, simultaneamente, por fatores sociais, ambientais, políticos e econômicos que atuam como estressores do sistema socioecológico, a adaptabilidade permite ações de enfrentamento e elaboração de estratégias para diferentes magnitudes, espacialidade e outras especificidades desses fatores (NELSON, 2011).

### 1.3.2 – Transformação e Transformabilidade

Embora na definição geral um sistema é resiliente se for capaz de resistir a mudanças de estados de estabilidade, considerar os processos em que o sistema é resiliente ao se transformar para um estado melhor que o anterior também é relevante. Carr (2019) argumenta que é preciso assumir as noções de transformação e novas trajetórias no enquadramento de resiliência. Segundo o autor, as discussões sobre transformação são pertinentes quando a resiliência é vista como fornecendo o ambiente favorável para uma mudança em todo o sistema. Assim, se faz necessário, cada vez mais, novos estudos, proposições de políticas, programas e projetos setoriais que visem romper estruturas ineficazes e, conseqüentemente, suas formas de resiliência.

A resiliência e a transformação não são opostos. Em alguns casos, existe a necessidade de realizar mudanças fundamentais em um sistema transformando-o como todo, ou em partes, para que o novo sistema seja capaz de entregar o que é desejável (WALKER, 2020). Sendo assim, apesar da resiliência expressar a capacidade de um sistema se adaptar a perturbações, sem ultrapassar seus limites de funcionalidade, em certos casos, ser resiliente também significa ser capaz de se transformar quando necessário, como forma de garantir a existência do sistema.

Isso porque, quando a estrutura de um sistema não equilibrado é levada além do limiar de funcionalidade, um novo regime surge com o sistema evoluindo para novos pontos de estabilidade, com uma nova estrutura característica (GALLOPÍN, 2006). A transformação, portanto, também pode ser parte essencial de um sistema adaptativo complexo. Essa propriedade pode implicar vários processos de adaptação em evolução em várias escalas, que culminam em uma mudança para um novo sistema (JOHNSON et al., 2018).

A transformação, entendida como um processo deliberado ou forçado de mudanças nas condições ambientais, acontece devido à capacidade prévia de transformabilidade do sistema. A transformabilidade, portanto, é a capacidade de alterar fundamentalmente a natureza de um sistema. Ou seja, é a capacidade de criar começos não experimentados quando as estruturas do sistema se tornam insustentáveis (WALKER et al., 2004). Para Folke et al. (2010), a transformabilidade é a capacidade de cruzar limiares para novas trajetórias de desenvolvimento. Neste caso, o sistema tem a capacidade de mudar o ambiente de estabilidade para se transformar em um sistema diferente. Este novo sistema é criado, fundamentalmente, por novas estruturas visto que as anteriores tornavam o sistema insustentável.

Diante dos conceitos apresentados nessa seção, as seções seguintes apresentam duas abordagens de interesse para essa tese: resiliência climática e resiliência econômica. Para isso, será evidenciado que os conceitos de adaptação, transformação, adaptabilidade e transformabilidade estão presentes nas duas abordagens, o que permite traçar um padrão de como o conceito de resiliência é empregado no contexto de enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas e nos fatores econômicos que têm efeitos sobre a capacidade de resposta de países e regiões diante de choques adversos.

#### **1.4 – Resiliência Climática**

A resiliência climática diz respeito à capacidade de sistemas naturais, sociais e econômicos de absorver e se recuperar dos impactos adversos das mudanças climáticas, mantendo ou melhorando seu funcionamento essencial e sua estrutura (TYLER; MOENCH, 2012). Este conceito é central para a formulação de políticas e estratégias que visam mitigar os

efeitos das mudanças climáticas e garantir a sustentabilidade a longo prazo (SCHLEUSSNER et al., 2021).

A resiliência climática é um conceito multifacetado que abrange adaptação, mitigação, recuperação e transformação. Essas capacidades são cruciais para enfrentar os impactos das mudanças climáticas e construir um futuro sustentável e resiliente para todas as comunidades e ecossistemas (ADGER et al., 2011). Por ser multifacetada, a resiliência climática envolve não apenas a capacidade de enfrentar eventos extremos, como tempestades, inundações e secas, mas também a habilidade de lidar com mudanças graduais, como o aumento do nível do mar, mudanças nos padrões de precipitação e aumento das temperaturas médias (MEEROW; NEWELL, 2021). A construção de resiliência climática, portanto, é fundamental para proteger comunidades vulneráveis, preservar ecossistemas e assegurar a continuidade das atividades econômicas (IPCC, 2022).

Estudos sobre o papel da adaptação no processo de resiliência têm se destacado na literatura com o objetivo de propor ações que tornem sistemas resilientes às grandes mudanças desse século (JOHNSON et al., 2018). No âmbito das questões climáticas, a adaptação pode ser implementada e observada por meio de políticas do poder público e privado, como resposta às mudanças reais e futuras. Ou seja, a adaptação pode ser realizada por meio de ações deliberadas, empreendidas para reduzir as consequências adversas, assim como para aproveitar oportunidades benéficas (MOORE; SCHINDLER, 2022).

A adaptação se dá por meio de ajustes nos sistemas sociais, humanos e naturais frente às mudanças climáticas reais ou esperadas (AGRAWALA; FANKHAUSER, 2008). Portanto, ela implica na implementação de políticas e ações que permitam aos sistemas ajustarem-se a novas condições climáticas. Isso inclui a construção de infraestrutura resistente ao clima, práticas agrícolas adaptativas e a gestão sustentável dos recursos hídricos, por exemplo (PELLING, 2010).

As abordagens recentes de resiliência caminham para integração das ações de mitigação e adaptação, para um resultado sustentável (IPCC, 2018). A capacidade de mitigação, outro elemento essencial, refere-se ao desenvolvimento de mecanismos para a recuperação rápida após eventos climáticos extremos, como sistemas de alerta precoce, planos de emergência e redes de suporte comunitário. A mitigação pode ser realizada por meio de ações de redução de fontes de gases de efeito estufa, controle de desmatamento e redução de contaminação das águas (ANDERSON et al., 2019). Assim, os esforços para mitigação dos impactos gerados pela mudança climática e degradação ambiental objetivam soluções a curto prazo. Com isso, as

estratégias de mitigação se somam ao crescente movimento global para tornar comunidades e ecossistemas mais resistentes aos impactos das mudanças climáticas (SCHIPPER et al., 2020).

O fortalecimento da resiliência climática é desenvolvido e implementado através de diversas estratégias formuladas por governos, organizações internacionais e organizações não governamentais (ONU, 2015b). Algumas dessas estratégias envolvem: i) investimento em infraestrutura verde; ii) programas de adaptação agrícola para ajudar os agricultores a enfrentarem as mudanças nos padrões de precipitação e temperaturas; e iii) iniciativas de conservação e restauração de ecossistemas, como manguezais e recifes de corais, também são cruciais, pois atuam como barreiras naturais contra eventos climáticos extremos, além de promover a biodiversidade (MOENCH, 2018).

A dificuldade aparente dos formuladores de políticas públicas diante de mudanças climáticas, entretanto, está em assegurar que os recursos empregados na mitigação dos impactos e construção de capacidade adaptativa (financiamento verde, investimento em tecnologias limpas, reestruturação industrial e capacitação do capital humano, por exemplo) sejam bem gerenciados para que haja efetivamente a promoção da resiliência (ADGER et al., 2011).

Além disso, a disparidade entre nações quanto às capacidades de adaptação e resiliência diante dos impactos climáticos é um importante desafio a ser enfrentado. Isso porque, as barreiras que dificultam a adaptação nos países renda média e renda baixa são mais persistentes, e se perpetuam devido às desigualdades que existem em diferentes dimensões (SHACKLETON et al., 2015). Nesses países, o esforço para criar a capacidade de adaptação é maior, e o sucesso de tal esforço exigirá um desenvolvimento que coloque as questões de equidade, justiça e sustentabilidade no centro do debate (IPCC, 2018).

Schipper et al. (2020) argumentam, porém, que o desenvolvimento global não se adapta às mudanças climáticas, uma vez que ainda existem diferenças de garantia de igualdade e bem-estar entre as nações. Para o autor, isso implica a existência de um déficit de adaptação e/ou o insucesso de estratégias políticas e medidas para gerir a variabilidade climática existente. Ainda, de acordo com os autores, os déficits de adaptação são pré-existent e são construídos pela crescente carga de perdas causadas por desastres, desigualdade generalizada e deficiências no bem-estar, emprego, saúde, educação, justiça e governança. Somam-se a esses fatores, outros que perpetuam a vulnerabilidade estrutural de nações gerada, historicamente, pelo colonialismo, hegemonia e desigualdade de renda.

O conceito de transformação anteriormente apresentado também aparece na literatura que trata de resiliência climática. Nesse contexto, a transformação implica em mudanças radicais e abrangentes nos sistemas socioeconômicos e ambientais. A transformação, em

especial, é uma abordagem que vai além dos ajustes incrementais, demandando uma reavaliação completa dos sistemas que estruturam nossas sociedades, economias e interações com o meio ambiente (OLAZABAL, 2017). O conceito envolve mudanças fundamentais para criar sistemas mais robustos e sustentáveis, como mudanças nos modos de produção e a restauração de ecossistemas degradados. A transição para economias de baixo carbono é um exemplo claro de transformação, pois exige uma mudança profunda na maneira como a energia é produzida, distribuída e consumida, além de implicar na reconfiguração de setores inteiros, como o de transportes e o industrial (IPCC, 2022).

Isso significa, portanto, promover mudanças estruturais que não apenas respondam aos desafios climáticos imediatos, mas também criem condições para uma resiliência de longo prazo. Para isso, a redefinição de práticas de desenvolvimento urbano, a promoção de novas formas de governança que incentivem a participação comunitária e a inovação tecnológica, são estratégias que necessitam ser implementadas por políticas que incentivem a sustentabilidade e a justiça social (ROMERO-LANKAO et al., 2016).

Entretanto, no caminho da mudança de paradigmas econômicos, através da adoção de modelos que priorizem a sustentabilidade e a equidade social, a construção de resiliência climática também enfrenta desafios relacionados à necessidade de financiamento adequado, a coordenação entre múltiplos setores e níveis de governo, e a inclusão das comunidades mais vulneráveis no processo de planejamento (IPCC, 2022).

Ainda assim, as oportunidades significativas para a construção da resiliência climática envolvem algumas ações como a criação de empregos verdes, o fortalecimento das comunidades locais e a promoção de uma economia mais sustentável e equitativa (MISHRA, 2017). Tais oportunidades podem ser resultado da reorganização, adaptação e transformação. Pois, as mudanças climáticas representam uma ameaça significativa à estabilidade econômica, social e ambiental, exigindo soluções que integrem a mitigação dos impactos climáticos com o desenvolvimento sustentável.

Depois de apresentada a abordagem da resiliência para tratar de eventos climáticos extremos, a próxima seção apresenta o conceito de resiliência econômica. Essa abordagem, além de conter os conceitos de adaptação e transformação presentes no conceito de resiliência climática, também é essencial como fator que contribui para o desenvolvimento social e igualitário de países e regiões.

## 1.5 – Resiliência Econômica

### 1.5.1 - A economia como um sistema adaptativo complexo

No final da década de 1980, liderado pelo *Santa Fe Institute*<sup>2</sup>, os debates sobre a teoria da economia da complexidade são intensificados, de forma a explorar a economia como um sistema complexo e em evolução (ARTHUR, 1992). Nessa abordagem, a economia é analisada como um sistema adaptativo complexo, pois apresenta as características que definem esse tipo de sistema. Primeiro, possuem muitas partes morfológicas, ou seja, são compostos por agentes heterogêneos organizados. Segundo, exibem variedades dinâmicas não lineares, com seus componentes operando em diferentes escalas temporais e espaciais. Terceiro, se mantém fora do equilíbrio, apresentando amplas flutuações econômicas no longo prazo. Quarto, respondem de forma adaptativa às mudanças em sua estrutura. Por fim, quinto, tem histórias irreversíveis. Ou seja, fenômenos sociais são produtos de ações individuais, dentro de um determinado ambiente institucional, e em circunstâncias precisas de tempo e espaço (FONTANA, 2010).

Mitchell (2009) esclarece o enquadramento da economia ao grupo de sistemas adaptativos complexos pelo fato de seus componentes (pessoas, empresas, instituições) apresentarem comportamento coletivo complexo e de difícil previsão. As interações na economia acontecem a nível microscópico, em que os componentes buscam otimizar seus resultados, adaptando seus comportamentos de acordo com as mudanças de comportamento dos outros componentes. Segundo o autor, com isso mudanças direcionadas para um estado de equilíbrio ocorrem a nível macroscópico, levando à chamada “eficiência de mercado”. Entretanto, por se tratar de um sistema adaptativo complexo, essa eficiência não é sustentável, pois as interações macroscópicas emergem das microscópicas, que por sua vez apresentam padrões dinâmicos difíceis de serem previstos e, por isso, tornam o comportamento global mais complexo.

De acordo com Arthur (2013), a economia da complexidade sustenta que a economia não está necessariamente em equilíbrio e que não é algo dado e existente, mas forma de um conjunto de instituições, arranjos e inovações tecnológicas em constante desenvolvimento. Segundo o autor, em estado de equilíbrio não há espaço para melhorias, ajustes, exploração, criação ou fenômenos transitórios em um sistema. O resultado de uma teoria pautada no equilíbrio, portanto, pode ser algo que careça de autenticidade, vitalidade e criação. Sendo assim qualquer

---

<sup>2</sup> O *Santa Fe Institute* foi fundado em 1984 como o primeiro instituto de pesquisa dedicado ao estudo de sistemas adaptativos complexos. Atualmente é um centro de pesquisa e educação que opera de forma independente e sem fins lucrativos.

análise na economia que considere os aspectos de adaptação, inovação, mudança estrutural, história em si, tem relevância (ARTHUR, 2021).

Assim, a economia é entendida como complexa, por apresentar características que vão além dos pressupostos neoclássicos nos quais os agentes são definidos como perfeitamente racionais, com problemas bem definidos e que atingem um comportamento ótimo em equilíbrio, como resultados dessas interações. A teoria da economia da complexidade, diferentemente da abordagem neoclássica, pressupõe que os agentes são diferentes entre si, possuem informações imperfeitas sobre os outros agentes e devem, portanto, buscar sobreviver às transformações no ambiente em que atuam (ARTHUR, 2021).

### 1.5.2 – O conceito de Resiliência na Economia

A resiliência econômica pode ser redefinida em termos de como os choques afetam economias na trajetória para desenvolverem novos caminhos de crescimento, com novas indústrias ou avanços tecnológicos. Esses novos caminhos, portanto, podem ser criados ou renovados, desde que sejam diferentes dos caminhos de desenvolvimento pré-concebidos e ajustados a partir da capacidade de reorganização, aprendizado e adaptação dentro do sistema (MARTIN; SUNLEY, 2015).

Os choques recessivos ou outros tipos de perturbações, geralmente, são tratados como interrupções temporárias na trajetória de crescimento de longo prazo de uma economia. Ou seja, os choques têm impactos negativos transitórios, e o interesse nos estudos desses eventos é verificar a velocidade que a economia retoma a trajetória de longo prazo (MARTIN et al., 2021). Tais choques podem ter naturezas diversas, como aqueles causados pelos processos de globalização (RODRIK, 2018), descarbonização do setor de energia (ANDERSSON, 2020), surgimento de tecnologias digitais (MOURA, 2021), crise financeira (MARTIN; GARDINER, 2021) e pandemia (TUPY et al., 2022). Esses choques causam mudanças profundas nos sistemas sociais e econômicos, alterando a estrutura produtiva e a dinâmica entre seus agentes.

Os choques, sejam eles de qualquer natureza, podem se propagar rapidamente entre países ou por meio dos setores industriais e, em alguns casos, transformam o que era um evento específico de cada país ou setor em recessões mundiais, a partir de um processo de transmissão sistêmica, gerando impactos sociais e econômicos (CONTRERAS; FAGIOLO, 2014). Desse modo, estudos que tratam desses eventos devem considerar as especificidades de cada sistema econômico, de forma a elaborar políticas públicas onde a dinâmica, a complexidade dos seus agentes e a regionalidade dos efeitos dos choques são consideradas.

Os tipos de choques ou perturbações e as especificidades de diferentes sistemas econômicos permitem que as três tipologias de resiliência aplicadas aos sistemas socioecológicos (engenharia, ecológica e evolutiva) fossem adaptadas por economistas para analisar diferentes contextos, escalas e dinâmicas econômicas (PERRINGS, 2006). Essas adaptações proporcionam uma compreensão mais profunda e abrangente da resiliência econômica, e possibilitam o desenvolvimento de políticas que fortaleçam a capacidade de resposta a curto prazo e adaptação dos sistemas econômicos aos eventos adversos anteriormente citados (CHRISTOPHERSON; MICHIE; TYLER, 2010).

Na concepção da resiliência de engenharia, uma economia é dita resiliente, se for capaz de retomar suas funções e trajetórias de crescimento anteriores ao choque (PENDALL; FOSTER; COWELL, 2010). Nessa perspectiva, os estudos buscam mensurar, portanto, se uma região conseguiu se recuperar dos impactos gerados por desastres ou crises, retornando ao seu ponto de equilíbrio (BRIGUGLIO; PICCININO, 2012). Assim, a resistência à perturbação e a velocidade com que o sistema retorna ao equilíbrio é a medida da resiliência. Esta tipologia de resiliência se baseia na noção de equilíbrio único e é frequentemente utilizada em estudos de respostas a desastres, e grande parte destas pesquisas se concentra na análise da vulnerabilidade de países, cidades, regiões e agentes econômicos diante de desastres, mais especificamente focando na probabilidade de que um evento catastrófico cause rupturas sistêmicas (FINGLETON; GARRETSEN; MARTIN, 2012b).

A resiliência de engenharia é utilizada, principalmente, como propriedade que garante o “equilíbrio autossustentável”. Essa ótica vai ao encontro do uso padrão do equilíbrio na economia ortodoxa. Neste caso, forças e ajustes são capazes de fazer com que uma economia volte a trajetória de crescimento de equilíbrio, após ser deslocada por um choque ou perturbação (MARTIN; SUNLEY, 2015). Para Simmie e Martin (2010), o problema é que a aplicação desse tipo de resiliência na Economia se opõe ao princípio evolutivo, no qual a economia é definida como um organismo mutável e que, portanto, não permanece em uma única trajetória de equilíbrio.

Por outro lado, a resiliência ecológica apresenta a possibilidade da multiestabilidade. Para Martin (2012), essa análise pode ser feita a partir da configuração pré e pós-choque. Em se tratando do sistema econômico, se a nova configuração ou estado pós-choque estiver abaixo do nível pré-choque, esse sistema seria considerado como tendo pouca resiliência em comparação com um sistema capaz de se mover para um novo estado pós-choque superior ao que obteve antes do distúrbio. Desse modo, a resiliência ecológica está relacionada à magnitude do choque que pode ser absorvida antes que o sistema mude sua estrutura ou função (SIMMIE;

MARTIN, 2010b). Por isso, o conceito de histerese<sup>3</sup> é frequentemente utilizado para descrever este tipo de resiliência, dada à possibilidade de múltiplos equilíbrios, domínios de estabilidade, ou, ainda, como um sistema pode ser movido de um equilíbrio a outro como resultado de um choque ou perturbação.

Para Simmie e Martin (2010), a noção de equilíbrios múltiplos é apenas o passo inicial utilizado na Economia. Para os autores, a economia apresenta uma dinâmica evolutiva que é de natureza periódica, na qual os choques episódicos fazem com que um sistema se adapte de um domínio de estabilidade para outro. A ideia, nesse caso, é que não há um único estado de equilíbrio, mas vários estados possíveis, e que uma economia pode ser deslocada de um equilíbrio a outro como consequência de um choque. Nesta concepção, a resiliência é considerada como um processo contínuo em vez de uma recuperação para um estado de equilíbrio estável. Doran e Fingleton (2016), entretanto, questionam alguns pontos da resiliência ecológica aplicados à Economia. Para os autores, equilíbrios múltiplos não são facilmente testados, pois a qualquer momento, apenas o equilíbrio real é observável, e não os inúmeros equilíbrios potenciais que poderiam ter existido, uma vez que a economia segue caminhos de desenvolvimento diferentes.

### 1.5.3 – Resiliência Econômica Evolucionária

A economia evolucionária (economia evolucionista)<sup>4</sup> procura oferecer respostas para os problemas inerentes às pesquisas empíricas sobre a transformação estrutural de sistemas econômicos, e às insuficiências cada vez mais evidentes do eixo teórico convencional (HODGSON, 1998). O estudo bibliométrico de Silva e Teixeira (2008) mostra que, apesar de sua diversidade interna, a moderna economia evolucionária criou uma rede global de pesquisadores, onde os temas em comum passam por questões sobre mudança e transformação econômica.

Para Metcalfe (1994), as diversas abordagens existentes dentro da economia evolucionária variam amplamente em termos de suas suposições básicas, suas distâncias da economia neoclássica, se adotam ou não ideias darwinistas da biologia e em termos de suas conclusões políticas. Segundo o autor, pode-se dizer que a preocupação central é como os mecanismos de mudança econômica, em relação ao desenvolvimento de novas tecnologias e

---

<sup>3</sup> Histerese é definida como um fenômeno observado em corpos elásticos sujeitos a esforço, e que consiste em que estes não recuperam logo ou totalmente a forma primitiva, após cessar o esforço elástico, o que resulta numa leve deformação que pode ser permanente.

<sup>4</sup> *Evolução* é definida, primeiramente, como ação, processo ou efeito de evoluir. Significa também transformação e mudança contínua, lenta e gradual, em que certas características ou estados mais simples tornam-se mais complexos, mais desenvolvidos e aperfeiçoados (MICHAELIS, 2019).

padrões de organização, se disseminam no sistema econômico compreendido como dinâmico e complexo.

Um aspecto importante levantado pelos economistas evolucionários, é que as mudanças são constantes. Entretanto, essas mudanças não são de natureza estritamente quantitativa ou paramétrica, elas envolvem também processos qualitativos na tecnologia, nas organizações e na estrutura da economia, conforme elucidado por Schumpeter (1934). Ademais, no que diz respeito à orientação de equilíbrio presente em grande parte da economia neoclássica, a capacidade limitada desse pressuposto em incluir mudanças qualitativas nas análises, pode levar a conclusões incompletas da mesma (HODGSON, 2011). A perspectiva evolucionária, portanto, dá ênfase a processos pelos quais o cenário econômico é transformado a partir de dentro ao longo do tempo. Dessa maneira, dentro das perspectivas evolutivas, os conceitos de adaptação e transformação e as capacidades a eles relacionadas assumiram significância central no debate, o que permite a compreensão de como as características de um sistema determinam sua trajetória de desenvolvimento. (EVENHUIS, 2017a).

A linha conceitual de resiliência evolucionária incorpora a interação dinâmica de persistência e adaptabilidade em várias escalas e prazos, trazendo o papel das instituições, lideranças, capital social e aprendizado social para o escopo da resiliência. Nesse caso, toda ideia de equilíbrio é questionada uma vez que a natureza dos sistemas revela que estes podem mudar ao longo do tempo com ou sem distúrbios externos (DAVOUDI et al., 2012b).

Nelson e Winter (2008) argumentam que a evolução econômica depende das ações dos agentes individuais, que podem aprender, inovar e ajustar seu comportamento. Esse pensamento, de fato, está de acordo com os questionamentos levantados pela economia da complexidade, pois, pensar em termos de adaptação de agentes, mecanismos e locais para diferenciar as dimensões quantitativas e qualitativas da resiliência, motiva a consideração de respostas de curto prazo e reativas a choques, e estratégias proativas de longo prazo.

Para Boschma (2015), sob um aspecto evolutivo, a resiliência é tida como capacidade de uma região para sustentar o desenvolvimento em longo prazo, sendo entendida como capacidade de uma economia para responder positivamente a choques de curto prazo. Para ele, esta abordagem está direcionada para a evolução em longo prazo e na capacidade de adaptação e reestruturação de indústrias, tecnologias e instituições em um sistema econômico dinâmico e em evolução.

Assim, para conceituar a resiliência econômica com a finalidade de analisar a capacidade de uma região de desenvolver novos caminhos de crescimento, a abordagem evolucionista também recorreu aos conceitos-chave relacionados à resiliência: adaptação,

adaptabilidade, transformação e transformabilidade (DIXSON-DECLÈVE et al., 2020; GIOVANNINI et al., 2020; MAZZUCATO, 2023; TYLER et al., 2017a).

Segundo Hassink e Gong (2020b, p. 6, tradução nossa), “a adaptação diz respeito a mudanças dentro de caminhos pré-concebidos, enquanto a adaptabilidade diz respeito ao desenvolvimento de novos caminhos”. Dentro do caráter evolucionista, portanto, os conceitos de adaptação e adaptabilidade são mais abrangentes do que a visão centrada no equilíbrio, abordando os legados da história e do contexto para explicar a resiliência diferenciada entre subsistemas (PIKE; DAWLEY; TOMANEY, 2010). Em contraste com a visão de equilíbrio, que interpreta a resiliência como uma característica genérica de um sistema fechado, adaptação e adaptabilidade estão relacionadas em uma tensão específica dentro de um sistema mais aberto que tem de ser equilibrado pelos agentes sociais (HASSINK; GONG, 2020).

Evenhuis (2017) distingue adaptação e resiliência como um processo episódico e uma capacidade subjacente, respectivamente. A adaptação como é um processo momentâneo, que se refere a capacidade de uma economia de lidar com mudanças imprevistas. Enquanto a resiliência, diz respeito ao potencial hipotético de uma economia para lidar com perturbações de forma mais geral. Para o autor, ambos conceitos estão fortemente relacionados.

A partir disso, para analisar os fatores determinantes da resiliência, vários processos de adaptação devem ser investigados, para tornar possível o entendimento da capacidade de economias de lidarem com mudanças, a partir da forma como são capazes de se adaptarem a elas. Portanto, essa abordagem evoca a durabilidade de um sistema, ou seja, a sua capacidade de longevidade, que pode ser pensada como a eficiência de um sistema de se reproduzir ao longo do tempo de uma maneira a garantir sua existência (SETTERFIELD; GOURI SURESH, 2016).

A resiliência econômica associada à adaptabilidade é uma forma de inserir a história como um fator capaz de impedir a verdadeira renovação econômica e a superação de bloqueios negativos (HASSINK; GONG, 2020). Historicamente, muitos sistemas econômicos permanecem presos a trajetórias de desenvolvimento que perpetuam vulnerabilidades e desigualdades, impedindo a inovação e a adaptação necessárias para enfrentar desafios emergentes. Portanto, a resiliência econômica não deve ser vista apenas como a capacidade de resistir a crises, mas também como a habilidade de se transformar e evoluir continuamente.

A transformabilidade distingue a resiliência evolucionária das resiliências de engenharia e ecológica. Esse subconceito, dentre os muitos relacionados à resiliência de sistemas complexos, expressa a capacidade de um sistema econômico de criar um caminho de crescimento fundamentalmente novo (TAN et al., 2017). Quando o contexto ou ambiente

econômico vigente se torna insustentável, com efeitos profundamente danosos em todas as dimensões sociais e institucionais, a transformabilidade pode ser o caminho para a emergência de um novo sistema. Esse novo sistema, gerado por meio do aprendizado e da inovação, pode apresentar melhores capacidades de adaptação e renovação do que as observadas no sistema anterior (GRILLITSCH; ASHEIM, 2023). Assim, a capacidade transformativa é crucial para enfrentar crises profundas e persistentes que não podem ser resolvidas apenas com mudanças incrementais.

Para tanto, no que diz respeito aos sistemas econômicos, estudar a relação entre suas estruturas produtivas e as capacidades para responder, adaptar ou se transformar diante de choques sistêmicos ou localizados, torna-se uma das estratégias possíveis para a proposição de políticas que visem o desenvolvimento sustentável (BOSCHMA, 2015; MARTIN; SUNLEY, 2015). Compreender essas dinâmicas permite aos formuladores de políticas identificarem pontos críticos onde intervenções podem fomentar a resiliência e a capacidade transformativa. A partir disso, as políticas têm a possibilidade de serem eficazes por incentivar a diversificação econômica, a inovação tecnológica e a inclusão social, promovendo um desenvolvimento mais equilibrado e resiliente. Dessa forma, é possível criar economias que não apenas sobrevivem a crises, mas que também se renovam e prosperam, contribuindo para um futuro mais sustentável e equitativo (ANDREW, 2020).

#### 1.5.4 – Resiliência Econômica Regional

As consequências econômicas de crises econômicas, desastre naturais ou ambientais, e os impactos das mudanças climáticas estão interligadas e não são distribuídas de forma igualitária espacialmente, com algumas regiões enfrentando maiores perdas econômicas do que outras. Isso pode exacerbar as desigualdades regionais, aumentando as disparidades socioeconômicas (MARTIN, 2012).

As diferentes respostas que cada região dá a essas tendências disruptivas são resultado dos impactos causados nas estruturas de emprego, modelos de negócios e setores industriais. Nesse escopo, o desafio de economias nas mais variadas escalas é reverter o declínio de setores produtivos e alcançar objetivos de desenvolvimento sustentável. Com isso, a longo prazo, o crescimento industrial passa a minimizar o impacto ambiental, promover a geração de empregos e distribuir de renda (KOPIDOU; TSAKANIKAS; DIAKOULAKI, 2016).

Alguns estudos da área de Economia Regional e Urbana concentram-se em análises em escalas mais regionalizadas, de modo que seja possível controlar alguns fatores inerentes às regiões, principalmente, quando estas são caracterizadas por heterogeneidades espaciais

(BRISTOW, 2010; MARTIN; SUNLEY, 2015). Entretanto, diante dos novos desafios em curso, como a emergência climática e a urgência de reduzir drasticamente as emissões de carbono, a política regional - assim como a política macroeconômica e social - requer uma reavaliação a fim de atualizar e incorporar novas perspectivas sobre a dinâmica produtiva em um contexto de mudanças constantes nos cenários geopolíticos, econômicos e ambientais (MARTIN; MARTINELLI; CLIFTON, 2022).

A abordagem sistêmica para a resiliência econômica regional argumenta que as economias locais enfrentam mudanças no sistema econômico, resultantes da ação coletiva, embora não coordenada, de diversos fatores econômicos, na tentativa de resistir a choques. A mudança sistêmica, especialmente aquelas que envolvem as mudanças na estrutura e função das economias durante e após um choque, determina o tipo de resiliência (engenharia, ecológica, evolutiva e transformadora) adotado pelas regiões (SUTTON; ARKU, 2022).

Diferentes estudos na área de Geografia Econômica tentaram empregar os tipos de resiliência econômica regional com base no nível necessário de mudança no sistema, tanto em termos de estrutura quanto de função (SUTTON; ARKU, 2022). A resiliência de engenharia pode ser observada quando uma economia regional consegue retornar ao seu padrão de crescimento pré-choque após o impacto, mantendo sua estrutura e função (BRIGUGLIO et al., 2009; PENDALL; FOSTER; COWELL, 2010).

No caso da resiliência ecológica, a economia regional absorve o choque e volta à sua trajetória de crescimento anterior, possivelmente exigindo apenas ajustes estruturais ou funcionais mínimos (SIMMIE; MARTIN, 2010b; SWANSTROM, 2008). Em terceiro lugar, para a resiliência evolucionária, uma economia regional resiliente atravessa diversos níveis de mudanças ou ajustes estruturais e funcionais para manter seus principais indicadores de desempenho, como emprego, crescimento e lucratividade (BOSCHMA, 2015; MARTIN et al., 2016).

Para que países e regiões possam ser resilientes às mudanças e choques de diferentes tipos, é necessário acionar diferentes capacidades de resiliência, de forma a progredir e desenvolver através da adaptação e da transformação. Dessa maneira, a elaboração de políticas públicas precisa estar focada no fornecimento de impulsos positivos necessários para construir a resiliência, com uma combinação de medidas de prevenção, preparação, proteção, promoção e transformação (TYLER et al., 2017b).

A resiliência econômica regional transformativa, portanto, significa que uma região é resiliente se puder criar uma configuração e um novo conjunto de estruturas e funções quando um choque tornar seu sistema econômico insustentável (GIOVANNINI et al., 2020; MARTIN;

SUNLEY, 2020). Portanto, as políticas que definem o tipo de resiliência a ser escolhido como estratégia para enfrentar crises e choques são cruciais para moldar a trajetória de crescimento de longo prazo das regiões e sua capacidade de resistência a perturbações futuras (MARTIN; MARTINELLI; CLIFTON, 2022).

A resiliência transformativa, que é a capacidade das regiões de enfrentar choques e crises, enquanto promove uma agenda alternativa para o desenvolvimento econômico regional, se mostra como uma perspectiva mais completa para tratar da resiliência econômica regional (MARTIN; SUNLEY, 2020; TRIPPL; FASTENRATH; ISAKSEN, 2024). Essa abordagem está menos focada no crescimento de curto prazo e mais voltada para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento inclusivo. Isso porque, políticas implementadas com base na transformação de estruturas podem ser planejadas a partir da regionalização das cadeias de abastecimento globais, a adoção de formas de turismo mais amigáveis ao meio ambiente, a transição para sistemas socioprodutivos sustentáveis (energia, mobilidade, alimentação e habitação), iniciativas pós-crescimento, implementação de novas práticas institucionais e comportamentais, por exemplo (TRIPPL; FASTENRATH; ISAKSEN, 2024).

A seção a seguir, busca evidenciar toda discussão feita até aqui em políticas e ações voltadas para o desenvolvimento sustentável, o que faz com que a resiliência seja um fator essencial para alcançá-lo.

## **1.6 - Resiliência e a Agenda do Desenvolvimento Sustentável**

As principais mudanças do século XXI, como as transformações tecnológicas, geopolíticas e climáticas, já perturbam os ciclos de recursos materiais e energéticos (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019). Para alcançar a sustentabilidade dentro desse processo, é essencial desenvolver sistemas sociais e industriais resilientes, que equilibrem a necessidade de crescer com bem-estar humano e ecológico. Para isso, é preciso desenvolver estratégias políticas adaptativas e transformadoras que permitam que estruturas sociais, econômicas e institucionais lidem com os desafios esperados como o agravamento das mudanças climáticas e inesperados, como choques de diferentes naturezas (STERN, 2021).

O termo resiliência é fundamental nos quatro principais acordos e estruturas que estabelecem uma visão global de progresso em resposta a desastres, mudanças climáticas e desafios humanitários. Entre 2015 e 2016, governos de diversas nações fecham acordos elaborados pela ONU como: Quadro de Sendai para Redução de Risco de Desastres, Quadro da Cúpula Humanitária Mundial, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas e Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas. Cada um desses acordos destaca a

importância da resiliência para alcançar mudanças globais em diversos setores, contextos e escalas (ONU, 2019).

A pandemia da COVID-19, provocada pela disseminação do coronavírus SARS-CoV-2 pelos cinco continentes em 2020, aconteceu quando a economia mundial estava desacelerando, com sinais de aumentos da dívida e estagnação de salários e produtividade em países renda média e renda baixa (CEPAL, 2020a). Na América Latina e Caribe, segundo a CEPAL (2020b), a pandemia foi se caracterizando como uma crise sanitária, econômica e social à medida que se espalhou pela região. Embora a proporção e duração dos efeitos dessa crise ainda são quantificados, segundo a instituição, já é possível perceber que esta será a causa da maior crise econômica e social em décadas, com efeitos muito negativos sobre o emprego, a luta contra a pobreza e a redução da desigualdade. Esta crise sanitária mostrou, mais uma vez, que as economias estão expostas a vulnerabilidades globais, como a quebra das cadeias de abastecimento, desaceleração do crescimento global e o desempenho dos mercados financeiros.

Dessa maneira, a necessidade de ajudar agentes, organizações e regiões a se adaptarem a essas crises se concretiza em estratégias para fortalecer a resiliência social, econômica e ambiental em um mundo que enfrenta repetidamente riscos imprevistos, que podem abalar o cerne das sociedades contemporâneas globais (ONU, 2015c). A alternativa para alcançar a sustentabilidade requer uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento de políticas e estratégias de intervenção, aproveitando propriedades fundamentais como diversidade, eficiência, coesão e adaptação (TREMBLAY et al., 2021).

Assim, como destacam Reyers et al. (2022), a aplicação do termo resiliência tem se remodelado na prática do desenvolvimento sustentável, principalmente a partir de 2010. Essa remodelagem se faz para melhor envolver os conceitos de sistemas adaptativos complexos e sistemas socioecológicos. Os autores afirmam que, para além de ser estreitamente definida como recuperação após um choque, a resiliência tem agregado às noções de adaptação e aprendizado, a ideia de transformação para alcançar um equilíbrio justo e sustentável no futuro. Por outro lado, esses conceitos, quando integrados, podem contribuir para a compreensão das capacidades necessárias para libertar sistemas de aprisionamentos e criar trajetórias desejáveis em direção ao desenvolvimento sustentável, justo e inclusivo (JOHNSON et al., 2018; MAZZUCATO, 2023).

A resiliência desejável envolve a capacidade de lidar com incertezas, choques e perturbações com a finalidade de melhorar o bem-estar social. Esse bem-estar, por sua vez, implica em uma sociedade mais justa e equitativa, onde as relações humanas operam dentro dos limites de preservação e evolução do planeta. Sendo assim, tratar da resiliência desses sistemas

é entendê-la como uma propriedade desejável para garantir a sustentabilidade do desenvolvimento econômico, social e ambiental (FOLKE et al., 2021).

Rockström et al. (2023) reforçam essa perspectiva, argumentando que os avanços recentes na ciência e na prática da resiliência fornecem percepções sobre os atributos e tipos de intervenção que podem viabilizar um desenvolvimento sustentável, resiliente e transformador. Assim, em contextos como o de mudanças climáticas, analisar a resiliência, segundo os autores, oferece a proposta de uma abordagem voltada para o futuro, que reflete a capacidade de viver e se desenvolver com mudanças e incertezas.

Com isso, no âmbito das discussões sobre sustentabilidade, faz-se necessário abordar as mudanças fundamentais necessárias para enfrentar novos cenários de riscos, ressaltando estratégias que visem integrar mitigação, adaptação e transformação (ROCKSTRÖM et al., 2023). Nesse sentido, compreendendo as mudanças climáticas, as desigualdades de renda, crises políticas e guerras como fatores que concretizam um cenário de risco a ser enfrentado nesse século, a resiliência se consolida como tema relevante a ser debatido.

Nesse sentido, a governança para a sustentabilidade exigirá uma gestão ativa da resiliência, tanto reduzindo quanto reforçando-a conforme necessário. Elmqvist et al. (2019) argumentam que essa gestão deve ser definida num enquadramento de sistemas complexos e multiescalares para orientar as transformações e o desenvolvimento sustentável.

A resiliência deve ser reduzida para permitir a libertação de *lock-ins*<sup>5</sup> como a pobreza urbana, dependência econômica de exportações de bens primários, ineficiência de sistemas educacionais e participação extensiva de atividades econômicas que agredem o meio ambiente (CRESPO; SUIRE; VICENTE, 2014). As ações e abordagens de transformação para a sustentabilidade, portanto, devem incluir ferramentas de planejamento para identificar e mitigar a resiliência indesejada, enquanto aumentam a resiliência desejada.

Em uma abordagem regional, a relação entre resiliência econômica e desenvolvimento sustentável é intrínseca e fundamental para garantir o desenvolvimento duradouro. Essa capacidade de recuperação e transformação é essencial para a sustentabilidade, pois permite que as regiões mantenham seu desenvolvimento econômico sem comprometer os recursos e o bem-estar das gerações futuras. Regiões resilientes conseguem diversificar suas economias, investir em infraestrutura sustentável e promover a inovação tecnológica, o que reduz a

---

<sup>5</sup> O conceito de *lock-in* (aprisionamento) compreende aspectos funcionais, cognitivos e políticos, segundo os quais as perspectivas econômicas, sociais e institucionais, e as configurações existentes solidificam ao longo do tempo, reforçando caminhos de crescimento anteriores e inibindo comportamentos adaptativos. Tais *lock-ins* podem se transformar em auto reforçados, em lugares específicos ao longo do tempo (GRABHER, 1993).

vulnerabilidade a choques e promove um crescimento mais inclusivo e sustentável (SIMMIE; MARTIN, 2010b).

Além disso, a resiliência econômica regional contribui para o desenvolvimento igualitário, justo e ambientalmente consciente ao incentivar práticas que harmonizam crescimento econômico e conservação ambiental. Políticas que promovem a eficiência energética, a utilização de energias renováveis e a gestão sustentável dos recursos naturais são exemplos de como a resiliência pode ser integrada à sustentabilidade (SZABÓ; CSETE; PÁLVÖLGYI, 2018). Essas práticas não apenas mitigam os impactos ambientais das atividades econômicas, mas também criam oportunidades de emprego e desenvolvimento econômico em setores verdes. A capacidade de uma região de inovar e adaptar-se a mudanças tecnológicas e ambientais é crucial para assegurar que o crescimento econômico não ocorra à custa do meio ambiente, mas em sinergia com ele, garantindo um futuro equilibrado e sustentável (STERN, 2021)

Por fim, o desenvolvimento sustentável, focado em atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades, pode ser fortalecido pela resiliência que promove adaptação a novos contextos ou que impulsiona inovações e reformas profundas (FOLKE et al., 2021). Essas políticas ajudam a criar sistemas mais robustos e flexíveis, capazes de se adaptar e prosperar em um mundo em constante mudança, garantindo assim um futuro sustentável. Ao promover uma abordagem integrada que combina adaptação e transformação, a resiliência oferece um caminho para alcançar os objetivos de sustentabilidade em um ambiente global cada vez mais incerto e desafiador (STERN, 2021).

## **1.7 - Considerações Finais**

Este capítulo elucidou os padrões do conceito resiliência e dos conceitos a ele inerentes como adaptação, adaptabilidade, transformação e transformabilidade, com o objetivo de evidenciá-lo como relevante nas discussões e análises que tratam do desenvolvimento sustentável. Foram destacadas as ligações conceituais do tema entre as áreas de sistemas adaptativos complexos, sistemas socioecológicos e sistemas econômicos. A literatura sobre resiliência é explorada para destacar as similaridades conceituais e o reafirmar como um conceito útil para investigação sobre outros fenômenos (i.e., mudanças climáticas, degradação ambiental e choques econômicos). Ademais, as tipologias de resiliência foram abordadas, dando ênfase à resiliência evolucionária, pois essa é a que mais aproxima as abordagens da

resiliência de diferentes sistemas com a sustentabilidade. Assim, resiliência evolucionária serve de base para as discussões sobre resiliência e desenvolvimento sustentável levantadas nesta tese.

Nesse sentido, destaca-se que a abordagem da resiliência tem sido aplicada a vários contextos, por exemplo, resposta a desastres naturais, cidades sustentáveis, preservação de biomas, desenvolvimento econômico. Isto demonstra a flexibilidade desse arcabouço, permitindo a utilização em diferentes áreas de pesquisa. Entretanto esse capítulo se justifica devido às dificuldades que o tema tem em ser reconhecido como relevante em discussões sobre desenvolvimento, principalmente na Economia.

Por este motivo, esta tese utiliza como estratégia de investigação o arcabouço teórico da resiliência, para destacar algumas vantagens da utilização do conceito. Primeiro, o conceito de resiliência permite uma compreensão mais amplas dos fenômenos, considerando uma gama de fatores que influenciam a capacidade de indivíduos, comunidades ou sistemas de superar adversidades. Segundo, é um conceito versátil com aplicabilidade em diversos campos da ciência, o que facilita a colaboração interdisciplinar e o desenvolvimento de estratégias multifacetadas para promover a resiliência em diferentes contextos. Terceiro, o estudo da resiliência pode levar à identificação de fatores protetores e de risco, bem como de mecanismos de adaptação eficazes, o que é crucial para o desenvolvimento de intervenções que fortaleçam a capacidade de indivíduos e comunidades de enfrentar e superar desafios, promovendo o bem-estar e a sustentabilidade a longo prazo.

Vale destacar ainda a abordagem da resiliência comparada com novas teorias das Ciências Econômicas. Nesse escopo, a literatura que trata da do papel da estrutura produtiva na determinação da resiliência em países e regiões. Entretanto, não foram encontrados estudos que tratam das implicações que a relação resiliência e estrutura produtiva têm sobre o desenvolvimento sustentável. Isto demonstra uma lacuna na literatura, que ainda não realizou uma abordagem integrada entre resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável.

Diante disso, a proposição dessa abordagem integrada será realizada no Capítulo 2 e é subsidiada pela discussão teórica da resiliência apresentada nesse capítulo.

## CAPÍTULO 2 –RESILIÊNCIA, COMPLEXIDADE ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### Introdução

A sustentabilidade é tema central durante debates de organizações internacionais e formulação de políticas públicas de países de rendas alta, média e baixa (HARTMANN et al., 2021; ONU, 2023a). Dentro dessa temática, questões sobre a relação do crescimento econômico e degradação ambiental, assim como crescimento econômico e mudanças climáticas, têm sido amplamente discutidas na literatura (FANKHAUSER; TOL, 2005; FERRAZ et al., 2021). A interação entre essas comunidades científicas revela aspectos importantes para o bem-estar social, a prosperidade econômica e a proteção ao meio ambiente (PURVIS; MAO; ROBINSON, 2019).

Diante disso, estudos recentes apontam para a relevância da estrutura produtiva sobre variáveis ambientais, a partir da abordagem da sofisticação produtiva (CAN; GOZGOR, 2017; DOĞAN; SABOORI; CAN, 2019; SHAHZAD et al., 2020). Nesse arcabouço, a relação entre sofisticação da estrutura produtiva e degradação ambiental é influenciada por fatores como políticas ambientais (ELLIOTT, 2004) e inovação tecnológica (POPP, 2010). Países ou regiões com políticas ambientais mais rigorosas e incentivos para a adoção de tecnologias limpas buscam mitigar os impactos ambientais negativos do crescimento econômico por meio de uma estrutura produtiva sofisticada (POLLONI-SILVA et al., 2021). Esse processo decorre da inovação tecnológica, que leva ao desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais e minimizando a emissão de poluentes (PATA, 2021).

Dentro dessa literatura mais ampla, os estudos sobre complexidade econômica estão focados na combinação do conhecimento útil dos agentes econômicos, que são incorporados no processo produtivo ou no produto (HAUSMANN et al., 2011; HIDALGO et al., 2007). Essa multiplicidade está expressa na composição da estrutura produtiva de um país e reflete as estruturas que emergem para reter e combinar conhecimento, destacando as diferenças existentes entre economias desenvolvidas e em desenvolvimento (HAUSMANN et al., 2011). Com isso, argumenta-se que o papel desempenhado pela composição setorial de países possui relevância significativa na determinação do desenvolvimento econômico.

Por outro lado, estudos que investigam as questões climáticas têm enfatizado múltiplos fatores ligados ao conceito de resiliência, como a segurança alimentar (NECHIFOR; FERRARI, 2020), aspectos sanitários (TRUMP; LINKOV; HYNES, 2020) e fenômenos

socioeconômicos (BOLSON et al., 2022). Isso porque, o conceito de resiliência avança ao avaliar a sustentabilidade dentro dos sistemas socioecológicos a longo prazo, pois o surgimento de novos riscos ambientais testa a capacidade de adaptação e continuidade do desenvolvimento sustentável das regiões (ADGER et al., 2011).

Este capítulo, portanto, discute a relação entre os conceitos a resiliência, complexidade econômica e aspectos do desenvolvimento sustentável. O principal argumento do capítulo é que a estrutura produtiva extrapola as relações econômicas entre os agentes, sendo um fator que também interfere sobre questões pertinentes à resiliência, e que essa relação tem implicações sobre o funcionamento (PETERS; TANNER, 2016). Ademais, este capítulo destaca como o conceito de resiliência está presente nas discussões que envolvem sustentabilidade, e adiciona a abordagem da complexidade econômica para tratar de questões que pertinentes ao desenvolvimento sustentável.

Frente ao exposto, este capítulo apresenta uma abordagem integrada que conecta resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável, oferecendo uma nova perspectiva para enfrentar os desafios globais contemporâneos.

## **2.1 - As Perturbações Contínuas: Mudanças Climáticas e Degradação Ambiental**

A Física define o termo “choque” como uma mudança repentina e inesperada, e uma “perturbação” como uma mudança gradual e contínua (GALLOPÍN, 2006). As Ciências Econômicas adaptaram o primeiro termo, desenvolvendo o conceito de choques econômicos que são interrupções bruscas ou temporárias na trajetória do crescimento econômico (RAMEY, 2016). Depois disso, estudos avaliaram os choques econômicos, sejam eles negativos ou positivos, em diferentes escalas e durabilidade de seus efeitos.

As perturbações, por outro lado, tendem a prolongar os efeitos no longo prazo. Entretanto, seu uso na Economia é mais recente, uma vez que as crises climáticas (MCKIBBIN; WILCOXEN, 2002), migratórias (WERZ; HOFFMAN, 2016) e de conflito geopolítico (HENDRIX et al., 2023) exigiram uma análise que considerasse esses eventos duradouros e, na maioria das vezes, sem barreiras geográficas. Em outros termos, os choques recessivos e as perturbações têm impactos transitórios ou prolongados na economia de um país ou região.

Devido a relevância destes conceitos, a literatura internacional tem apresentado interesse em investigar a velocidade ou a capacidade com a qual a economia retoma a trajetória de crescimento econômico de longo prazo, ou se adapta para que continue em trajetória ascendente (MARTIN et al., 2021). Neste sentido, diversos estudos buscaram analisar a capacidade sistemas sociais e econômicos se adaptarem ou se transformarem diante de

diferentes fenômenos que possuem naturezas diversas. Por exemplo, alguns estudos revelam que este fenômeno decorre do processo de globalização (RODRIK, 2018), descarbonização do setor de energia (ANDERSSON, 2020; LEROUTIER, 2022), surgimento de tecnologias digitais (GALI, 1999; MOURA, 2021), crises financeiras (BLANKENBURG; PALMA, 2009; BRANCACCIO et al., 2018; KARANIKOLOS et al., 2013) e pandemias (DEL RIO-CHANONA et al., 2020; SARKODIE; OWUSU, 2021).

As mudanças climáticas representam eventos ocorridos e os riscos ainda não experimentados ao longo da história (IPCC, 2021). Por exemplo, o aumento da temperatura média mundial, a elevação do nível do mar; as mudanças nos padrões de precipitação; o derretimento de geleiras; e as mudanças na intensidade e na frequência de extremos climáticos como secas, ondas de calor, enchentes e furacões (OCDE, 2008). Dada a imprevisibilidade dos efeitos desses fenômenos, a preocupação central de pesquisadores e formuladores de políticas públicas em resposta às mudanças climáticas é entender como comunidades e instituições podem antecipar e responder melhor às mudanças ambientais de forma sustentável (THORNTON et al., 2014).

Em vista da ampla aplicação do conceito de mudanças climáticas em diferentes áreas científicas existem duas linhas principais que são utilizadas por órgãos internacionais e pesquisas acadêmicas. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change – IPCC*)<sup>6</sup> define mudança climática como “qualquer mudança no clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana” (PARRY et al., 2007, p. 6). Por outro lado, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*)<sup>7</sup> define como “uma mudança de clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e que é, além da variabilidade climática natural, observada em períodos de tempo comparáveis” (PARRY et al., 2007, p. 6, tradução nossa). Essas diferentes definições implicam em diferentes ações e políticas para o tema. Enquanto a definição do IPCC reforça políticas de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, a definição do UNFCCC subsidia debates sobre a adaptação a essas mudanças.

---

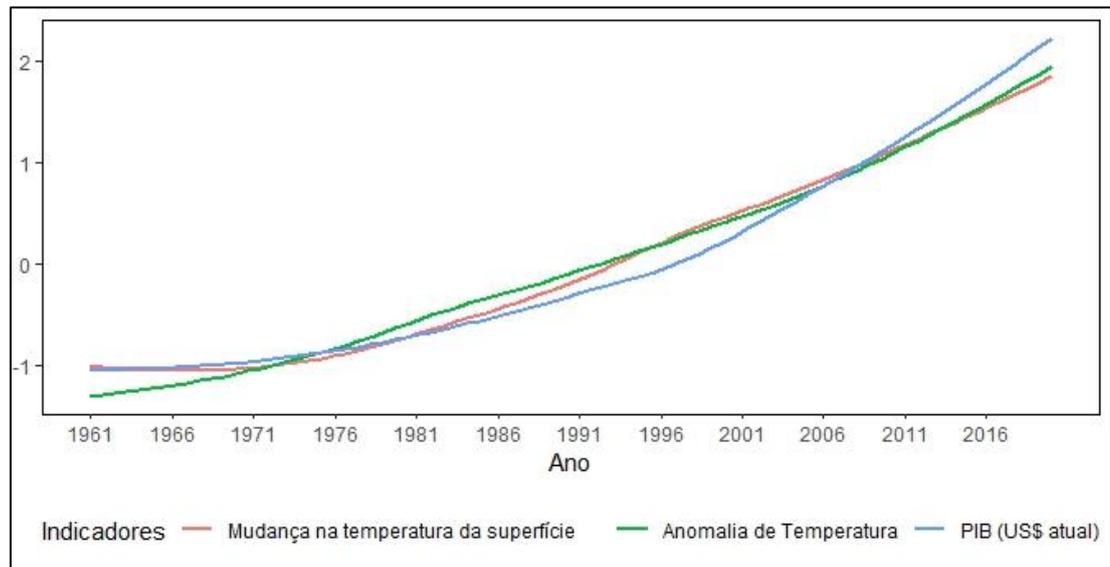
<sup>6</sup> O IPCC foi estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa Ambiental da ONU em 1988, com o objetivo de fornecer avaliações de todos os aspectos da mudança climática. Os relatórios produzidos pelo órgão foram publicados nos anos de 1990, 1996, 2001, 2007, 2014, 2021 e 2022.

<sup>7</sup> O Artigo 4.1b da UNFCCC reúne nações no empenho em formular e implementar programas nacionais e/ou regionais que contenham medidas para facilitar a adaptação adequada às mudanças climáticas. Esta ação que, posteriormente, foi reforçada no acordo de Paris, em 2015.

As mudanças climáticas são consideradas tanto um choque quanto uma perturbação (WEITZMAN, 2009). Elas podem ser vistas como um choque quando eventos climáticos extremos, como furacões, secas e inundações, ocorrem de forma repentina e inesperada. Por outro lado, correspondem a uma perturbação, quando são consideradas as mudanças graduais e contínuas no clima ao longo do tempo, como o aumento da temperatura média global e o aumento do nível do mar (ADACHI et al., 2017; ARRHENIUS, 1896). Sabe-se, portanto, que as mudanças climáticas têm impactos tanto imediatos quanto de longo prazo no meio ambiente e na sociedade.

A Figura 1 ilustra a relação positiva entre mudanças na temperatura da superfície da terra, as ocorrências de anomalias de temperatura e o produto interno bruto mundial representando o crescimento econômico. A relação crescente entre essas três variáveis aponta para o indício, que existe relação entre atividade produtiva global e mudanças no clima, e do clima sobre a produção mundial (NEWELL; PREST; SEXTON, 2021).

Figura 1 - Evolução Global da Temperatura da superfície, Anomalias de Temperatura e PIB (1961 a 2020)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do World Bank, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e International Monetary Fund (2023).

É importante destacar que os impactos das mudanças climáticas sobre variáveis econômicas também são investigados. A relação entre o crescimento do PIB e as mudanças climáticas é complexa e depende de muitos fatores. Por exemplo, se as atividades produtivas forem impulsionadas por investimentos em energia limpa e outras tecnologias de baixo carbono, elas poderão ajudar a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os efeitos

das mudanças climáticas. Entretanto, se a produção nacional for impulsionada por atividades que produzem altos níveis de emissões desses gases, como a extração e o uso de combustíveis fósseis, ela exacerbará a degradação ambiental (GUO; KUBLI; SANER, 2021). Um dos caminhos para verificar esta relação pode ser, portanto, a análise de fontes de crescimento econômico (HOLTZ-EAKIN; SELDEN, 1995; KAHUTHU, 2006) políticas governamentais (ANDRIJEVIC et al., 2020) e estrutura produtiva (HAUSMANN; HWANG; RODRIK, 2007).

A degradação ambiental é uma perturbação constante que ameaça o meio ambiente global, afetando diretamente a viabilidade do desenvolvimento sustentável. Essa perturbação ambiental é definida como o declínio da qualidade do ambiente natural devido às ações humanas, como emissão de gases de efeito estufa, desmatamento, exploração de recursos minerais, redução da biodiversidade e mudanças climáticas (JOHNSON et al., 1997). Assim, o debate em torno desse tema envolve a mitigação dos danos causados por esses fatores, ressaltando a atividade humana como elemento provocador, mas também promotor das mudanças necessárias nas relações entre a sociedade e o meio ambiente (AGRAWAL, 2010).

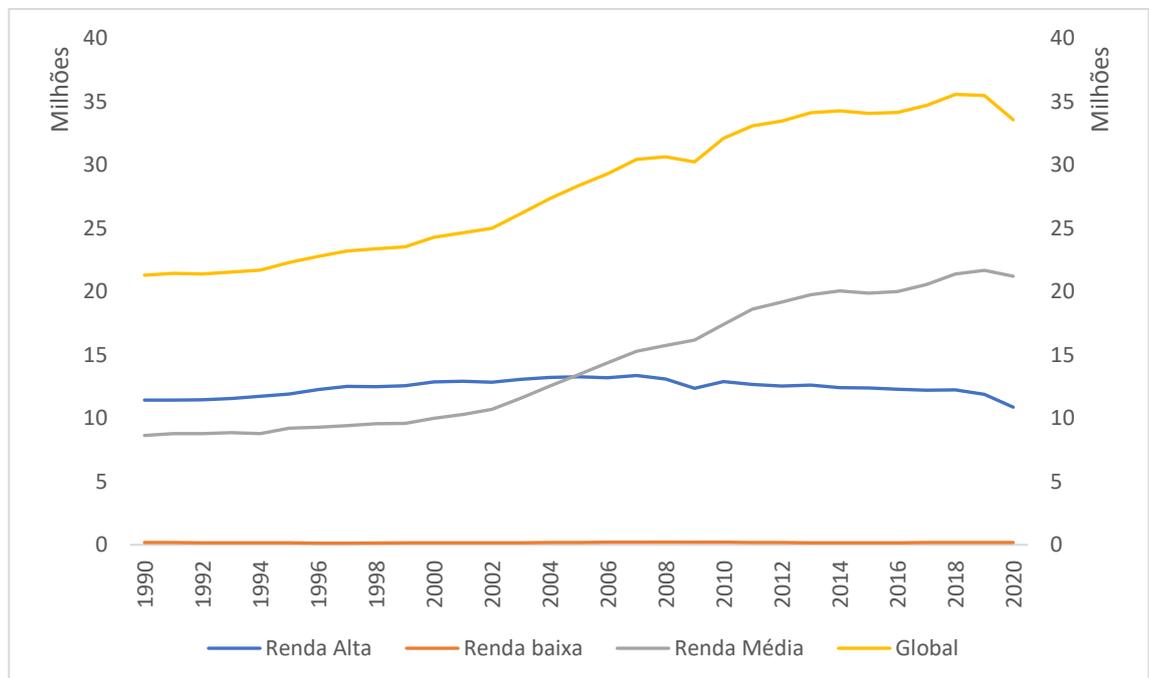
Um dos principais aspectos da degradação ambiental é a poluição. A emissão de gases de efeito estufa, poluentes industriais e resíduos sólidos não apenas degrada a qualidade do ar e da água, mas também contribui significativamente para as mudanças climáticas. As emissões de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), são responsáveis pelo aquecimento global, que tem amplas repercussões ambientais, sociais e econômicas (PARRY et al., 2007). Um exemplo é o aumento da temperatura média global, que resulta no derretimento das calotas polares e geleiras, causando a elevação do nível do mar e ameaçando comunidades costeiras com inundações e erosão. Esses fenômenos forçam migrações e deslocamentos populacionais, criando crises humanitárias e aumentando a pressão sobre os recursos e infraestruturas de regiões receptoras (IPCC, 2021).

A Figura 2 traz a representação gráfica das emissões de  $\text{CO}_2$  no mundo e por grupo de países diferenciados por níveis de renda. Entre 1990 e 2020, as emissões globais aumentaram significativamente, refletindo o crescimento econômico e o desenvolvimento industrial em várias partes do mundo. As emissões globais de  $\text{CO}_2$  cresceram cerca de 60% durante esse período, passando de aproximadamente 22 bilhões de toneladas em 1990 para cerca de 36 bilhões de toneladas em 2019. Este aumento pode ser atribuído a vários fatores, incluindo a industrialização acelerada, o aumento da demanda por energia, a expansão do transporte e a dependência contínua de combustíveis fósseis (PATA, 2021; SHAHZAD et al., 2020). Em 2020, no último ano da série, observa-se uma tendência de queda no último ano da série, que

pode ser explicada pelo *lockdown* da pandemia de COVID-19, que impactou a produção global (GIOVANNINI et al., 2020).

Os países de renda alta, tradicionalmente responsáveis por uma parcela significativa das emissões globais de CO<sub>2</sub>, continuam a contribuir de maneira substancial. Apesar de alguns avanços na redução de emissões através de políticas ambientais mais rigorosas, melhorias na eficiência energética e o aumento do uso de energias renováveis, esses países ainda possuem altos níveis de consumo per capita de energia (TUGCU; OZTURK; ASLAN, 2012). O aumento das emissões em países de renda média pode ser atribuído ao seu desenvolvimento industrial acelerado, à urbanização e à alta dependência de carvão como fonte de energia (WEN et al., 2021). Os países de renda baixa, embora contribuam com uma menor parcela das emissões globais de CO<sub>2</sub>, enfrentam desafios crescentes à medida que buscam o desenvolvimento econômico. Muitas vezes, esses países dependem de fontes de energia menos eficientes e mais poluentes, como biomassa e carvão, para atender às suas necessidades energéticas (GUO; YOU; LEE, 2022).

Figura 2 - Emissão Global de CO<sub>2</sub> e por Grupo de renda de países (toneladas métricas per capita) (1990-2020)



Fonte: Banco Mundial (2023).

Estudos analisam a degradação ambiental por meio dos impactos socioeconômicos sobre o meio ambiente. Harte (2007), por exemplo, analisa as consequências ambientais do aumento do tamanho da população, e verifica que a degradação ambiental cresce proporcionalmente ao tamanho da população, pressupondo um consumo per capita fixo e

modos de produção fixos. Para analisar a relação entre comércio e degradação ambiental, Shen (2008) investigou como a liberalização do comércio afetou o meio ambiente da China, no período entre 1993 e 2002. Como resultado constatou que a relação liberalização comercial e degradação depende do tipo de poluente. No período analisado, a poluição do ar teve relação é positiva, e da água foi negativa com a liberalização.

As consequências sociais e econômicas das emissões de gases de efeito estufa são profundas e multifacetadas. Em termos econômicos, essas emissões contribuem para o aumento da frequência e intensidade de desastres naturais, como inundações, secas e tempestades, que causam danos significativos à infraestrutura, afetam a produtividade agrícola e interrompem as cadeias de abastecimento. Esses eventos climáticos extremos resultam em elevados custos de reconstrução e assistência, impondo uma carga financeira pesada sobre governos e comunidades (IPCC, 2021).

A degradação ambiental e as mudanças climáticas, portanto, estão intimamente relacionadas por meio das interações entre o clima, ecossistemas, biodiversidade e sociedades humanas. Por exemplo, a degradação ambiental, principalmente através das ações antrópicas, pode causar o aumento das emissões de gases de efeitos estufa impactando, conseqüentemente, o aumento da temperatura atmosférica (MITCHELL, 1989). Por outro lado, as mudanças climáticas podem exacerbar a degradação ambiental ao causar mudanças nas temperaturas e nos padrões climáticos, intensificando fenômenos como tempestades, derretimento de geleiras e elevação nos níveis dos oceanos, impactando a vida sobre a terra (PÖRTNER et al., 2022).

Para enfrentar esses desafios, é essencial que as economias implementem estratégias de resiliência que incluem a diversificação das bases econômicas, o fortalecimento das infraestruturas, a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e a conservação dos recursos naturais (BROWN, 2015). Investir em tecnologias verdes e em energia renovável não apenas ajuda a mitigar os efeitos das mudanças climáticas, mas também cria setores econômicos e oportunidades de emprego (BRANDI et al., 2020; RODRIK, 2014). Além disso, a resiliência requer políticas públicas que incentivem a gestão sustentável dos recursos, a proteção ambiental e a preparação para desastres. Fortalecer a resiliência das economias é essencial não só para garantir a sustentabilidade a longo prazo, mas também para proteger as comunidades mais vulneráveis, que são frequentemente as mais afetadas pelas crises ambientais e climáticas (ONU, 2019).

Esta seção discutiu sobre as mudanças climáticas e a degradação ambiental como fatores que perturbam sistemas ecológicos, sociais e econômicos constantemente. Visto isso, entende-se que resiliência não é apenas a capacidade de responder a um choque. Com base nos últimos

eventos climáticos extremos e crises econômicas que estendem seus impactos por anos, ser resiliente é também ser capaz de aperfeiçoar suas estruturas de modo a estar sempre preparado para enfrentar tais cenários, e buscar sempre evoluir para que a sustentabilidade seja alcançada. Diante disso, a próxima seção destaca a sustentabilidade e desenvolvimento sustentável como meta principal para países, enfatizando a necessidade de integrar políticas econômicas e ambientais que promovam a resiliência a longo prazo.

## **2.2 – Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável**

O processo de construção da sustentabilidade se fundamenta nos pilares econômico, social e ambiental de forma a garantir bem-estar, prosperidade e proteção do de ecossistemas e do clima a longo prazo (BROWN et al., 1987). No escopo da sustentabilidade, a degradação ambiental e as mudanças climáticas representam ameaças significativas, exigindo ações coordenadas e políticas robustas para mitigar seus impactos. Estas ameaças podem comprometer a biodiversidade, a qualidade do ar e da água, e a resiliência das comunidades humanas, tornando essencial a implementação de estratégias de desenvolvimento sustentável que promovam a redução de emissões de carbono, a conservação dos recursos naturais e a adaptação às novas condições climáticas (IPCC, 2022). Assim, a ONU (2023) define sustentabilidade como o desenvolvimento de capacidades na sociedade para manter e melhorar as condições sociais e ambientais ao longo do tempo, de forma a garantir as necessidades da geração atual e das gerações futuras.

No que tange o desenvolvimento econômico, a Cepal (2014) o define como processo que promove mudanças estruturais com igualdade no acesso ao crescimento econômico, bem-estar social e sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, a Cepal enfatiza que o desenvolvimento econômico deve ser inclusivo e sustentável, por meio de políticas que abordem as desigualdades persistentes entre nações, e que promovam a inclusão social e a proteção ao meio ambiente. O desenvolvimento econômico, portanto, está inserido no debate sobre sustentabilidade como o fator que relaciona o crescimento econômico e seus impactos sobre a equidade entre nações e sobre o meio ambiente (CEPAL, 2020).

O desenvolvimento sustentável, por outro lado, é mais amplo e é definido como “um processo de mudança em que a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional são coerentes com as necessidades futuras e presentes” (BRUNDTLAND, 1987, p.25, tradução nossa). Esse conceito surgiu em 1980 e foi consagrado pelo Relatório Brundtland (1987), elaborado em conjunto com

a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Esse relatório é considerado seminal para a definição do desenvolvimento sustentável e dos princípios que o fundamentam.

Embora exista a busca pela combinação de desenvolvimento econômico, sustentabilidade ambiental e inclusão social, os objetivos específicos diferem globalmente, entre as sociedades e dentro delas. Com isso, a cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável atua na proposição de ações-chave necessárias para a mudança global de forma a alcançar um progresso significativo no enfrentamento aos desafios de desenvolvimento, climáticos e humanitários, por meio de práticas inclusivas e sustentáveis (ONU, 2015c).

As tentativas de compartilhar o foco em metas econômicas, ambientais e sociais, de forma a estabelecer um amplo consenso sobre o qual o mundo pode se basear para alcançar o desenvolvimento sustentável resultaram em acordos internacionais firmados nas últimas décadas (SACHS, 2012). O Acordo de Paris, celebrado em dezembro de 2015 na 21ª Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC.

O Acordo de Paris, por exemplo, visa fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas, adicionando em suas metas o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza (ONU BRASIL, 2017). Com isso, a principal meta do Acordo é empregar esforços para limitar o aumento da temperatura média global a 1,5°C em relação a níveis pré-industriais, o que reduziria significativamente os riscos e impactos das mudanças climáticas (ONU, 2015b).

Dentre as estratégias e ações a serem implementadas pelos países que são parte no acordo, os termos a adaptação e a resiliência estão substancialmente presentes no acordo. O inciso 1 do artigo 7 destaca o principal objetivo em relação a esses dois conceitos, no qual é firmado o compromisso para reduzir a vulnerabilidade, aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos das mudanças climáticas, assim como reforçar a resiliência a este fenômeno com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015b). A partir disso, estudos que relacionam os conceitos adaptação e a resiliência dentro do arcabouço da sustentabilidade passaram a subsidiar políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, assim como o planejamento e monitoramento das ações de promoção da resiliência na resposta global a este fenômeno (ANGEON; BATES, 2015; STERN, 2021).

Assim, no escopo de tais políticas, a estrutura produtiva surge como fator capaz de promover a resiliência econômica e ambiental, proporcionando uma base sólida para enfrentar e superar crises. Para entender tal processo, a seção a seguir discute o papel da estrutura produtivas e das mudanças estruturais no desenvolvimento econômico sustentável.

### 2.3 - Mudança Estrutural

A discussão inicial das pressuposições sobre as características estruturais de uma economia são elementos fundamentais para compreender o desenvolvimento desigual entre países. Quando formuladas em meados da década de 1950 por pensadores como Paul Rosenstein-Rodan (1943), Raúl Prebisch (1949), Han Singer (1950), Ragnar Nurkse (1953), William Arthur Lewis (1954) e Gunnar Myrdal (1957), essas pressuposições incorporavam fenômenos como desequilíbrio do balanço de pagamentos, desemprego e piora da distribuição de renda. Esses fenômenos passaram a ser evidenciados com base em propriedades particulares de demanda e funções de produção, e outras especificações do comportamento econômico.

O pensamento econômico estruturalista busca identificar as características subjacentes de uma economia que podem influenciar seu desempenho econômico, a distribuição de renda, a desigualdade, entre outros fatores (OCAMPO; RADA; TAYLOR, 2009). Em resumo, a relação entre desenvolvimento econômico e estruturalismo reside na abordagem que coloca as estruturas econômicas no centro da análise. Os estruturalistas argumentam que, para alcançar um desenvolvimento econômico mais sustentável e equitativo, é fundamental compreender e reformar as estruturas que moldam a economia e a sociedade. Isso implica a adoção de políticas que abordem desigualdades, promovam setores produtivos e busquem equilibrar as relações econômicas internacionais (CEPAL, 2014a).

A escola cepalina pressupõe que existem especificidades nas estruturas institucionais e produtivas de economias em desenvolvimento, as quais constituem dificuldades que restringem o desenvolvimento econômico. As contribuições de pensadores cepalinos, portanto, resultaram na fundamentação teórica das análises sobre a desigualdade de renda entre países, incluindo no debate as questões de transformações históricas, econômicas e sociais (MISSIO; JAYME JR; OREIRO, 2015).

Essas transformações podem ocorrer na estrutura econômica de uma sociedade como, por exemplo, mudanças na composição setorial, na distribuição de renda ou na dinâmica do mercado de trabalho. Com isso, a distribuição de recursos e oportunidades entre diferentes grupos sociais é afetada. Nesse escopo, na teoria do desenvolvimento econômico, as mudanças estruturais estão relacionadas ao grau de participação dos setores na economia e às mudanças na localização da atividade econômica, definidos conjuntamente na literatura de transformação estrutural (SYRQUIN, 2010).

As mudanças estruturais são entendidas como a durabilidade das mudanças na composição do agregado econômico de longo prazo (SILVA; TEIXEIRA, 2008). A literatura

clássica sobre desenvolvimento econômico argumenta que o crescimento econômico e as mudanças estruturais estão fortemente interrelacionados. Essa relação é importante para descrever o processo de desenvolvimento econômico, pois a mudança estrutural é um processo de modificação de longo prazo na participação dos setores e dos fatores produtivos na economia. Sendo assim, pode ser entendida como mudanças na composição dos agregados econômicos associadas a mudanças em unidades desagregadas, com diferentes magnitudes. Essas mudanças diferenciadas fazem da mudança estrutural um aspecto importante do crescimento econômico no longo prazo (KRÜGER, 2008).

O processo de desenvolvimento econômico se caracteriza como uma questão de adaptação e de alterações na alocação de recursos e na composição da demanda, em resposta às oportunidades abertas pela disseminação do conhecimento, choques de oferta e demanda, crises econômicas, desastres naturais e ambientais, guerras e pandemias (METCALFE; FOSTER; RAMLOGAN, 2006). Por isso, entender que as mudanças na estrutura produtiva estão no centro desse processo significa considerá-las como o caminho para o desenvolvimento econômico (CEPAL, 2014).

A mudança da estrutura produtiva é algo que países, com diferentes níveis de renda, têm como característica em comum no processo de desenvolvimento. Por exemplo, o crescimento da indústria em relação a agricultura pode ser acompanhado por mudanças na composição da demanda, no comércio internacional e na ocupação da força de trabalho. Essas mudanças no uso dos fatores de produção são influenciadas de várias maneiras pelas políticas governamentais ou choques adversos, tornando esse processo o cerne de uma estratégia de desenvolvimento econômico (CHENERY et al., 1986).

Assim, os caminhos para a mudança estrutural podem ser tecnológicos e éticos, uma vez que, o primeiro afeta a base material de uma sociedade e o segundo a superestrutura institucional. Entretanto, nem toda mudança estrutural favorece o desenvolvimento, pois a forma com que acontecem pode influenciar a intensidade dos efeitos sobre o sistema econômico. Ou seja, a mudança estrutural pode retardar o crescimento se o ritmo for muito lento ou ineficiente (CEPAL, 2014a).

Nesse sentido, a transformação estrutural é o caminho possível para estruturas produtivas ineficientes. Com isso, transformar a composição do produto e do comércio internacional, do emprego e do padrão de especialização, aumentando a participação de setores intensivos em conhecimento na produção e no comércio, além de tornar a matriz produtiva mais diversificada. Deve fortalecer a demanda agregada e expandir a produção e a geração de

emprego, por meio de inserção de economias subdesenvolvidas em mercados mundiais de rápido crescimento (CEPAL, 2014a).

A literatura de mudanças estruturais tem relevância por destacar como a participação dos setores produtivos na economia pode influenciar o desenvolvimento sustentável de um país. A partir disso, a próxima seção segue por destacar o papel das mudanças estruturais na capacidade de economias para responderem choques e mudanças contínuas.

## **2.4 - Resiliência e Mudanças Estruturais**

Os choques e perturbações contínuas, como políticas macroeconômicas, políticas industriais e as mudanças climáticas, afetam a trajetória de crescimento de países ou regiões, com possibilidade de efeitos permanentes sobre os níveis de produção e os preços macroeconômicos (salários, taxa de juros e taxa de câmbio). Entretanto, diferenças estruturais entre economias definem a intensidade desses efeitos. Um exemplo são as mudanças na composição e destino dos investimentos relacionados com as movimentações nas fronteiras tecnológicas internacionais. Em estruturas produtivas defasadas tecnologicamente há menor capacidade de adaptação e resposta a choques, em relação às economias na vanguarda da inovação (CEPAL, 2014a).

Simmie e Martin (2010) argumentam que a capacidade da estrutura de uma região - em termos de indústria, tecnologia, força de trabalho e instituições - de se adaptar às mudanças é importante para o sucesso de longo prazo de uma economia. Assim, a literatura que trata da resiliência a partir de questões estruturais é uma prática teórica que está se consolidando em meio a esforços de trazer empirismo à análise desde a primeira década de 2000 (BRISTOW; HEALY, 2018; CHRISTOPHERSON; MICHIE; TYLER, 2010; MARTIN; SUNLEY, 2020).

Martini (2020) verificou que a resiliência de regiões italianas variou conforme a localização dos clusters produtivos dos setores de indústrias e de serviços, assim como variou também para diferentes choques. Segundo a autora, os resultados mostraram que o processo evolutivo da resiliência e da estrutura econômica é altamente não linear.

Tupy et al. (2021) demonstraram que as características da estrutura produtiva foram determinantes na resposta das microrregiões brasileiras frente a Crise Financeira de 2008 e a crise nacional fiscal e política nos anos de 2015-16. Segundo os autores, as regiões mais especializadas foram mais afetadas durante os choques em nível nacional, o que evidenciou que a especialização produtiva prejudicou a resistência regional no Brasil. Além disso, observaram que a especialização em setores distintos desempenhou papéis diferentes na resiliência, conforme a natureza de cada choque econômico.

Entende-se que a relação entre mudanças estruturais e resiliência pode ser atribuída a um processo de adaptação ou aprimoramento da adaptabilidade. Pois, a falta dessas características na presença de mudanças estruturais compromete a resiliência e vice-versa, já que uma perturbação de caráter econômico, por exemplo, pode desencadear uma série de encerramentos e reestruturações das quais a economia não se recupera facilmente (EVENHUIS, 2017c).

Assim, dentro de uma ampla gama de fatores multidimensionais que determinam a resiliência de um sistema econômico, a composição setorial é particularmente significativa. Isso porque, os setores econômicos, além de serem afetados de forma diferenciada entre si, são mecanismos que contribuem para as diferentes reações de economias a choques ou perturbações (MAI; CHAN; ZHAN, 2019).

Para Pike, Dawley e Tomaney (2010), a adaptação pode configurar a resiliência de muitas economias que desenvolveram sólidas estruturas produtivas e remodelaram suas capacidades produtivas para outras mais sofisticadas, ou ainda estão nesse processo. Nesse caso, espera-se que elas possam se organizar, ou seja, que tenham uma capacidade emergente para responder a choques, a partir da estrutura que possuem.

Ao mesmo tempo, dadas às crises econômicas de diferentes naturezas observadas no início do século XXI, tornou-se extremamente necessário que países de renda média e renda baixa pensem em políticas centradas na transformação de suas estruturas produtivas para avançarem em direção de modos produtivos de baixo carbono e de alta tecnologia, que abordem questões climáticas e reduzam as suas lacunas históricas, a heterogeneidade estrutural e o dualismo (CEPAL, 2022).

Com base na literatura apresentada que trata da resiliência a partir da perspectivas das mudanças estruturais, esta tese propõe analisar a resiliência de economias a partir de suas estruturas produtivas, entretanto, o faz com foco no papel da complexidade econômica como um dos fatores estruturais capazes de determinar os diferentes padrões de respostas a choques e perturbações contínuas. A seção a seguir, portanto, trata da complexidade econômica e sua relação com a degradação ambiental, uma abordagem moderna que busca evidenciar os efeitos da sofisticação produtiva sobre o crescimento econômico, e as consequências dessa relação sobre a preservação ambiental.

## **2.5 – Complexidade Econômica**

A dinâmica do crescimento econômico, neste caso, se dá pelo impulsionamento das exportações de setores que geram ganhos de produtividades, e com alto poder de espalhamento

desse atributo. Desse modo, países que formam uma cesta de exportação de alta qualidade, registram níveis de crescimento muito mais altos do que países que não o fazem (RODRIK, 2005). Entretanto, quando se trata de economias periféricas, essa dinâmica pode ser fortalecida quando a diversificação da estrutura produtiva passa a permitir que o país dependa menos de importações mais sofisticadas e de maior elasticidade-renda do que as exportações, e reduz a tendência ao desequilíbrio externo e ao baixo nível de crescimento econômico dessas economias (CARVALHO; KUPFER, 2011).

Enquanto, países de renda média e baixa tendem a produzir e exportar relativamente menos bens, e que muitos outros países são capazes de exportar. Esses padrões se estendem sobre as estruturas subnacionais, nas quais cidades e regiões desenvolvidas se diversificam em setores econômicos relativamente excepcionais, enquanto as menos desenvolvidas permanecem concentradas em atividades menos desenvolvidas e mais onipresentes (HAUSMANN; MORALES-ARILLA; SANTOS, 2016).

Nesse contexto, a diversificação da pauta exportadora pode reduzir a dependência da receita gerada pela exportação de poucos bens, como as *commodities*, além reduzir a volatilidade dessas receitas (RODRIK, 2005). Sendo assim, nos países em desenvolvimento com a diversificação da pauta exportadora, seria possível reduzir a dependência da receita de bens primários que está sujeita à volatilidade da demanda por esses produtos. Ou seja, a especialização só seria viável em países periféricos se eles tivessem direcionado suas exportações para setores com maior conteúdo tecnológico e de maior dinamismo da demanda (CARVALHO; KUPFER, 2011). Em outra perspectiva, a especialização só beneficiaria países quando realizada em setores de maior conteúdo tecnológico e maior dinamismo da demanda (BALLAND et al., 2019).

Apesar de apresentar evidências históricas para argumentar que a desigualdade econômica e social entre países desenvolvidos e periféricos pode ser pautada pela industrialização, as dificuldades da abordagem estruturalista em respaldar seus pressupostos foram superadas com o desenvolvimento de conteúdo empírico robusto, a partir do início do século XXI. Denominada como a revanche estruturalista, a complexidade econômica proporcionou um avanço teórico e empírico que reforça as proposições dos estruturalistas clássicos, que argumentavam sobre a importância da sofisticação produtiva para o desenvolvimento econômico (GALA; ROCHA; MAGACHO, 2018).

Diferentemente da abordagem da complexidade econômica do *Santa Fé Institute* (ARTHUR, 1999, 2013), mas não desvinculada dela, a complexidade econômica entendida como sofisticação produtiva explica as diferenças entre economias por meio da capacidade de

auto-organização e autotransformação. Desse modo, os países tenderão a convergir para o nível de renda ditado pela complexidade de suas estruturas produtivas, o que indicaria que os esforços empregados em prol do desenvolvimento econômico podem se concentrar em criar as condições que permitam que a complexidade emerja para gerar crescimento e prosperidade sustentáveis (HIDALGO; HAUSMANN, 2009).

Para Hidalgo e Hausmann (2009), a complexidade econômica estimula o crescimento em países de baixa renda que ainda não desenvolvem produtos intensivos em tecnologia. Segundo os autores, os efeitos de transbordamento e de crescimento potencial estão relacionados as estruturas produtivas complexas, que permitem a expansão para uma gama de produtos e indústrias mais sofisticados. Assim, a complexidade econômica expressa a composição produtiva de um país e representa as estruturas que emergem para reter e combinar conhecimento. Com isso, passou a ser um importante instrumento que ajuda a explicar as diferenças no nível de renda dos países e na previsão de crescimento econômico futuro.

Hausmann et al. (2021) argumentam que a complexidade econômica pode ajudar a identificar a falta de conhecimento e insumos de infraestrutura e de tecnologia exigidos por novas indústrias. Assim, ela pode contribuir para políticas públicas que visem provisionar tais elementos com a finalidade de criar a base produtiva necessária para maior resiliência de economias menos complexas, no futuro. Nesse sentido, não basta apenas que o setor seja relevante, com muitas conexões dentro do sistema produtivo, é necessário que ele seja embutido de sofisticação tecnológica e que esteja conectado/relacionado a outros setores semelhantes (HAUSMANN; HIDALGO, 2011; HIDALGO et al., 2007).

De modo a exemplificar, economias de base primária são altamente vulneráveis a choques que atinjam o setor chave, onde setores como mineração e agricultura são os principais agentes do crescimento econômico gerando emprego e renda. Uma vez que os demais setores conectados ao setor chave também têm baixa capacidade de readequação de sua produção, a carência de *know-how* tecnológico no processo produtivo faz com que não tenham a capacidade de adaptação de seus negócios para outros não relacionados ao setor chave, o que faz com que o efeito do choque se propague por todo o sistema (HAUSMANN et al, 2021).

Hidalgo et al. (2007) iniciam o desenvolvimento da metodologia de complexidade econômica que viria a ser de grande relevância nas discussões sobre desenvolvimento econômico. Os autores propõem que a complexidade existente entre fatores produtivos seja um elemento que sustente a relação entre os produtos e o padrão de especialização dos países. Para isso, desenvolvem um método empírico, usando técnicas de redes, para mostrar essa relação a

partir de dados comerciais a fim de observar como os países mudam seus padrões de especialização ao longo do tempo.

A complexidade econômica, portanto, traz empirismo para reforçar que a estrutura produtiva de uma economia é um mecanismo que gera e distribui renda, e com isso, viabiliza o desenvolvimento econômico. Debates sobre essa literatura, podem implicar na elaboração de políticas sociais e industriais que, de forma complementar, podem possibilitar o desenvolvimento econômico com igualdade e sustentável (CEPAL, 2020).

Hidalgo (2021, 2023), ao organizar a literatura que trata das implicações políticas da complexidade econômica como um campo de investigações e aplicações na Economia, elenca temas relacionados e testados com a complexidade econômica: crescimento econômico, desigualdade de renda e de gênero, emprego e sustentabilidade são alguns citados pelo autor. Nesta seção, é apresentada uma seleção de estudos que abordaram tais temas e que destacam como a abordagem da complexidade econômica pode subsidiar políticas que promovam o desenvolvimento econômico com igualdade e sustentabilidade.

A relação entre crescimento econômico e complexidade econômica foi testada ao mesmo tempo em que Hidalgo e Hausmann (2009) propuseram a métrica do Índice de Complexidade Econômica (ICE). Os autores verificaram que as medidas de complexidade testadas estão correlacionadas com o nível de rendimento de um país e que os desvios desta relação são preditivos do crescimento futuro. Com isso, os autores sugerem que políticas que promovam a complexidade podem gerar crescimento sustentado e prosperidade, de modo que os países tendam convergir para o nível de renda indicado pela complexidade das suas estruturas produtivas. A partir disso, outros estudos analisaram como diferentes fatores, associados à complexidade podem ter efeitos sobre o crescimento.

Ferraz et al. (2022) analisam a sofisticação produtiva como um fator de desenvolvimento humano, e para isso desenvolvem o Índice Composto de Desenvolvimento Humano e Complexidade Econômica (CIHD-EC). Em uma amostra de 50 países, no ano de 2013, os autores utilizam dados de exportações de produtos de alta tecnologia em proporção do PIB e as despesas em P&D como proxy da complexidade econômica. Os autores comparam modelos padrão de Análise Envoltória de Dados e Análise Envoltória de Dados com medida baseada em folga, para medir a eficiência dos países na conversão da complexidade econômica em desenvolvimento humano. Como resultado, os autores constataram que Singapura é a única economia do mundo que é eficiente na transformação da complexidade econômica em desenvolvimento humano. Entretanto, o CIHD-EC mostrou ser uma ferramenta capaz de esclarecer a abordagem da complexidade econômica e a sua relação com o desenvolvimento

humano e de subsidiar políticas sociais e industriais complementares para melhorar as capacidades humanas.

Queiroz, Romero e Freitas (2023) adaptam a metodologia do ICE ao utilizarem dados de emprego nas atividades econômicas em vez de dados do comércio. Os autores calcularam o índice para os estados brasileiros no período entre 2006 e 2015, para averiguar qual o efeito da complexidade econômica sobre o emprego das unidades federativas do país. Para isso, estimam modelos de dados em painel para investigar a relação entre o ICE e os dados de emprego do Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS). Os autores, demonstram que a adição de uma unidade ICE tem efeito marginal médio de 0,017% no emprego, pois depende de estados se especializarem em produtos que aumentem sua complexidade. Ou seja, estados especializados em produtos menos sofisticados devem promover a produção competitiva em setores mais diversificados e menos onipresentes, com o objetivo de aumentar sua complexidade. Isso pode refletir em um maior volume de empregos e, conseqüentemente, impulsionar o desenvolvimento econômico.

Em uma abordagem regional, compreender e promover essa complexidade requer uma abordagem integrada que leve em consideração não apenas as características intrínsecas de cada região, mas também as conexões e interdependências que existem entre elas. Ao investir em políticas que promovam a diversificação econômica, a inovação e o desenvolvimento de capacidades locais, pode ser possível aproveitar todo o potencial dessas regiões e impulsionar o crescimento econômico de forma mais equitativa e sustentável (MCCANN; ORTEGA-ARGILÉS, 2018).

As atividades econômicas complexas tendem a se concentrar em grandes cidades. Esse padrão reflete a natureza aglomerativa de certas indústrias e serviços, que se beneficiam das vantagens dessa aglomeração, como acesso a uma ampla base de consumidores, mão de obra qualificada e infraestrutura avançada (CROCCO et al., 2006). Balland et al. (2020) argumentam que essa concentração de atividades econômicas complexas em áreas urbanas influencia significativamente a dinâmica econômica de uma região, gerando efeitos de transbordamento que podem impulsionar o crescimento e a diversificação econômica em territórios vizinhos.

A noção de atividades relacionadas refere-se à proximidade e interconexão entre diferentes setores e atividades econômicas em uma determinada região. Quando setores relacionados coexistem em uma região, isso pode facilitar a transferência de conhecimento e tecnologia entre eles, estimulando a inovação e a diversificação (FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2024). Em um estudo que analisa a distribuição espacial de patentes, trabalhos de pesquisa, indústrias e ocupações em 353 Áreas Estatísticas Metropolitanas (MSAs) dos

Estados Unidos, entre 1975 e 2010, Balland et al. (2020) mostram que a concentração espacial das atividades econômicas aumenta com a sua complexidade. Isto é, as diferenças na concentração regional de atividades econômicas podem ser explicadas por diferenças no seu nível de complexidade econômica.

A entrada e saída de indústrias em uma região também dependerá da relação econômica entre elas, pois a presença de indústrias interconectadas e complementares pode criar um ambiente favorável para o crescimento econômico, enquanto a ausência de tais relações pode dificultar o desenvolvimento e a sustentabilidade das atividades industriais. Nesse sentido, Freitas, Britto, Amaral (2024) analisam a trajetória de 558 regiões imediatas do Brasil, entre 2006 e 2016, e concluem que a entrada de novas indústrias é mais provável quando estão tecnologicamente alinhadas com as já existentes, enquanto aquelas sem afinidade têm uma maior tendência a sair do mercado. Essas descobertas ressaltam a importância da diversificação como um processo essencial e que é dependente do caminho. Além disso, os autores destacam os desafios enfrentados na atração e retenção de novas indústrias, especialmente aquelas distantes em termos tecnológicos ou mais complexas.

Para compreender a ligação entre a complexidade econômica das exportações e a desigualdade econômica a nível regional, Zhu, Yu e He (2020) se concentram na dicotomia entre áreas urbanas e rurais nas regiões chinesas durante o período de 1989 a 2013. Os autores revelam que a complexidade das exportações está correlacionada com uma redução na desigualdade de renda apenas nas áreas urbanas. Nessas regiões, uma estrutura industrial mais complexa proporciona oportunidades de trabalho mais variadas e uma maior resiliência diante de choques econômicos. Além disso, os trabalhadores tendem a possuir níveis mais elevados de qualificação, são capazes de estabelecer redes mais eficientes e têm maior poder de negociação com as empresas.

A análise da complexidade econômica, portanto, que considera a diversidade e sofisticação dos produtos exportados por uma região, revela que regiões com maior complexidade tendem a apresentar um crescimento econômico mais robusto e sustentável (HIDALGO; HAUSMANN, 2009). No contexto brasileiro, a complexidade econômica tem potencial para impulsionar a diversificação regional e desempenhar um papel crucial no desenvolvimento econômico do país. Para que tal potencial seja concretizado, as políticas industriais devem focar na distribuição espacial das capacidades produtivas e tecnológicas, que são fatores determinantes do crescimento econômico mais robusto e sustentável as regiões.

A partir de evidências empíricas robustas, a complexidade econômica mostrou ser uma perspectiva teórica e metodológica relevante para relacionar diferentes fatores ao crescimento

econômico como um processo de mudança estrutural intimamente ligado à diversificação produtiva em direção a novos produtos e setores. Diante disso, estudos que analisam questões ambientais passaram a incorporar a complexidade econômica como fator determinante de variáveis como emissões de CO<sub>2</sub>, pegada ecológica, consumo de energia. Com isso, a seção a seguir utiliza essa abordagem para inserir a sofisticação produtiva nas discussões sobre desenvolvimento sustentável.

## 2.6 – Desenvolvimento, Sustentabilidade e Complexidade Econômica

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cúpula da Terra), de 1992, criou a agenda pública para a proteção do planeta e seu desenvolvimento sustentável (ONU, 2020). Desde então, os objetivos de proteção ambiental e climática passaram a ocupar lugar central nos debates sobre políticas de desenvolvimento econômico. Neste sentido, cada vez mais passou a ser exigido que os formuladores de políticas públicas adotassem medidas para reduzir o impacto do crescimento econômico sobre o meio ambiente (KAHUTHU, 2006; KRUEGER; GROSSMAN, 1995; WEN et al., 2021).

Assim, estudos que destacam a relação entre crescimento econômico e sustentabilidade passaram a ser desenvolvidos utilizando como variáveis, na maior parte dos casos, *proxies* para a degradação ambiental relacionadas a emissões de gases de efeito estufa (HOLTZ-EAKIN; SELDEN, 1995), consumo de eletricidade (SHIU; LAM, 2004), urbanização (AL-MULALI; OZTURK, 2015) e energias renováveis e não renováveis (TUGCU; OZTURK; ASLAN, 2012).

A Curva Ambiental de Kuznets (*Environmental Kuznets Curve* – doravante, EKC) é uma das abordagens mais consolidadas na literatura sobre a relação crescimento econômico e degradação ambiental. A EKC empresta a ideia da relação entre duas variáveis na forma de U invertido apresentado inicialmente por Simon Kuznets (KUZNETS, 1955, 1965). Assim, visto que países de renda média e baixa estão ainda mais suscetíveis às maiores adversidades causadas pela degradação ambiental, análises sobre a não linearidade dessa variável e crescimento econômico foram realizadas utilizando a EKC.

Com essa abordagem, verificou-se que em uma primeira fase o crescimento econômico impacta positivamente a degradação ambiental. Entretanto, após um ponto de inflexão, observa-se que o impacto do crescimento econômico sobre a degradação ambiental evolui a taxas decrescentes. Isso mostra a não linearidade nessa relação, tendo em vista que países de renda alta tendem a gerar menor degradação ambiental do que países de renda média e renda baixa, que ainda estão nos estágios iniciais de desenvolvimento (KAIKA; ZERVAS, 2013).

Algumas evidências encontradas ao longo dos estudos desenvolvidos sobre a EKC mostram que a simplicidade do modelo fragiliza a análise, justamente por não considerar outras variáveis importantes que podem explicar a degradação ambiental (HARBAUGH; LEVINSON; WILSON, 2002). Além disso, existem problemas econométricos que afetam a interpretação das estimativas da EKC como viés de variáveis omitidas, variáveis integradas e regressões espúrias (STERN, 2004).

Dinda (2004) argumenta que, apesar da utilização da hipótese de a EKC ser aplicável em alguns casos, ela não pode ser generalizada. Segundo o autor, a EKC assume diferentes formas a partir de uma multiplicidade de resultados de fatores. O argumento é que o uso de modelos de forma reduzida, não considera os fatores interdependentes que podem influenciar a forma da EKC, o que torna sua análise deficiente.

Com isso, outros estudos buscaram ampliar o modelo básico da EKC, introduzindo variáveis explicativas adicionais, com o objetivo de modelar fatores subjacentes ou próximos ao crescimento econômico, como o comércio (GOZGOR, 2017) e a estrutura produtiva (CHU, 2021), fatores esses que já haviam sido sinalizados por Grossman e Krueger (1991) ao destacarem o papel das relações comerciais e da estrutura produtiva sobre a degradação ambiental. Os autores argumentaram que os impactos ambientais da liberalização do comércio de qualquer país dependeriam não apenas do efeito da mudança de política na escala geral da atividade econômica, mas também das mudanças induzidas na composição intersetorial da atividade econômica e nas tecnologias usadas para produzir bens e serviços.

Mohammed et al. (2022) validam a hipótese da EKC em economias avançadas (União Europeia, Reino Unido, Estados Unidos, Japão) e nos mercados emergentes (China e Coreia do Sul). Utilizando o *Panel Quantile Autoregressive Distributed Lags* (QARDL) e a *Panel Quantile Regression* (QR), os autores verificam o impacto positivo do crescimento econômico sobre as emissões de CO<sub>2</sub>. A confirmação do pressuposto de que o coeficiente de crescimento econômico (PIB) em diferentes quantis é positivo e sua versão quadrática (PIB<sup>2</sup>) é negativo, valida a EKC, uma vez que os resultados apontaram para o impacto negativo da variável PIB<sup>2</sup> sobre as emissões de CO<sub>2</sub> a partir dos quantis extremos (baixo e alto).

Outros estudos que analisam a estrutura produtiva como um dos fatores que impactam a sustentabilidade de um país foram desenvolvidos utilizando, principalmente, a diversificação dos produtos de exportação ou importação e a complexidade econômica como principais indicadores. Gozgor e Can (2016), por exemplo, testam a validade da EKC, utilizando a estrutura produtiva como fator subjacente, ao analisarem os impactos da diversificação de produtos de exportação sobre as emissões de CO<sub>2</sub>. Para isso, utilizam dados da Turquia entre

1971 e 2010, e estimam por meio de Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos (*Dynamic Ordinary Least Squares* – DOLS) e verificam que uma maior diversificação de produtos de exportação gera emissões de CO<sub>2</sub> mais altas no longo prazo.

Can e Gozgor (2017) analisam a demanda por energia e a complexidade econômica como potenciais determinantes das emissões de CO<sub>2</sub> em países desenvolvidos. Para isso, também estimam por meio de DOLS, utilizando dados da França entre o período de 1964 e 2014. Os autores validam a EKC ao verificarem que a renda per capita da França foi a variável mais importante na determinação das emissões de CO<sub>2</sub> no país e a relação quadrática entre ambas. O consumo de energia apresentou resultado similar ao da renda. Por fim, os autores constataram também que complexidade econômica resulta em menores níveis de emissões de CO<sub>2</sub> a longo prazo.

Shahzad et al. (2020) utilizam a mesma variável para testar os efeitos da estrutura produtiva sobre as emissões de CO<sub>2</sub> de 63 países, divididos em desenvolvidos e em desenvolvimento, após a verificação de diferença estatística entre os grupos no Teste de Chow. Para a amostra global, os autores constataram que a diversificação de produtos está associada a redução da variável de interesse. Por outro lado, essa relação implicou em aumento das emissões de CO<sub>2</sub> em países em desenvolvimento. Os autores argumentam que, nos países em desenvolvimento, o impacto positivo da diversificação de produtos nas emissões de CO<sub>2</sub> ocorre porque esses países estão no primeiro estágio da diversificação econômica, quando a sofisticação econômica pode aumentar as emissões de CO<sub>2</sub> devido ao uso extensivo de recursos.

Com o objetivo de contribuir para a formulação de políticas que visem reduzir as emissões de gases de efeito estufa, Romero e Gramkov (2021) propõem um Índice de Intensidade de Emissão de Produtos (*Product Emission Intensity Index* - PEII). Com base na produção de 786 bens, os autores analisaram quais produtos estão associados a intensidades de emissão mais elevadas, evidenciando a contribuição da complexidade econômica na redução da emissão de gases de efeito estufa. Como resultado da análise, foi observado que o índice corrobora com a hipótese de que produtos complexos estão associados a intensidades de emissão mais baixas, uma vez que economias complexas englobam conhecimentos necessários para a criação de tecnologias que tornam a produção mais limpa. O índice, portanto, seria uma ferramenta para auxiliar na proposição de políticas públicas de sustentabilidade que buscam evitar ao máximo a produção de produtos de alta intensidade de emissões.

Em um esforço para verificar o impacto de diferentes fatores sobre a sustentabilidade, Rafike et al. (2022) associam crescimento econômico, complexidade econômica, comércio, capital humano, geração de energia renovável, urbanização, qualidade de exportação e pegada

ecológica para analisar dez países com maior complexidade econômica e que demonstraram um crescimento econômico notável com a industrialização e urbanização. Como resultado, os autores verificaram que a complexidade, o crescimento econômico, a qualidade das exportações, comércio e a urbanização aumentam a pegada ecológica. Além disso, eles concluem que o investimento em geração de energia renovável e uso eficiente do capital humano pode melhorar a complexidade, a qualidade das exportações e o meio ambiente. Os autores destacam que, em economias industriais complexas, existe uma contribuição importante para a redução das emissões de gases de efeito estufa, e que a pegada ecológica determinará o destino do ambiente global no futuro.

Essa seção destacou a literatura que trata da complexidade econômica e degradação ambiental, sendo essa caracterizada como uma perturbação contínua sistemas ecológicos, sociais e econômicos. A seção a seguir consolida as discussões realizadas nesse capítulo, a fim de elaborar uma abordagem que permite colocar em uma mesma perspectiva a resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento. O objetivo é oferecer uma contribuição teórica com conexões nas literaturas dessas três dimensões, no intuito de oferecer uma perspectiva que avança no debate acerca da formulação de políticas e ações de promoção do desenvolvimento sustentável.

## **2.7 –Resiliência, Complexidade Econômica e Sustentabilidade**

Apesar dos esforços para mitigar os impactos das mudanças climáticas e adaptar diferentes sistemas a um novo contexto em que eventos ligados às alterações do clima serão constantes, ainda existe espaço significativo para a adoção de estratégias mais eficazes (DECHEZLEPRÊTRE et al., 2022). Por outro lado, países de diferentes níveis de renda enfrentam, historicamente, entraves que perpetuam uma trajetória de desenvolvimento insustentável(ONU, 2015c). Diante desses desafios, surge o questionamento: a estrutura produtiva pode ser um mecanismo eficaz para a implementação de políticas e ações de instituições de diferentes esferas, que visam promover a resiliência de países, permitindo a adaptação e transformação para que uma trajetória de desenvolvimento sustentável?

A resiliência evolucionária, que enfatiza a capacidade de adaptação ou transformação das estruturas industriais, tecnológicas e institucionais, é crucial para o desenvolvimento a longo prazo (EVENHUIS; DAWLEY, 2017). Esse conceito sugere que, em vez de simplesmente retornar ao estado anterior após um choque, os sistemas devem evoluir e melhorar continuamente. Para isso, através de políticas inovadoras e estratégias adaptativas, os países

podem desenvolver uma infraestrutura econômica mais robusta e sustentável, capaz de responder eficientemente às mudanças e incertezas globais (JOHNSON et al., 2018).

Assim, a implementação de tecnologias avançadas, a diversificação das indústrias e o fortalecimento das instituições são componentes essenciais para alcançar essa resiliência (TRIPPL; FASTENRATH; ISAKSEN, 2024). Assim, ao integrar a resiliência evolucionária no planejamento econômico, é possível fomentar um crescimento que não apenas resiste às adversidades, mas também aproveita as oportunidades emergentes para um desenvolvimento sustentável. Estudos mostram que países com sistemas produtivos diversificados e sofisticados se recuperam mais rapidamente de crises (HAUSMANN et al., 2021b; LAPATINAS; LITINA; POULIOS, 2022). Assim, a integração dos conceitos de resiliência e complexidade econômica proporciona uma visão abrangente para o desenvolvimento sustentável. Essa abordagem reconhece a importância da sofisticação produtiva para a resiliência de diferentes sistemas, sobretudo o econômico e social, ao enfatizar a necessidade de políticas que promovam a diversificação e a inovação.

Para além dos benefícios práticos de se discutir a junção desses conceitos, a combinação de resiliência e complexidade econômica oferece uma estrutura teórica e empírica sólida para abordar os desafios do desenvolvimento sustentável e da mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Ao destacar a importância da sofisticação produtiva e da diversidade econômica, este estudo oferece uma nova perspectiva para a formulação de políticas que promovam tanto a resiliência quanto a sustentabilidade, preenchendo uma lacuna importante na literatura existente. Além disso, as implicações práticas e significativas dessa abordagem, podem oferecer a governos e formuladores de políticas argumentos e ferramentas com foco em estratégias que aumentem a complexidade econômica para melhor preparar suas economias contra crises futuras e promover um desenvolvimento mais sustentável.

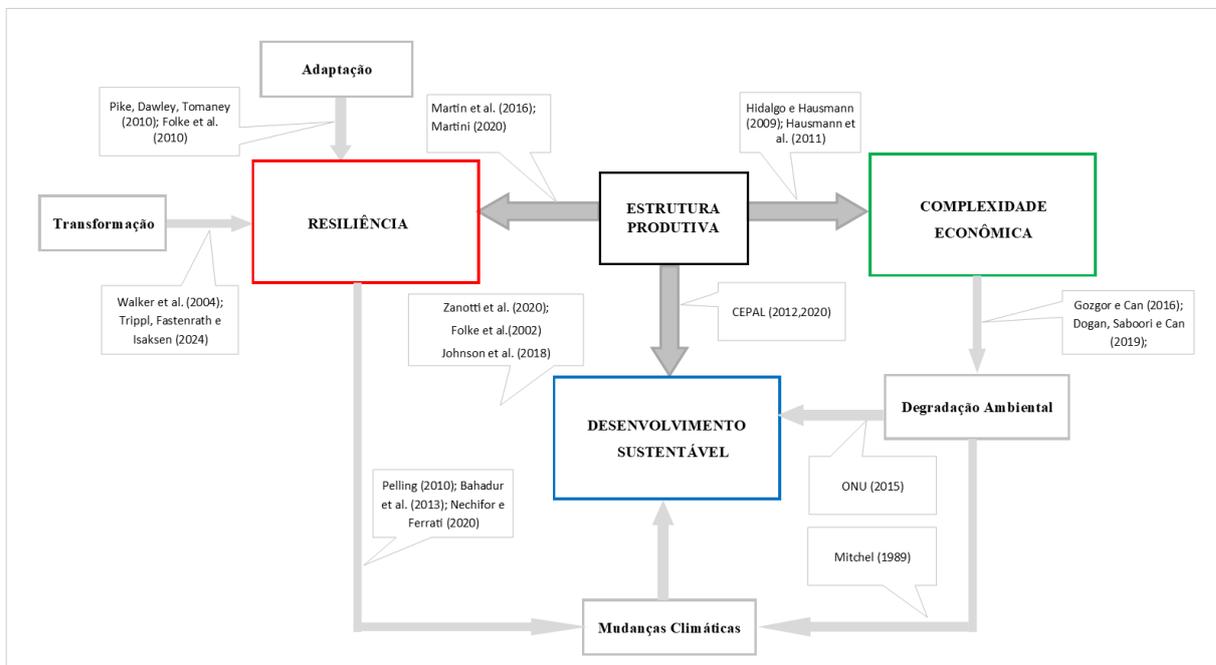
A proposta elaborada nesta tese é de uma articulação entre três dimensões essenciais da discussão sobre desenvolvimento econômico na literatura contemporânea. que combina a adaptabilidade e a capacidade de transformação dos sistemas socioeconômicos com a sofisticação e a diversidade das estruturas produtivas. A Figura 3 esboça tal proposta e alguns trabalhos que a respaldam. A partir disso, é possível analisar como diferentes países e regiões podem adotar este modelo para fortalecer suas economias e promover um desenvolvimento mais sustentável.

A implementação de políticas focadas na inovação e na diversificação produtiva da estrutura produtiva emerge como uma estratégia central. A resiliência aparece como atributo de sistemas que os leva ao desenvolvimento sustentável. Nesse aspecto, a estrutura produtiva deve

ser configurada de modo a fomentar a adaptabilidade e a transformação contínua de modo que eles sejam resilientes a choques e mudanças imprevistas, mantendo sua capacidade de crescimento e desenvolvimento a longo prazo (OLAZABAL, 2017; ZANOTTI et al., 2020).

Isso envolve a criação de ambientes propícios para a inovação, a capacitação de trabalhadores para lidar com novas tecnologias e processos, e o incentivo à colaboração entre diferentes setores da economia (HAUSMANN; HWANG; RODRIK, 2007). A complexidade econômica, portanto, é elemento fundamental para a construção de uma base econômica robusta e dinâmica, além de ter implicações sobre a degradação ambiental, que culminam em efeitos sobre o desenvolvimento sustentável e nas mudanças climáticas (BALLAND et al., 2022).

Figura 3 - Diagrama das relações conceituais da tese



Fonte: Elaboração própria.

Esta proposta, suportada por evidências empíricas, demonstra que economias com maior complexidade econômica não apenas são mais resilientes a choques econômicos e ambientais, mas também conseguem manter um desenvolvimento sustentável de longo prazo.

A partir dessa perspectiva, portanto, seria possível guiar a formulação de políticas que não apenas enfrentem os desafios imediatos, mas também preparem as economias para um futuro mais sustentável e resiliente. Assim, a tese contribui para a literatura ao fornecer uma abordagem integrada que conecta resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável, oferecendo uma nova perspectiva para enfrentar os desafios globais contemporâneos.

## 2.8 – Considerações Finais

A relação entre sofisticação produtiva e resiliência investigada nesse capítulo, se justifica por explorar como questões estruturais de sistemas produtivos podem afetar a resiliência de um país ou região frente a choques e perturbações contínuas. Embora a resiliência seja uma propriedade multidimensional, e que por isso não apresenta relação linear com muitos fatores, é relevante apurar como a estrutura produtiva pode ser um dos múltiplos caminhos que a definem.

Diante disso, esse capítulo propõe a discussão de que tal relação tem implicações sobre a sustentabilidade econômica e ambiental. Para isso, é discutido como as mudanças estruturais afetam a resiliência, fortalecendo-a ou enfraquecendo-a em contextos de diferentes níveis de complexidade. Depois, uma revisão da literatura é apresentada de modo a identificar mudanças estruturais como diversificação de atividades econômicas, interconectividade e a participação dos setores produtivos no crescimento econômico, determinam os níveis de degradação ambiental de diferentes economias. Isso é feito a partir da ótica da literatura de complexidade econômica. Por fim, conexões entre desenvolvimento, sustentabilidade, complexidade são apresentadas com o objetivo de pavimentar a abordagem integrada proposta nesse capítulo que reúne as dimensões resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável.

Esse capítulo buscou argumentar que estruturas produtivas diversificadas, tecnológicas, inovadoras e bem relacionadas, além de serem mecanismos para reduzir a desigualdade de renda, promover postos de trabalho sofisticados e reduzir a degradação ambiental a longo prazo, também podem tornar uma nação mais adaptável e resiliente a diferentes tipos de perturbações e choques. A estratégia teórica construída nesse capítulo, portanto, coloca a estrutura produtiva na condição de impulso positivo, que a longo prazo pode construir a resiliência, com uma combinação de medidas de prevenção, preparação, proteção, promoção e transformação, ações essenciais para o desenvolvimento sustentável.

Com isso, este capítulo contribui para preencher a lacuna teórica acerca dos mecanismos de interação entre resiliência, complexidade econômica e sustentabilidade, como um caminho no qual os esforços transnacionais podem ser empregados, de modo a mitigar os impactos das mudanças climáticas, reduzir a degradação ambiental e promover o desenvolvimento sustentável.

A junção desses conceitos, portanto, culminou em uma abordagem teórica para discutir os determinantes do desenvolvimento sustentável. Assim, este capítulo oferece subsídios teóricos para explorar o problema de pesquisa dessa tese que é a capacidade diferenciada de

países e regiões de serem resilientes, em resposta às perturbações constantes e choques econômicos que afetam o desenvolvimento sustentável.

A análise integrada dessas diferentes perspectivas nos permite construir três hipóteses que representam importantes lacunas na literatura:

- Países com estruturas produtivas mais complexas e diversificadas são mais adaptáveis diante dos efeitos das mudanças climáticas e, portanto, mais resilientes.
- A sofisticação produtiva pode ser um caminho para tornar uma economia mais resiliente ao mesmo tempo em que pode contribuir para torná-la mais sustentável.

Portanto, a abordagem integrada proposta nesse capítulo fundamenta os testes empíricos realizados nos próximos capítulos, em contextos de mudanças climáticas e degradação ambiental, que são dois temas diretamente relacionados ao desenvolvimento sustentável. Para isso, o Capítulo 3 testa empiricamente a relação entre resiliência climática e complexidade econômica em países de renda alta e renda média. Em seguida, no Capítulo 4, a relação entre resiliência econômica e complexidade econômica é testada simultaneamente com a relação complexidade econômica e degradação ambiental em nível regional para o Brasil.

## CAPÍTULO 3 - COMPLEXIDADE ECONÔMICA COMO DETERMINANTE DA RESILIÊNCIA CLIMÁTICA

### Introdução

Com base na relação conceitual e teórica entre resiliência, complexidade econômica e sustentabilidade, apresentada até aqui, este capítulo traz um exercício empírico para testar as associações entre essas dimensões. Assim, este capítulo testa a hipótese levantada no Capítulo 2 de que países com estruturas produtivas mais complexas e diversificadas são mais adaptáveis diante dos efeitos das mudanças climáticas, portanto, mais resilientes. Esse exercício parte do argumento de que economias heterogêneas e diversificadas conferem capacidade adaptativa potencialmente mais forte, o que as torna mais adaptáveis, pois dissipam os efeitos negativos em uma série de atividades e locais econômicos ao invés de concentrá-los e reforçá-los (PIKE; DAWLEY; TOMANEY, 2010).

Para isso, este capítulo utiliza um indicador especificamente para subsidiar o acompanhamento de iniciativas globais de monitoramento, mapeamento, proposições de políticas públicas por meio de indicadores de vulnerabilidade e de capacidade de adaptação de países frente às mudanças climáticas. Sendo assim, o Índice de Países da *Notre Dame Global Adaptation Initiative* será a medida da resiliência climática de países. (ND-GAIN Country Index, 2013).

A relação entre resiliência climática e complexidade econômica, portanto, é testada por meio dos índices *ND-GAIN* e o Índice de Complexidade Econômica (ICE). Mais especificamente, este capítulo utiliza modelos *System Generalized Method of Moment (System GMM)* para investigar o impacto da complexidade econômica sobre as diferentes capacidades adaptativas e vulnerabilidades de países para as mudanças climáticas.

A estratégia empírica desse capítulo foi realizada em cinco etapas. Primeiro, realiza-se uma avaliação preliminar dos dados a fim de verificar a relação entre resiliência climática e complexidade econômica. Segundo, realiza-se o teste de Chow para investigar se existe diferença estatística entre os grupos de países de renda alta e renda média. Terceiro, a estima-se a relação entre resiliência climática e complexidade econômica em uma amostra de 118 países e depois em amostra por níveis de renda dos países. Quarto, decompõe-se o índice de resiliência para investigar a relação de seus componentes com a complexidade econômica. Por fim, realiza-se estimação a partir de uma amostra de países desagregada por níveis de renda, utilizando índices de complexidade econômica que utilizam dados sobre pedidos de patentes e

publicações de pesquisa para construir modelos que melhoram a robustez dessas métricas para explicar as variações internacionais no crescimento verde inclusivo.

### **3.1 - Um índice multidimensional para Resiliência: o *ND-GAIN Country Index***

Como mencionado nos capítulos anteriores, mensurar a resiliência é um desafio enfrentado por pesquisadores de diversas áreas devido ao caráter fundamentalmente multidimensional dessa propriedade. Sendo assim, a interpretação e definição de resiliência pode ser ambígua, e com isso, a medição torna-se contestada e desafiadora. A escolha dos indicadores de resiliência passa a depender, em certa medida, do sistema, subsistema ou grupo-alvo de interesse.

Com isso, diferentes iniciativas de diferentes países e instituições empregam esforços na criação de ferramentas de acompanhamento da resiliência em diferentes escalas espaciais, com o objetivo de mapear, orientar e avaliar os impactos de políticas, ações e respostas às mudanças climáticas: Global Resilience Partnership, Resilient Planet Data Hub, Resilience Hub, entre outras.

Nesse esforço, a *Notre Dame Global Adaptation Initiative* (ND-GAIN)<sup>8</sup> atua na construção de ferramentas para auxiliar formuladores e avaliadores de políticas focadas na adaptação e, conseqüentemente, na resiliência de países e cidades, com base em dimensões críticas ao desenvolvimento sustentável como a ambiental, econômica e social. A adaptação, entendida como um conceito-chave em evolução, é o foco da iniciativa que busca direcionar políticas que visem sanar a necessidade que todos os países, em diferentes graus, têm de enfrentar os desafios de desenvolver tal capacidade (UNIVERSITY OF NOTRE DAME, 2022).

A partir daí, a iniciativa elabora o *ND-GAIN Country Index* que incorpora fatores relacionados à vulnerabilidade de um país às mudanças climáticas, e outros desafios globais, combinados com fatores de prontidão para adaptação, para melhorar a resiliência. A vulnerabilidade, neste caso, expressa a propensão ou predisposição das sociedades humanas a serem negativamente afetadas pelos riscos climáticos. O ND-GAIN, portanto, avalia a vulnerabilidade de um país, considerando seis setores que sustentam a vida: alimentação, água, saúde, serviços ambientais, habitat humano e infraestrutura. Cada setor é representado por seis indicadores que representam três componentes transversais: i) a exposição do setor aos riscos relacionados ao clima ou aos riscos climáticos; ii) a sensibilidade desse setor aos impactos do perigo; iii) a capacidade adaptativa do setor para enfrentar ou se adaptar a esses impactos

---

<sup>8</sup> Antes instalada no *Global Adaptation Institute* em Washington D.C, a ND-GAIN mudou-se para a *University of Notre Dame* em abril de 2013, e tornou-se parte do *Climate Change Adaptation Program*, da mesma universidade.

(GLOBAL ADAPTATION INDEX, 2015). A vulnerabilidade, portanto, é calculada da seguinte forma:

$$Vulnerabilidade = \frac{1}{6} \times \sum_i pontuação\ no\ setor_i$$

Os indicadores de vulnerabilidade variam entre 0 e 1. Quanto menor o valor, menos vulnerável é o país.

A prontidão para adaptação expressa a diligência para fazer uso efetivo de investimentos em ações de adaptação respaldados por um ambiente comercial seguro e eficiente. Assim, o ND-GAIN mede essa prontidão, considerando a capacidade de um país de alavancar investimentos para ações de adaptação, considerando três componentes: prontidão econômica, prontidão de governança e prontidão social. Esse indicador é construído da seguinte maneira:

$$Prontidão\ para\ adaptação = \frac{1}{3} \times \sum_i pontuação\ no\ componente_i$$

Os indicadores de prontidão também variam entre 0 e 1, em que quanto mais próximo de 1, melhor a prontidão (GLOBAL ADAPTATION INDEX, 2015).

Com isso, o ND-GAIN reúne 74 variáveis para formar 45 indicadores centrais<sup>9</sup> que são utilizados para medir a vulnerabilidade (36 indicadores) de 182 países e a prontidão para adaptação (9 indicadores) de 184 países (GLOBAL ADAPTATION INDEX, 2015). Os índices estão disponíveis para o período de 1995 a 2020. A pontuação de cada país no índice é composta por uma pontuação de vulnerabilidade e uma de prontidão para adaptação, e é expressa como:

$$(Indicadores\ de\ Prontidão\ para\ Adaptação - Indicadores\ de\ Vulnerabilidade + 1) \times 50 \\ = ND - GAIN\ Index$$

O índice ND-GAIN varia entre 0 e 100 (GLOBAL ADAPTATION INDEX, 2015).

O objetivo desse índice, portanto, é ajudar governos, empresas e comunidades a priorizar os investimentos de forma a garantir uma resposta eficiente aos desafios globais imediatos que se apresentam. Para os criadores do índice, o ND-GAIN é um esforço para estimar os riscos e oportunidades de adaptação através de dados, ferramentas e resultados de pesquisas disponíveis.

O índice está estruturado com base em material publicado e revisado por pares, no processo de Revisão do IPCC e em *feedback* das partes interessadas como corporações, pesquisadores e instituições públicas. Segundo a iniciativa, as medidas utilizadas nos

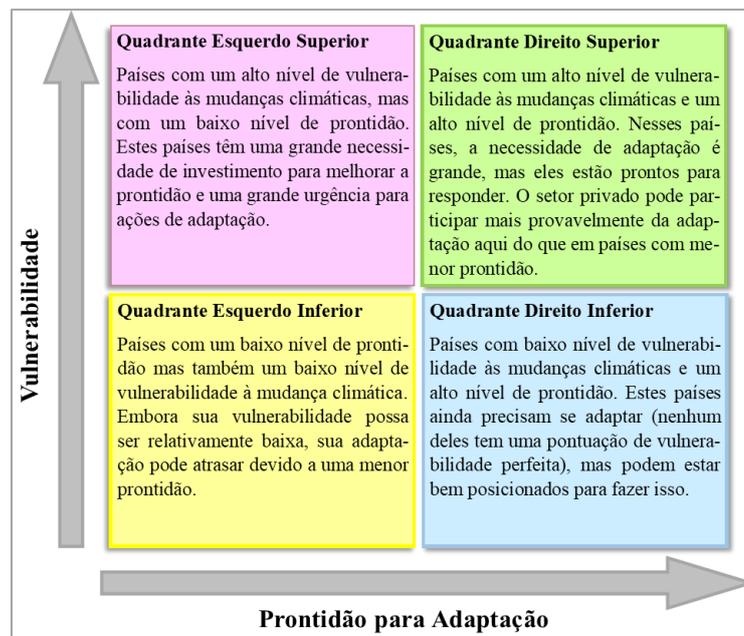
---

<sup>9</sup> Para maiores informações sobre os indicadores, ver apêndices A.2.1 e A.2.2.

indicadores de vulnerabilidade e prontidão representam ações ou são resultado de ações tomadas por governos nacionais, comunidades, organizações da sociedade civil, organizações não-governamentais, e outras partes interessadas.

Como forma de visualização do índice, a ND-GAIN propõe representar o índice como um gráfico de dispersão da prontidão para adaptação contra a vulnerabilidade, que eles denominam Matriz ND-GAIN (Figura 4). Essa matriz, portanto, fornece uma ferramenta para comparar rapidamente os países e acompanhar seu progresso através do tempo. O gráfico é dividido em quatro quadrantes, delineados pela pontuação mediana de vulnerabilidade em todos os países e durante todos os anos, assim como pontuação mediana de prontidão (GLOBAL ADAPTATION INDEX, 2015).

Figura 4 - Matriz ND-GAIN



Fonte: Elaboração própria adaptada de Global Adaptation Index (2015).

A literatura que utiliza o ND-GAIN para analisar a capacidade de adaptação de países pontua, principalmente, as questões de mudanças ambientais, econômicas e sociais e destacam diferentes fatores que influenciam a resiliência frente a essas mudanças. As diferentes abordagens tratam do papel da migração, acesso ao financiamento de ações climáticas e segurança alimentar na capacidade de adaptação (GRECEQUET et al., 2017). O ND-GAIN também se tornou uma importante ferramenta para averiguar o desempenho do financiamento de ações que promovam a adaptação de países frente a mudanças climáticas.

Chaudhary, Gustafson e Mathys (2018) utilizam o ND-GAIN como indicador de resiliência para avaliar a sustentabilidade dos sistemas alimentares globais com múltiplos

indicadores. Como resultado, os autores verificaram o efeito desse indicador na sustentabilidade do sistema alimentar global é liderado por nações de alta renda. Andrijevic et al. (2020) usam o índice para analisar a relação entre governança e adaptação às mudanças climáticas. Para os autores, o conceito de prontidão para adaptação inserido no ND-GAIN pode indicar a capacidade de absorção dos países do financiamento internacional voltados para questões do clima como, por exemplo, Fundo Verde para o Clima<sup>10</sup>.

Hadida et al. (2022) acrescentam uma contribuição à literatura sobre o comércio internacional de alimentos, ao analisarem as importações de Gâmbia e apontarem essa dimensão como estratégica para a adaptação do país às mudanças climáticas, de forma a aumentar a resiliência de seu sistema alimentar. Segundo os autores, existe o risco de que a dependência significativa de Gâmbia das importações de alimentos em relação a outros países, que também são vulneráveis ao clima, possa aumentar a vulnerabilidade ambiental do seu sistema alimentar.

O índice ND-GAIN, portanto, é considerado um indicador particularmente abrangente devido a inclusão da capacidade de adaptação, que costuma ser omitida em outros índices, e que está relacionada a fatores significativos para pressão que as mudanças climáticas exercem sobre os países (REGAN; KIM; MAIDEN, 2019). Para destacar a relevância desse índice, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) o incluiu como um dos principais indicadores de desenvolvimento em sua plataforma de dados *Rising Up for SIDS*. Esta plataforma utiliza abordagem integrada de diferentes centros de pesquisa para apoiar os Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento, para acelerar o desenvolvimento transformador com base nos pilares ação climática, economia azul e transformação digital (PNUD, 2023).

Por outro lado, o índice tem limitações. Ele não capta as variabilidades intra-países e sazonais, o que negligencia as vulnerabilidades locais. Assim, essa limitação deve ser considerada ao interpretar os resultados para possíveis ações políticas (HADIDA et al., 2022). Além disso, com a descontinuidade do *Doing Business* do Banco Mundial em 2021, devido a irregularidades nos dados dos relatórios 2018 e 2020, o componente prontidão econômica precisará ser revisto. Contudo, o índice ND-GAIN ainda é considerado pela literatura com um indicador válido para análises a respeito da resiliência climática de países.

---

<sup>10</sup> O Fundo para o Clima Verde (GCF), criado a partir do Acordo de Paris, é o maior fundo climático do mundo, mandatado para apoiar os países em desenvolvimento a levantarem e realizarem suas ambições de Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDC) em direção a baixas emissões, caminhos resilientes ao clima (GREEN CLIMATE FUND, 2022).

### 3.1.1 – Análise preliminar dos índices ND-GAIN e ICE

A partir do Índice de Complexidade Econômica (ICE, doravante), o *Atlas of Economic Complexity*<sup>11</sup> elaborou um ranking de países com base na diversidade e complexidade de sua cesta de exportação. O argumento por trás desse ranking é de que países de alta complexidade abrigam uma gama de capacidades sofisticadas e especializadas e, portanto, são capazes de produzir um conjunto altamente diversificado de produtos complexos. Sendo assim, o ICE pode ser utilizado para explicar as diferenças de renda entre países e prever o crescimento futuro melhor do que qualquer outra medida isolada (HARVARD'S GROWTH LAB, 2022; HAUSMANN et al., 2011).

A base de dados do *Atlas of Economic Complexity* contém dados comerciais<sup>12</sup> para 250 países e territórios, classificados em 20 categorias de mercadorias e 5 categorias de serviços. O Atlas fornece a visualização gráfica de fluxos comerciais bilaterais para mais de 6.000 mercadorias em 20 categorias, disponibilizadas em dois sistemas de classificação comercial: *Harmonized System* (HS) 1992 e *Standard International Trade Classification* (SITC) na revisão 2 (HARVARD'S GROWTH LAB, 2022).

No exercício desenvolvido nesse capítulo, a classificação utilizada é a HS (1992). A HS cobre, aproximadamente, 5.000 mercadorias em 10 categorias, no período entre 1995 e 2020. Os dados do HS foram escolhidos por oferecerem uma classificação contemporânea e detalhada das mercadorias, apesar de cobrirem um período relativamente mais curto.

Após o tratamento dos dados, verificou-se que 121 países apresentavam observações em comum nas bases do ND-GAIN e do *Atlas of Economic Complexity*. Enquanto, o ND-GAIN apresenta dados para 182 países, o ICE cobre 133 países, considerando o período mínimo com informações completas entre as duas bases que inicia em 1995 até 2020<sup>13</sup>.

A análise preliminar dos países da amostra, no ano de 2020, é feita a partir da Figura 5. Como primeira evidência, nota-se que no hemisfério norte, onde está a maior parte dos países de alta renda, estão localizados os países mais aptos a responderem positivamente as mudanças climáticas. Isso aponta, portanto, para a necessidade de se analisar a resiliência desses países por níveis de renda.

---

<sup>11</sup> O *Atlas of Economic Complexity* é uma ferramenta de visualização de dados que permite explorar os fluxos comerciais globais através dos mercados, acompanhar estas dinâmicas ao longo do tempo e descobrir novas oportunidades de crescimento para cada país. Esta é uma iniciativa da *Harvard Kennedy School of Government*, e é alimentado pela pesquisa do (HARVARD'S GROWTH LAB, 2022).

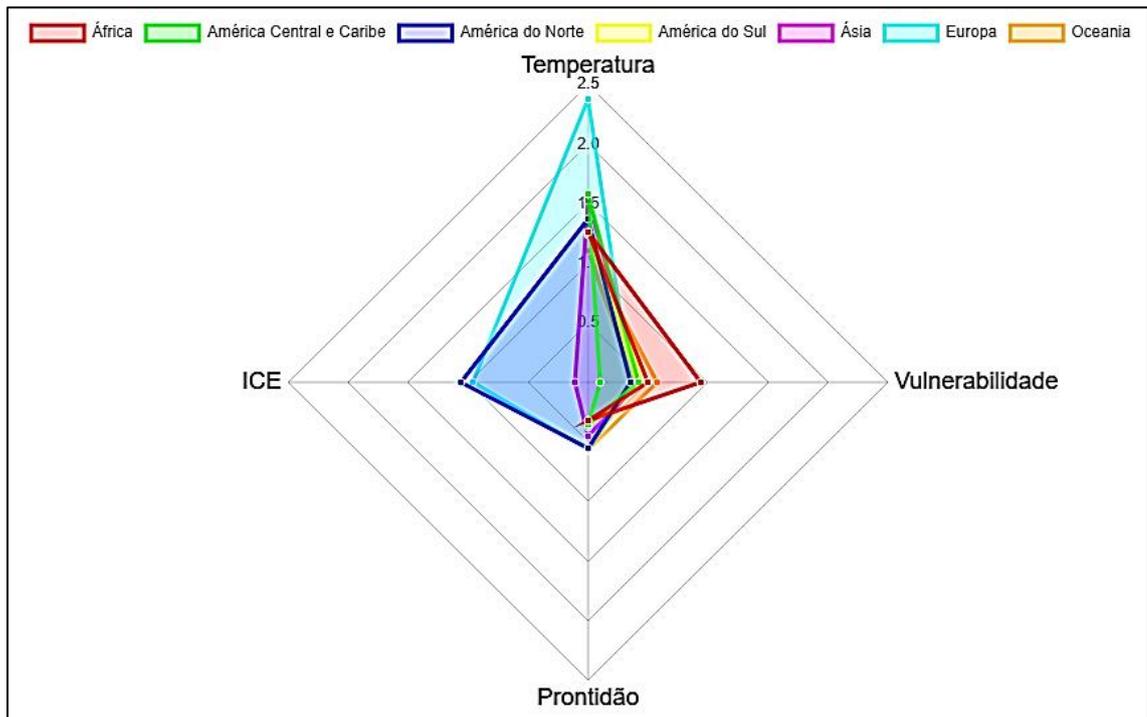
<sup>12</sup> Os dados de comércio bruto de mercadorias são extraídos dos relatórios dos países à Divisão de Estatística das Nações Unidas (COMTRADE). Os dados comerciais sobre serviços são do banco de dados da Direção de Estatísticas Comerciais do Fundo Monetário Internacional (FMI)(HARVARD'S GROWTH LAB, 2022).

<sup>13</sup> O apêndice A.2.3 apresenta os rankings dos países selecionados nos dois índices.

Os países com maior nível de complexidade econômica estão concentrados, em grande parte, na Europa e América do Norte, enquanto os com menor complexidade, no hemisfério sul. A partir do argumento de que o índice de complexidade econômica pode refletir mais do que a estrutura produtiva de uma economia, pode também mostrar as desigualdades de renda (HARTMANN et al., 2017).

Quando a perspectiva de mudança climática é adicionada à análise, nota-se que em termos de variação de temperatura, os países da Europa e Norte da África são os mais afetados por esse evento climático, conforme mostra a Figura 5. De acordo com o (IMF, 2023), as estimativas anuais da mudança média da temperatura da superfície são feitas a partir de uma climatologia de linha de base, correspondente ao período de 1951 a 1980. Assim, os dados mostram o quanto a temperatura média dos países variou em relação ao período da linha base. O que sugere a hipótese do fenômeno de mudança climática como resultado da ação humana (ARRHENIUS, 1896).

Figura 5 - Indicadores de Prontidão para Adaptação e Vulnerabilidade, Índice de Complexidade Econômica e Mudanças de Temperatura (2020)



Fonte: Elaboração própria com base no *Atlas of Economic Complexity* e *Notre Dame Global Adaptation Initiative* (2022).

A Tabela 1 mostra os dez primeiros países no ranking do Índice ND-GAIN, assim como os dez últimos. Verifica-se que, dentre os países com melhor colocação, todos são de renda alta e oito são europeus. Na análise conjunta entre a Figura 5 e a Tabela 1, nota-se também que os

países europeus são os mais impactados pelas mudanças de temperatura, mas também os mais preparados para se adaptarem à essas mudanças. Isso sugere, que o investimento em ações e políticas que visam melhorar as capacidades correspondentes à mitigação e adaptação frente aos impactos das mudanças climáticas é maior nesses países (DECHEZLEPRÊTRE et al., 2022).

Tabela 1 - 10 primeiros e 10 últimos países no ranking do Índice ND-GAIN (2021)

Rank	País	Grupo de renda	Pontuação
1	Noruega	Alta	75,0
2	Finlândia	Alta	73,9
3	Suíça	Alta	72,5
4	Dinamarca	Alta	71,9
5	Cingapura	Alta	71,5
6	Suécia	Alta	71,4
7	Islândia	Alta	70,6
8	Nova Zelândia	Alta	70,3
9	Alemanha	Alta	70,2
10	Reino Unido	Alta	70,1
176	Mali	Baixa	34,6
177	Libéria	Baixa	34,1
178	Somália	Baixa	33,8
179	Afeganistão	Baixa	32,8
179	Sudão	Baixa	32,8
181	Guiné-Bissau	Baixa	32,5
182	Rep. Dem. do Congo	Baixa	32,4
183	Eritreia	Baixa	30,8
184	República Centro-Africana	Baixa	27,7
185	Chade	Baixa	27,0

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Universidade de Notre Dame (2022).

A partir dessa análise prévia, a subseção a seguir analisará os dois principais índices de interesse deste capítulo (ND-GAIN e ICE) por níveis de renda dos países.

### 3.1.2 – Análise dos índices ND-GAIN e ICE, por níveis de renda dos países

Para a investigação proposta neste capítulo, dados do ND-GAIN e do ICE são utilizados de forma a analisar como países com diferentes níveis de renda se adaptaram e evoluíram ao longo do tempo, em um contexto de severas mudanças climáticas.

O World Bank (2022) atualiza a classificação dos países por nível de renda anualmente, com base nos Coeficientes de Gini do ano expressos em dólares dos Estados Unidos (USD), e são determinadas usando fatores de conversão derivados de acordo com o método World Bank

Atlas<sup>14</sup>. De acordo com a atualização em 2022, os grupos de renda são definidos, portanto, como: baixa (< US\$ 1.045), média baixa (US\$ 1.046 - US\$ 4.095), média alta (US\$ 4.096 – US\$ 12.695) e alta (> US\$ 12.695). Por simplicidade de análise, os países de renda média baixa e média alta foram agrupados e definidos como grupo de renda média. Assim, a amostra contém 42 países de renda alta, 66 de renda média e 13 de renda baixa.

Essa abordagem está de acordo com a proposta da *Notre Dame Global Adaptation Initiative*, que argumenta que o nível de renda é um recorte importante para analisar as diferentes resiliências entre países. Isso porque, países menos desenvolvidos tendem a ser mais afetados por desastres climáticos, enquanto os países ricos tendem a se recuperar mais rapidamente. De acordo com a iniciativa, seriam necessários cem anos para que os países de renda baixa alcancem a resiliência de países renda alta (UNIVERSITY OF NOTRE DAME, 2022).

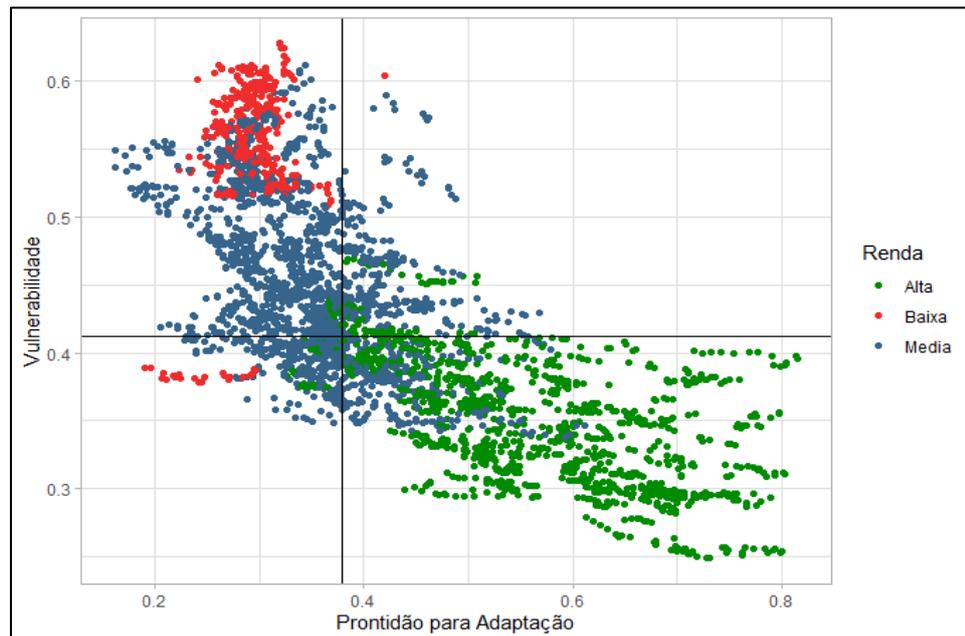
A Figura 6, portanto, mostra a distribuição dos países diferenciados por níveis de renda com relação a vulnerabilidade e prontidão para adaptação. Os quadrantes do gráfico de dispersão foram definidos com base nas medianas (vulnerabilidade = 0,412; prontidão para adaptação = 0,380). De acordo com os critérios de análise da Figura 4, percebe-se que os países de renda alta se concentram no quadrante inferior direito, indicando que eles têm altos níveis de prontidão e baixos níveis de vulnerabilidade. Os países de renda baixa e grande parte dos países de renda média se concentram, no quadrante superior esquerdo, o que indica que são muito vulneráveis e não possuem prontidão para adaptarem.

Vale destacar os outliers nessa matriz. No quadrante inferior esquerdo, a Venezuela se destaca como único país de renda baixa com baixa vulnerabilidade. Enquanto, no quadrante superior direito, a única observação de país de renda baixa é da Libéria, e dentre os países de renda média Índia, Bangladesh e Paquistão apresentaram alta vulnerabilidade e baixa prontidão.

---

<sup>14</sup> O método Atlas suaviza as flutuações da taxa de câmbio usando uma média móvel de três anos, fator de conversão ajustado pelo preço.

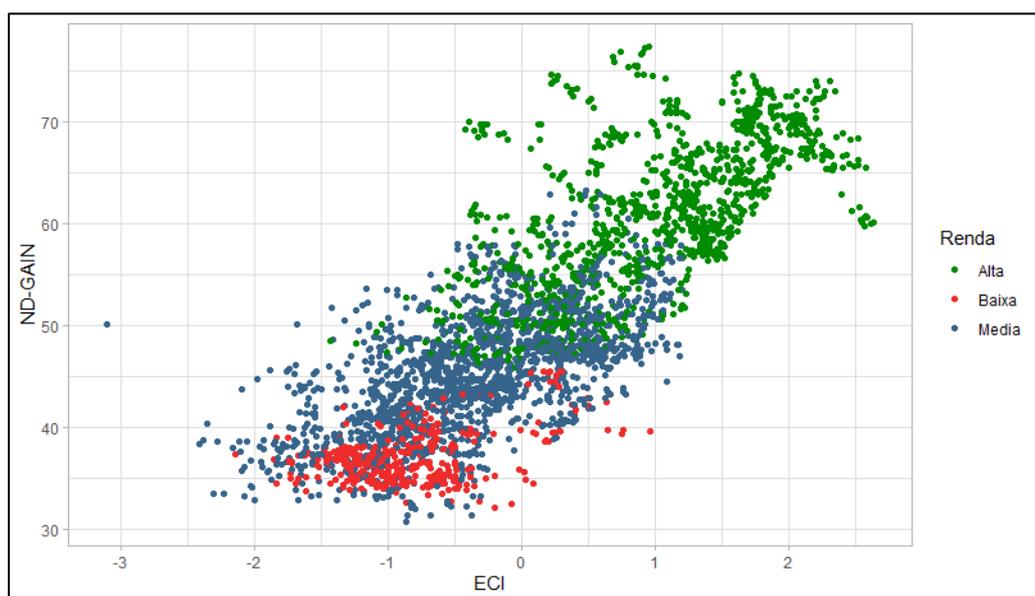
Figura 6 - Matriz ND-GAIN com países da amostra diferenciados por nível de renda (1995-2020)



Fonte: Elaboração própria.

A análise conjunta das duas principais variáveis deste exercício empírico (ND-GAIN e ECI) aponta para a correlação positiva entre ambas, conforme mostra a Figura 7. Isso é um indício, portanto, de que existe uma relação positiva entre ambas, o que torna possível avançar na análise proposta nessa tese que é sobre considerar a complexidade econômica como um dos determinantes da resiliência climática.

Figura 7 - Gráfico de dispersão entre ND-GAIN e ICE (1995-2020)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Global Adaptation Index e do Atlas of Economic Complexity (2022).

### 3.2– Literatura empírica e variáveis de controle

A seleção das variáveis de controle se baseia na literatura sobre resiliência geral de sistemas socioecológicos e da resiliência econômica utilizando amostras de países. Isso porque, embora o ND-GAIN represente aspectos multidimensionais da resiliência geral de países a mudanças climáticas, as limitações dos aspectos econômicos considerados no cálculo do índice, conforme discutido na seção 3.1, levam à necessidade de expandir a análise da dimensão econômica da resiliência.

Visto que as dimensões de governança política, social e ambiental estão bem representadas no ND-GAIN, a seleção das variáveis de controle foi direcionada para as dimensões estabilidade econômica e integração ao comércio internacional. Adicionalmente, o setor de serviços financeiros também foi incorporado ao modelo a partir da abordagem da causalidade, mitigação e adaptação desse setor com as mudanças climáticas.

Diversos estudos buscaram quantificar a resiliência econômica de países por meio de índices compostos ou variáveis *proxies* (ANGEON; BATES, 2015; BRIGUGLIO et al., 2009; NGOUHOOU; NCHOFOUNG, 2021). Em Briguglio et al. (2009) e Briguglio (2014, 2016), a elaboração de um índice resiliência econômica composto por dimensões de estabilidade macroeconômica, flexibilidade do mercado ajustada à prudência financeira e governanças política, social e ambiental. Briguglio et al. (2009) propõem o índice de resiliência de países ao utilizarem diferentes indicadores para mensurar as dimensões de estabilidade macroeconômica, como déficit fiscal, inflação, saldo em conta corrente e desemprego. Para os autores, o desemprego e a inflação são influenciados por outros tipos de política econômica, incluindo políticas monetárias e de oferta. Com isso, eles estão associados à resiliência porque, uma economia que tem altos níveis de desemprego e inflação, provavelmente os custos que choques adversos podem gerar serão mais significativos.

Angeon e Bates (2015) elaboram um índice composto (*Net Vulnerability Resilience Index*) e o aplicam em uma amostra de países e, como resultado, verificam que tanto a vulnerabilidade quanto a resiliência são sensíveis às políticas e que não há determinismo para que um país permaneça vulnerável ou resiliente. Além disso, o índice mostrou ser uma ferramenta que poderá orientar países, na elaboração de políticas que devem ser implementadas para mitigar as vulnerabilidades dos países, para alcançar a sustentabilidade.

Por exemplo, Ngouhouo e Nchofoung (2021) testam a junção das dimensões propostas por Briguglio e por Angeon e Bates (2015) para analisar a resiliência de países da África Subsaariana. Os resultados demonstraram que a maioria desses países ainda está em uma condição de vulnerabilidade descontrolada. Os países que apresentaram uma situação de

resiliência estável são caracterizados pela estabilidade macroeconômica, flexibilidade do mercado e nível aceitável de governança. Os países do grupo de resiliência instável, a governança e a estabilidade macroeconômica são as dimensões que precisam de políticas públicas com foco, principalmente, em planos de curto e médio prazo que incluam a estabilidade de moeda, reformas de segurança pública, melhoria da proteção social e o desenvolvimento sustentável.

Além disso, de acordo com a ONU (2023a), o desemprego é uma medida fundamental para monitorar se um país está no caminho certo para atingir o oitavo dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que é promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, por meio do emprego pleno e produtivo e do trabalho decente para todos.

O setor de serviços financeiros (instituições públicas e privadas) foi fortemente relacionado a resiliência após a Crise Financeira de 2008. Por oferecerem serviços de seguros, bancos e gestão de ativos, os serviços financeiros geralmente estão presentes nas discussões sobre os riscos relativos ao sistema econômico. Vellinga e Evans (2001) argumentam que os serviços financeiros são proxies qualitativas dos impactos socioeconômicos das mudanças climáticas, por ser um integrador dos efeitos em outros setores. De acordo com os autores, no contexto da adaptação às mudanças climáticas, o setor de serviços financeiros atua por meio do aumento potencial da demanda por financiamento de ações de adaptação em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Além disso, é um mecanismo de redução dos riscos das mudanças climáticas. A partir disso, dados do Banco Mundial de serviços financeiros e de seguros como percentual das exportações de serviços comerciais foram utilizados na regressão.

Com base em Andrijevic et al. (2020), é importante incorporar questões de gênero em cenários que avaliam os impactos climáticos futuros. Os autores destacam também a relevância de abordar as desigualdades de gênero nas políticas que visam promover o desenvolvimento resiliente às alterações climáticas. Isso porque, as dinâmicas de poder, estruturas socioeconômicas e expectativas sociais tornam as mulheres mais vulneráveis a diferentes tipos de choques, assim como os impactos climáticos. Para destacar o aspecto social da resiliência climática, a variável desigualdade de gênero é inserida no modelo estimado neste capítulo (DJOUDI et al., 2016; SHAYEGH; DASGUPTA, 2024). Para isso, são utilizados dados do Banco Mundial sobre a porcentagem da população feminina vivendo com HIV (idade 15 ou mais).

Por fim, outro aspecto abordado no modelo é o efeito demográfico sobre a resiliência. Holling (1973) destaca que a resiliência de sistemas ecológicos é influenciada pela densidade populacional. Segundo o autor, sistemas de baixa densidade populacional geralmente exibem

maior resiliência comparados com sistemas com alta densidade populacional. Isso porque, em sistemas ecológicos com baixa densidade populacional há maior disponibilidade de recursos, o que reduz a competição entre os agentes. Com isso, a capacidade de suporte dos recursos é menos explorada, tornando esses sistemas capazes de se recuperarem após perturbações. A partir disso, dados de densidade demográfica do Banco Mundial são utilizados na análise econométrica (BROWN; GREENBAUM, 2017; KITSOS; BISHOP, 2018). Os dados foram calculados a partir do total da população, incluindo todos os residentes independentemente de status legal ou cidadania, dividido pela área terrestre total de um país.

### 3.3 - Análise Empírica

#### 3.3.1 - Modelo

Este trabalho utilizou dados em painel, pois é necessário acompanhar a evolução da resiliência climática no tempo e no espaço. Dados em painel ou dados longitudinais se referem a dados que contêm observações de séries temporais de vários indivíduos. Dessa maneira, as observações em dados de painel envolvem pelo menos as dimensões de seção transversal (*cross section*), indicada pelo subscrito  $i$ , e de série temporal, indicada pelo subscrito  $t$  (HSIAO, 1986).

Hsiao (2007) enumera as principais vantagens dos dados de painel, como: (i) inferência mais precisa dos parâmetros do modelo; (ii) maior capacidade de capturar a complexidade do comportamento humano; e (iii) simplificação da computação e da inferência estatística. Além disso, outra vantagem é capacidade de controlar efeitos individuais não observados e variações temporais não capturadas nas análises transversais tradicionais. Isso pode aumentar a eficiência e o poder estatístico dos modelos, proporcionando estimativas mais precisas dos efeitos das variáveis independentes na variável dependente.

Por outro lado, as limitações dos dados em painel são distorções de erros de medição, problemas de seletividade (auto seletividade), séries temporais curta, dependência entre seções transversais que podem levar a inferências enganosas (BALTAGI, 2008). Com isso, diferentes métodos econométricos de dados em painel foram desenvolvidos e aplicados a fim de tratar essas limitações e outros problemas gerados durante o manejo de dados em painel como os Efeitos Fixos, Efeitos Aleatórios, *Feasible Generalized Least Squares* (FGLS), Efeito Fixo com a abordagem de erros padrão Driscoll e Kraay (DK) e *System Generalized Method of Moments Estimator* (SYS-GMM)<sup>15</sup>.

Kitsos, Carrascal-Incera e Ortega-Argilés (2019) examinam o papel da inserção industrial local na resiliência econômica nas regiões da Nomenclatura de Unidades Territoriais

---

<sup>15</sup> Esses métodos aplicados neste capítulo são apresentados no apêndice A.3.

para Estatísticas (NUTS2) do Reino Unido, entre os anos de 2000 e 2010. Para isso, utilizam regressões em painel de efeitos fixos para controlar a heterogeneidade regional. Como resultado, a integração industrial tem um efeito positivo sobre a resiliência até certo ponto, após o qual uma maior integração leva a efeitos negativos sobre a resiliência. Com isso, eles confirmam a hipótese de que a combinação entre as externalidades positivas de atividades industriais mais sofisticadas e os efeitos negativos de *lock-in* levam a uma relação em forma de U invertido entre a integração e a resiliência.

Tupy et al. (2022) utilizam equações simultâneas estimadas por meio de um modelo de regressão Aparentemente Não Relacionado (*Seemingly Unrelated Regressions – SUR*) aplicado a um conjunto de dados de painel com efeito aleatório, para explicar a resiliência regional relativa ao emprego formal e a severidade da pandemia em 558 microrregiões brasileiras, durante os meses de 2020 e 2021. Os autores verificam que a adoção antecipada de medidas de isolamento aplicadas em 2020 foi eficaz no controle dos efeitos da pandemia, especialmente em microrregiões vulneráveis. Ainda, verificou-se que o auxílio financeiro emergencial contribuiu positivamente para a resiliência do emprego e negativamente para a taxa de crescimento de mortes causadas pela COVID-19.

Assim, optou-se por manter a utilização de dados em painel conforme os estudos apresentados, para propor o modelo que incorpora o efeito da complexidade econômica sobre a resiliência climática, descrito da seguinte forma:

$$resiliência\ climática_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 complexidade\ econômica_{i,t} + \beta_{1+n} controles_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

onde a resiliência é expressa por meio do ND-GAIN *Country Index* e a complexidade é expressa pelos Índice de Complexidade Econômica do *Atlas of Economic Complexity*.

Assim, as variáveis de interesse e as variáveis de controle inseridas no modelo são apresentadas na Tabela 2, assim como as fontes dos dados utilizados.

Tabela 2 - Variáveis do modelo

Variáveis	Dados	Dimensões	Fontes
<i>NDGAIN</i>	Resiliência	Resiliência (Variável dependente)	Notre Dame Global Adaptation Initiative
<i>ICE</i>	Índice de Complexidade Econômica	Estrutura Produtiva (Variável independente de interesse)	Atlas of Economic Complexity
<i>desemp</i>	Desemprego (% da força de trabalho total)	Estabilidade Econômica	World Development Indicators
<i>fin</i>	Serviços financeiros e de seguros (% das export. de serv. comerciais)	Mercado financeiro	World Development Indicators
<i>manuf_x</i>	Exportações de manufaturados (% das exportações de mercadorias)		World Development Indicators
<i>fem_hiv</i>	Porcentagem da população com mais de 15 anos vivendo com HIV, mulheres (%)	Desigualdade de gênero	World Development Indicators
<i>dens_pop</i>	Densidade Populacional	Demografia	World Development Indicators

Fonte: Elaboração própria.

Nos testes empíricos realizados neste capítulo, duas amostras foram utilizadas. A principal é formada por 118 países, no período de 1995 a 2020. A amostra alternativa foi utilizada no teste de robustez e é composta por 100 países, no período de 1999 a 2019. O teste com uma amostra alternativa foi feito com o objetivo de investigar a relação entre resiliência climática com a complexidade econômica calculada a partir de diferentes variáveis, que vão além das relações comerciais. Os dois painéis são desbalanceados. Os resultados dos países de renda baixa não serão discutidos devido ao pequeno número de observações para esse grupo, o que inviabiliza uma estimação consistente e eficiente do modelo.

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos dados usados neste capítulo, considerando o período de 1995 a 2020. Essas estatísticas descritivas dão uma visão geral do conjunto de dados.

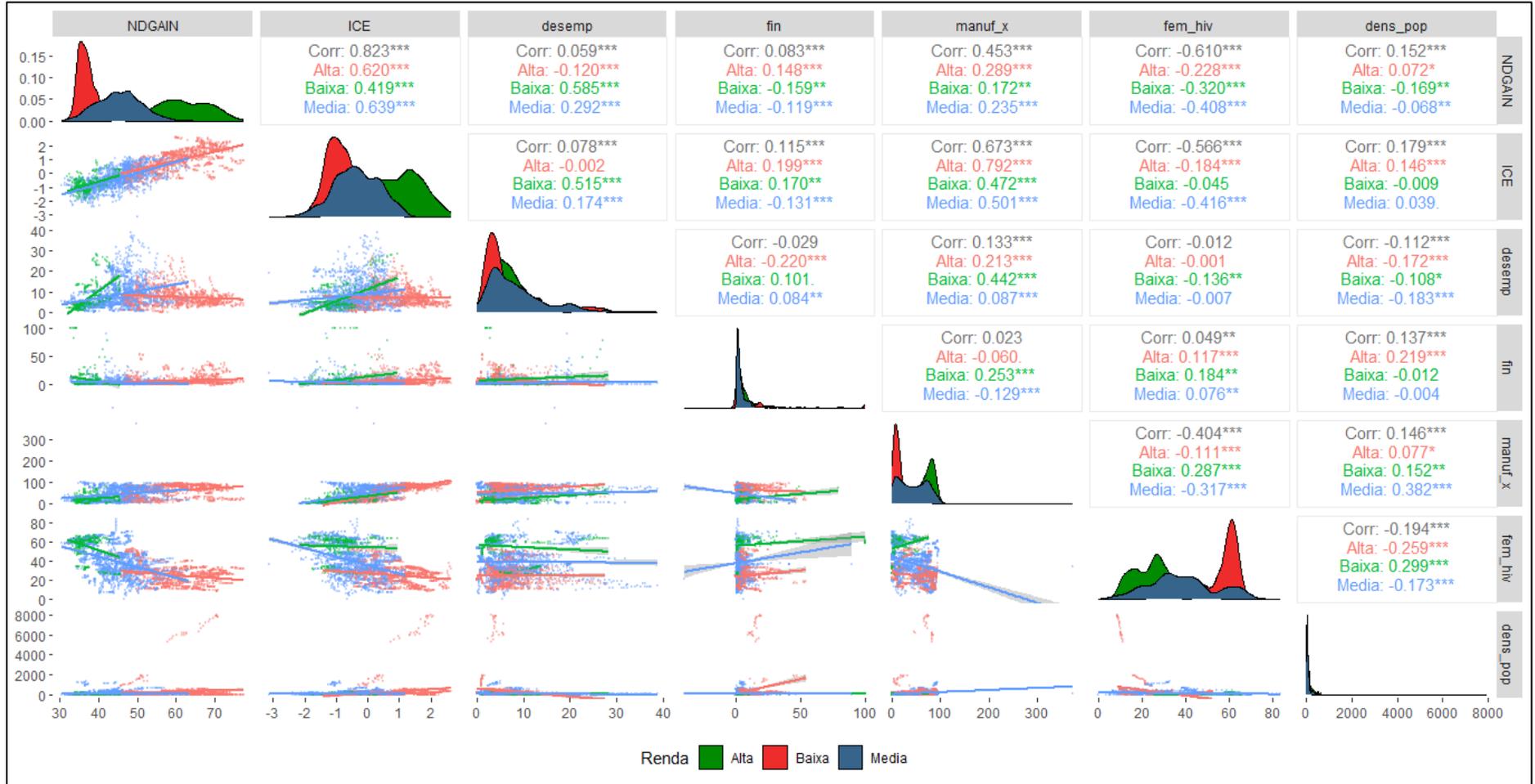
Tabela 3 - Estatística descritiva

Variáveis	Obs.	Média	Desvio Padrão	Min.	Max.
<i>NDGAIN</i>	565	51,125	10,289	33,268	77,322
<i>ICE</i>	565	0,193	0,959	-2,165	2,632
<i>desemp</i>	565	7,838	5,639	0,100	38,800
<i>fin</i>	565	5,132	7,126	0,001	78,895
<i>manuf_x</i>	565	48,554	29,696	0,001	97,272
<i>fem_hiv</i>	565	34,379	16,199	5,300	83,300
<i>dens_pop</i>	565	198,229	698,111	1,523	7965,878

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5 mostra a análise de correlação que indica que a resiliência tem uma correlação positiva com todas as variáveis selecionadas, exceto com *fem\_hiv*, e em maior grau com o ICE (0,823). Todas as variáveis estão em logaritmo, para a interpretação dos parâmetros como taxas (GREENE, 2011). Os dados de ICE tiveram seus valores somados a 100, e depois foi aplicado o logaritmo. Essa estratégia foi utilizada para garantir que todos os valores se tornem positivos antes de aplicar a transformação logarítmica. Isso permite que a regressão logarítmica seja aplicada sem problemas matemáticos (WOOLDRIDGE, 1996).

Figura 8 - Matriz de correlação entre as variáveis do modelo



Fonte: Elaboração própria.

### 3.3.2 – Métodos de Estimação

O teste de raízes unitárias de painel é importante devido a preocupações com o problema de regressão espúria<sup>16</sup>. Sendo assim, o teste Dickey-Fuller Aumentado do tipo Fisher foi implementado, uma vez que os dados formam um painel desbalanceado. Os testes do tipo Fisher combinam os p-valores de testes independentes para obter uma estatística de teste geral. Nesse caso, o teste aplicado separadamente foi o Dickey-Fuller Aumentado, que tem como hipótese nula que a variável contém uma raiz unitária, e a alternativa é que a variável foi gerada por um processo estacionário (HAMILTON, 2020). Assim, a hipótese nula que está sendo testada pelo teste Fisher é que todos os painéis contêm uma raiz unitária, e para um número finito de painéis, a alternativa é que pelo menos um painel é estacionário (CHOI, 2001).

Para verificar a heterocedasticidade nos resíduos do modelo de regressão empregou-se o teste de Breusch-Pagan. A heteroscedasticidade, portanto, ocorre quando a variância dos resíduos não é constante em todas as faixas de valores das variáveis independentes, o que pode violar a suposição de homoscedasticidade (variância constante). De acordo com a hipótese nula do teste, variância nos resíduos é constante, enquanto a hipótese alternativa é que a variância não é constante (GREENE, 2011).

Por fim, foi realizado o Teste de Chow, que é um teste F modificado para quebra estrutural, para observar se existem semelhanças e diferenças entre os grupos de países de renda média e renda alta. Similarmente, Shahzad et al. (2020) utilizam o teste para verificar as discrepâncias entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento. Como resultado, com 99% de confiança, a hipótese nula de estabilidade estrutural dos parâmetros foi rejeitada, confirmando a diferença entre os grupos por nível de desenvolvimento econômico.

Com isso, o modelo estimado para a amostra global e para os grupos de renda média e renda alta é:

$$NDGAIN_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 ICE_{i,t} + \beta_2 desemp_{i,t} + \beta_3 fin_{i,t} + \beta_4 manif\_x_{i,t} + \beta_5 fem\_hiv_{i,t} + \beta_6 dens\_pop_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

O método *System Generalized Method of Moments Estimator* foi escolhido por ser mais robusto para tratar os problemas de heterocedasticidade e autocorrelação serial. Ademais, esta técnica fornece menor viés para amostras pequenas (ARELLANO; BOND, 1991). Além disso, uma amostra alternativa contendo os índices multidimensionais de complexidade econômica,

---

<sup>16</sup> A regressão espúria é o resultado “falso positivo” que você observa ao regredir duas variáveis não estacionárias em níveis.

elaborados por (STOJKOSKI; KOCH; HIDALGO, 2023), também é utilizada como teste de robustez.

O teste de Hausman foi aplicado para definir modelos de EF ou Efeitos Aleatórios (EA). A hipótese nula do teste assume que ambos os estimadores são consistentes e eficientes, enquanto a hipótese alternativa sugere que pelo menos um dos estimadores não é eficiente. A hipótese nula foi rejeitada com significância de 1%, indicando que o modelo FE é preferível em relação ao modelo RE.

Neste estudo, o estimador *System GMM* é apresentado como resultado principal porque ele é mais eficiente e robusto em relação à autocorrelação e à heterocedasticidade e fornece o menor viés em amostras pequenas. Outra vantagem do método em relação aos outros utilizados é que ele utiliza a classificação de Durbin para gerar instrumentos o que possibilita testar a validade dos instrumentos usando o teste J de Hansen de sobreidentificação (HANSEN, 1982).

O *System GMM* foi utilizado em duas etapas com erro padrão corrigido de (WINDMEIJER, 2005). O desvio ortogonal direto é usado no lugar da primeira diferença. Essa abordagem subtrai a média de todas as observações futuras disponíveis de uma variável em vez de subtrair o valor passado das observações de uma variável. Com os painéis utilizados neste capítulo são desbalanceados, a primeira diferença poderia aumentar as lacunas nos dados, pois utiliza apenas variáveis de defasagem como observações, o que produziria resultados tendenciosos, especialmente em amostras pequenas (ROODMAN, 2006, 2009).

### 3.3.3 - Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos por meio do modelo *System GMM* para todos os países da amostra. Posteriormente, foram reportados os resultados do modelo *System GMM* para países de renda média e renda alta, separadamente. Esta estimação por grupos de renda foi realizada, pois o teste de Chow demonstrou significância estatística entre os grupos analisados.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos no teste Dickey-Fuller Aumentado do tipo Fisher, para cada variável no nível e em Primeira diferença. Os testes em primeira diferença rejeitaram a hipótese nula, portanto, há indícios de estacionariedade no painel.

Tabela 4 - Teste de Raiz Unitária

Variáveis	Teste Dickey-Fuller Aumentado	
	Nível	Primeira Diferença
<i>lnNDGAIN</i>	3,76	-18,10 ***
<i>lnICE</i>	-0,87	-28,84 ***
<i>lnsesemp</i>	-3,12 **	-15,72 ***
<i>lnfin</i>	-1,99*	-25,74 ***
<i>lnmanuf_x</i>	-2,94**	-25,94 ***
<i>lnfem_hiv</i>	-2,55**	-4,70 ***
<i>lndens_pop</i>	7,73	-6,69 ***

Nível de significância \*\*\* p <0,01, \*\* p <0,05 e \* p <0,1.

Fonte: Elaboração própria.

O teste de Breusch-Pagan rejeitou a hipótese nula a 1%, o que indica a heterocedasticidade no modelo. Para verificar se existe multicolinearidade entre as variáveis, o teste Fator de Inflação de Variância (*Variance Inflation Factor – VIF*) foi utilizado (STINE, 1995). Como resultado o fator de inflação de variância para as variáveis foi inferior a 10, com média 1,54, indicando a ausência de multicolinearidade.

O teste de Chow rejeitou a hipótese nula, indicando a diferença entre os coeficientes em toda amostra. Ou seja, com a estatística F calculada de 539.38, o valor crítico de F igual a 2,80 para o modelo analisado apontou para uma quebra estrutural com 99% de confiança. De forma a confirmar a diferença estatística entre os grupos renda alta e renda média, os indicadores de prontidão para adaptação e vulnerabilidade, que compõem o ND-GAIN, também foram testados, como mostra a Tabela 5. Assim, com 99% de confiança, foram encontrados valores críticos de F também para os dois modelos, de modo que a hipótese nula de estabilidade estrutural dos parâmetros foi rejeitada tanto para o indicador prontidão para adaptação, quanto para a vulnerabilidade.

Tabela 5 - Resultado do Teste de Chow

	F <sub>calculado</sub>	Conclusão
ND-GAIN	539.38	Renda Média ≠ Renda Alta
Prontidão para Adaptação	1089.34	Renda Média ≠ Renda Alta
Vulnerabilidade	388.31	Renda Média ≠ Renda Alta

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 6 apresenta os resultados da amostra composta por 118 países, no período de 1995 a 2020. Todas as variáveis explicativas foram consideradas endógenas. Para todos os modelos, o teste Hansen J indica que os instrumentos são válidos ao nível de significância de 5%. O teste AR de Arellano e Bond (1991) indica que não há autocorrelação nas defasagens

usadas como instrumentos com 5% de significância. Como as variáveis estão em logaritmos, a interpretação dos resultados se refere à elasticidade da variável dependente em relação as variáveis independentes.

Como forma de verificar a robustez da variável ICE para controles distintos, as demais variáveis foram adicionadas gradualmente nos modelos apresentados nas colunas 1 a 6. O principal resultado deste modelo está na coluna 6. Isto porque, o modelo demonstra o impacto positivo e estatisticamente significativo ao nível de 5% da complexidade econômica sobre a resiliência climática. Isso significa que, o aumento de 1% no Índice de Complexidade Econômica (ICE) está associado a um aumento aproximadamente de 0,44% na resiliência climática representada pelo *NDGAIN*.

Em outros termos, o exercício confirma a sofisticação da estrutura produtiva contribuiu para o aumento da resiliência climática dos países analisados. Este é um resultado relevante, pois demonstra uma relação empírica entre os dois fenômenos analisados, relação essa que esta tese propõe também com base na literatura dos dois campos teóricos, que ainda não haviam sido analisados pela literatura especializada.

Esses resultados são consistentes com literatura emergente que relaciona indiretamente complexidade econômica e sustentabilidade ambiental, como discutido no capítulo anterior. Esses estudos mostraram que a complexidade econômica aumenta a capacidade dos países em lidar com os impactos adversos da degradação ambiental, que tem implicações diretas sobre as mudanças climáticas. Esses resultados corroboram com a literatura que aborda a sofisticação da estrutura produtiva como componente que melhora a performance ambiental dos países (ROMERO; GRAMKOW, 2021), promove a diversificação setorial e acúmulo tecnológico para adoção de produtos tecnológicos verdes (FANKHAUSER et al., 2013) e reduz a emissão de poluentes (SHAHZAD et al., 2021).

Contudo, este capítulo avança ao testar diretamente a relação complexidade econômica e resiliência climática, ao evidenciar que através de mecanismos que conferem maior sofisticação e diversidade produtiva um país se torna mais adaptável diante dos impactos das mudanças climáticas (HASSINK, 2010; PIKE; DAWLEY; TOMANEY, 2010; TYLER et al., 2017a).

Isso sugere que a complexidade econômica ao aumentar o conhecimento útil disponível e as habilidades do país (HIDALGO, 2023), além de reduzir a vulnerabilidade externa (OREIRO; MANARIN; GALA, 2020) e a desigualdade de renda (HARTMANN et al., 2017), pode ser um mecanismo para lidar com os impactos das mudanças climáticas. Além disso, a estrutura produtiva complexa está associada a maiores níveis de desenvolvimento humano

(FERRAZ et al., 2022) e promove melhores instituições no país (HARTMANN et al., 2017), o que cria melhores condições para que os países respondam às intempéries climáticas, adaptando-se, resistindo e se recuperando dos efeitos climáticos extremos e das variações climáticas de longo prazo.

O modelo na coluna 6 mostra ainda que a porcentagem da população total de mulheres com mais de 15 anos vivendo com HIV é um fator importante na determinação da resiliência para o período analisado. A variável apresentou sinal negativo e significância estatística de 5%. De acordo com o coeficiente, o aumento de 1% nessa variável *fem\_hiv* implica na redução de 0,0038% na variável dependente. Isso confirma, portanto, que a redução da desigualdade de gênero tem efeitos positivos sobre a resiliência climática dos países (DJOUDI et al., 2016; SHAYEGH; DASGUPTA, 2024).

Tabela 6 - Resultados das estimações *System GMM* para 118 países (1995-2020)

	1	2	3	4	5	6
<i>Lag lnNDGAIN</i>	0.974*** (0.0124)	0.976*** (0.0116)	0.976*** (0.0117)	0.975*** (0.0114)	0.970*** (0.0128)	0.971*** (0.0124)
<i>lnECI</i>	0.466** (0.213)	0.427** (0.196)	0.430** (0.197)	0.469** (0.220)	0.444** (0.218)	0.437** (0.211)
<i>Indesemp</i>		0.000505 (0.000652)	0.000486 (0.000656)	0.000539 (0.000659)	0.000799 (0.000736)	0.000510 (0.000694)
<i>lnfin</i>			-0.000212 (0.000300)	-0.000239 (0.000296)	-0.000116 (0.000322)	-0.0000897 (0.000325)
<i>lnmanuf_x</i>				-0.000320 (0.000574)	-0.000495 (0.000638)	-0.000173 (0.000543)
<i>lnfem_hiv</i>					-0.00382** (0.00154)	-0.00386** (0.00148)
<i>Indens_pop</i>						-0.000660 (0.000493)
Constante	-2.042** (0.933)	-1.871** (0.861)	-1.887** (0.863)	-2.059** (0.969)	-1.913** (0.952)	-1.881** (0.922)
Nº Observações	2409	2409	2409	2409	2409	2409
Nº Grupos	118	118	118	118	118	118
Nº Instrumentos	111	112	113	114	115	116
AR2	0.121	0.121	0.120	0.122	0.124	0.123
Teste Hansen	0.308	0.329	0.293	0.293	0.320	0.316

Nível de significância \*\*\* p <0,01, \*\* p <0,05 e \* p <0,1. Teste T entre parênteses.

Fonte: Elaboração própria.

Tendo observado a relação entre as dimensões da produção e da resiliência climática para o conjunto da amostra de países, o exercício é repetido para amostras de países com distintos níveis de renda.

A Tabela 7 apresenta os resultados do método *System GMM*, nos quais a amostra de 118 países foi dividida em um grupo de 64 países renda média e um de 42 países de renda alta. As colunas 12 e 18 apresentam os resultados para o modelo proposto de renda média e alta,

respectivamente. Nota-se que a complexidade econômica apresentou coeficiente positivo e estatisticamente significativo para os dois grupos de renda.

A coluna 12 apresenta o modelo de interesse do grupo de renda média. Nota-se que o aumento de 1% no ICE está associado a um aumento de 1,55% na resiliência climática neste grupo de países. Ademais, a variável ICE representa maior participação na determinação da resiliência climática, dentre as demais variáveis inseridas no modelo para esse grupo. No grupo de países de renda alta, a coluna 18 mostrou que o aumento de 1% na complexidade econômica corresponde a um aumento de 0,96% na resiliência, com significância de 1%.

Os resultados observados para os dois grupos de países revelaram que a associação entre complexidade econômica e resiliência climática é mais profunda do que medir a associação entre complexidade e degradação ambiental, pois até mesmo em amostra por níveis de renda, observou-se os efeitos positivos do ICE sobre o ND-GAIN. Além disso, os resultados mostraram também que a complexidade econômica ter efeito 0,59% maior sobre a prontidão dos países de renda média para responderem aos impactos das mudanças climáticas. Com isso, esses resultados também contribuem para a literatura de *catching up* ao evidenciarem que, até mesmo em termos de resiliência, os países que operam na fronteira tecnológica têm menos oportunidades para serem mais resilientes, enquanto países com níveis mais baixos de conhecimento tecnológico tendem a obter taxas de crescimento da capacidade de adaptação frente às mudanças climáticas mais altas (ABRAMOVITZ, 1986; VERSPAGEN, 1991).

Visto que a resiliência climática é mensurada por um índice multidimensional em que, para um índice positivo, a soma dos indicadores de prontidão para adaptação deve ser maior que a soma dos indicadores de vulnerabilidade, o resultado sugere que a complexidade econômica está diretamente relacionada com os indicadores de prontidão para adaptação. Portanto, existem efeitos positivos da estrutura produtiva sobre a prontidão econômica, prontidão de governança e prontidão social desses países. Isso corrobora com os resultados observados por Bem Saâd, Assoumou-Ella (2019), Hartmann et al. (2017) e Hidalgo (2023). Esses estudos vão além da complexidade econômica como métrica de sofisticação produtiva baseada no comércio, mas também a analisam como fator que tem implicações sobre questões institucionais e sociais.

A variável desemprego apresentou relação oposta com a resiliência climática nos dois grupos. Para os países de renda média, o coeficiente do desemprego foi positivo e significativo a 5%, representando o aumento de 0,006% da resiliência climática. Esse resultado indica que algum *outlier* impactou a variância dessa variável. O que fragiliza a análise dessa associação, mas não impacta a análise de interesse desse capítulo, pois não existem *outliers* nas variáveis

ND-GAIN e ICE. O grupo de renda alta apresentou sinal negativo e significativo a 10%. Nesse grupo, o aumento de uma unidade percentual no desemprego, implica em redução de 0,002% na resiliência. Essas diferenças podem ser atribuídas à estrutura econômica e à capacidade institucional dos países em lidar com desafios climáticos.

A variável desemprego foi inserida no modelo como controle para a relação resiliência climática e estabilidade macroeconômica, aqui o desemprego indicando a instabilidade. Em um cenário com fatores de produção subempregados, esses recursos podem ser aproveitados para auxiliar na reconstrução após um choque climático, limitando assim a perda de produção (HALLEGATTE; GHIL, 2008). A relação positiva entre essas variáveis condiz com os resultados de Bowen, Cochrane e Fank (2012), que argumentam que crescimento não reduz automaticamente a vulnerabilidade às alterações climáticas. Para os autores, os efeitos macroeconômicos das mudanças climáticas dependerão do ciclo econômico. Isso porque, economias com elevadas taxas de desemprego possuem alguma flexibilidade na produção, o que pode ser benéfico frente a um choque climático negativo. Já em economias de renda alta, a dependência de setores avançados e a interconexão entre eles podem fazer com que o desemprego tenha um impacto mais negativo na capacidade de resposta a choques climáticos (BOWEN; FANKHAUSER, 2011).

A variável densidade populacional apresentou relação negativa com a variável dependente, conforme esperado. Seu efeito na redução da resiliência é de 0,002%, à medida em que aumenta 1%. A densidade populacional elevada pode ter impactos adversos na resiliência climática de várias maneiras. Em primeiro lugar, áreas densamente povoadas tendem a exercer maior pressão sobre recursos naturais e infraestrutura urbana. Isso porque, a alta densidade populacional, aumenta a demanda por água, alimentos, energia e outros recursos essenciais, o que pode levar à escassez e a competição por esses recursos, exacerbando os problemas durante eventos climáticos extremos (KUMAR; DEKA; KUMARI, 2020). Além disso, a densidade populacional elevada pode aumentar a exposição a riscos climáticos devido à maior concentração de pessoas e ativos em áreas vulneráveis. Isso significa que mais pessoas estão em risco durante eventos climáticos extremos, e os impactos negativos podem ser mais pronunciados.

Tabela 7 - Resultados das estimações System GMM para 64 Países de Renda Média e 42 Países de Renda Alta (1995-2020)

	Países de Renda Média						Países de Renda Alta					
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	17	18
<i>Lag lnNDGAIN</i>	0,851*** (0,0564)	0,856*** (0,0539)	0,847*** (0,0568)	0,841*** (0,0576)	0,839*** (0,0575)	0,835*** (0,0588)	0,934*** (0,0208)	0,933*** (0,0215)	0,930*** (0,0225)	0,920*** (0,0225)	0,912*** (0,0246)	0,920*** (0,0225)
<i>lnECI</i>	1,540** (0,604)	1,420** (0,544)	1,488*** (0,557)	1,550** (0,626)	1,529** (0,612)	1,554** (0,611)	0,575** (0,265)	0,599** (0,265)	0,608** (0,268)	0,957*** (0,338)	0,991*** (0,342)	0,965*** (0,300)
<i>Indesemp</i>		0,00615** (0,00232)	0,00647** (0,00249)	0,00667** (0,00254)	0,00652** (0,00258)	0,00637** (0,00266)		-0,00167 (0,00101)	-0,00155 (0,000999)	-0,000541 (0,00130)	-0,000426 (0,00138)	-0,00214* (0,00112)
<i>lnfin</i>			-0,000719 (0,000956)	-0,000841 (0,00105)	-0,000899 (0,00107)	-0,00104 (0,00115)			0,000346 (0,000881)	0,0000284 (0,000933)	0,000402 (0,00110)	0,000777 (0,000919)
<i>lnmanuf_x</i>				-0,0000148 (0,00167)	-0,000128 (0,00183)	0,000219 (0,00163)				-0,00346 (0,00279)	-0,00355 (0,00294)	-0,00142 (0,00228)
<i>lnfem_hiv</i>					-0,00292 (0,00520)	-0,00347 (0,00506)					-0,00339 (0,00385)	-0,00457 (0,00341)
<i>Indens_pop</i>						-0,000963						-0,00249**
Constante	-6,516** (2,587)	-5,992** (2,323)	-6,271** (2,372)	-6,536** (2,688)	-6,419** (2,614)	-6,513** (2,606)	-2,377** (1,157)	-2,482** (1,152)	-2,513** (1,170)	-4,068*** (1,491)	-4,185*** (1,512)	-4,090*** (1,301)
Nº Observações	1263	1263	1263	1263	1263	1263	926	926	926	926	926	926
Nº Grupos	64	64	64	64	64	64	42	42	42	42	42	42
Nº Instrumentos	36	37	38	39	40	41	36	37	38	39	40	41
AR2	0,187	0,188	0,191	0,193	0,195	0,195	0,496	0,487	0,485	0,458	0,453	0,462
Teste Hansen	0,278	0,401	0,344	0,332	0,331	0,302	0,218	0,221	0,223	0,217	0,219	0,213

Nível de significância \*\*\* p < 0,01, \*\* p < 0,05 e \* p < 0,1. Teste T entre parênteses.

Fonte: Elaboração própria.

O próximo passo da investigação empírica consistiu em averiguar como a complexidade econômica interfere na vulnerabilidade dos países selecionados às mudanças climáticas, e como ela pode ser um fator que contribui para torná-los cada vez mais preparados para se adaptarem a elas. Para isso, o NDGAIN foi decomposto em seus dois elementos: vulnerabilidade e prontidão para adaptação.

A Tabela 8 apresenta os modelos estimados por *System GMM* para as amostras de grupos de renda (média e alta) e amostra global. As colunas 19, 20 e 21 apresentam os modelos estimados, com as mesmas variáveis explicativas dos modelos anteriores, porém, substituindo a variável dependente para Vulnerabilidade. Para os países de renda média o ICE apresentou relação negativa e significativa a 5% com a vulnerabilidade. Isso significa que o aumento em 1% na complexidade, implica uma redução de 0,55% na vulnerabilidade desses países. Isso sugere que países com estruturas produtivas mais complexas são menos suscetíveis a riscos econômicos e sociais. Ou seja, economias com estruturas produtivas mais avançadas a nível de tecnologia e conhecimento, refletem isso em melhores empregos e distribuição de renda (ACEMOGLU; AUTOR, 2011). Assim, essas economias tendem a ter melhores sistemas de bem-estar social, educação e saúde, o que fortalece a capacidade da população de enfrentar adversidades.

A variável desemprego tem relação negativa com a vulnerabilidade, reduzindo-a em 0,001% quando aumenta em 1%. Este resultado pode parecer contraintuitivo, mas pode refletir a capacidade dos mercados de trabalho em economias de renda média de se ajustar a choques econômicos de maneira que a vulnerabilidade geral do país seja reduzida (AGHION; HOWITT, 2009).

Por fim, para o grupo de renda média, o aumento da densidade populacional tende a tornar os países 0,001% mais vulneráveis. Isso pode ser explicado pelo fato de que alta densidade populacional pode levar a pressões adicionais sobre infraestrutura e recursos (BLOOM; CANNING; FINK, 2008) e populações residindo em áreas de risco (IPCC, 2022), o que leva ao aumentando da vulnerabilidade desses locais. Além disso, durante desastres climáticos, como enchentes ou ondas de calor, esses fatores podem resultar em respostas inadequadas e aumentar a vulnerabilidade da população exposta aos riscos (CUTTER, 2016).

No grupo de países de renda alta, nenhuma variável foi significativa para explicar a vulnerabilidade. Isso sugere que, a partir de um certo nível de renda/desenvolvimento, a estrutura produtiva já é desenvolvida o suficiente para não haver ganhos significativos com o aumento da complexidade econômica (HIDALGO; HAUSMANN, 2009).

Enquanto, na amostra global, o ICE foi significativo a 1% para explicar a variação de 0,58% na vulnerabilidade dos países, quando a complexidade econômica aumenta em 1%. O desemprego apresentou efeito negativo sobre a vulnerabilidade, impactando-a em 0,001% quando elevado em 1%. As variáveis, percentual da população total de mulheres com HIV e a densidade populacional, apresentaram efeitos positivos e significativos a 5% com a vulnerabilidade. Essas variáveis aumentam a vulnerabilidade em 0,002% e 0,001%, respectivamente, quando aumentam em 1%.

Finalmente, as colunas 22, 23 e 24 apresentam a relação da Prontidão para Adaptação com as variáveis selecionadas. O ICE foi significativo para os dois grupos de renda, e não foi para a amostra global. Nos 3 casos, a relação da complexidade econômica com a Prontidão para Adaptação é positiva, implicando em aumento de 2,04% para o grupo de renda média e 1,59% para os países de renda alta, com significância de 1% e 5%, respectivamente.

A variável desemprego foi significativa apenas para os países de renda alta, com efeito negativo de 0,004% sobre a variável dependente. O que implica que o desemprego se relaciona de forma negativa com a capacidade de adaptação dos países diante de alterações climáticas extremas (MAÎTRE; MONTT; SAGET, 2018).

O percentual de mulheres com HIV em relação a população total foi significativo para os países de renda alta (1%) e para a amostra global (5%), afetando em maior proporção a Prontidão para Adaptação dos países de renda alta em 0,011% e em 0,005% na amostra global.

Tabela 8 - Resultados das estimações System GMM para 64 Países de Renda Média, 42 Países de Renda Alta e 118 países na amostra global (1995-2020)

	Vulnerabilidade			Prontidão para Adaptação		
	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
	Renda Média	Renda Alta	Global	Renda Média	Renda Alta	Global
<i>Lag lnVUL</i>	0,950*** (0,0175)	0,992*** (0,00918)	0,960*** (0,0104)			
<i>Lag lnPRONT</i>				0,833*** (0,0664)	0,918*** (0,0252)	0,983*** (0,0143)
<i>lnECI</i>	-0,559** (0,251)	-0,0306 (0,154)	-0,583*** (0,195)	2,048* (1,113)	1,591** (0,638)	0,404 (0,344)
<i>Indesemp</i>	-0,00197* (0,00102)	-0,000413 (0,000752)	-0,00137* (0,000744)	0,00667 (0,00549)	-0,00498** (0,00205)	0,000551 (0,00126)
<i>lnfin</i>	0,000628 (0,000382)	0,0000763 (0,000325)	0,000123 (0,000236)	-0,00110 (0,00220)	0,00116 (0,00140)	-0,000275 (0,000792)
<i>lnmanuf_x</i>	0,00102 (0,00111)	-0,000187 (0,00124)	0,000729 (0,000628)	0,000674 (0,00332)	-0,00246 (0,00444)	0,000351 (0,00120)
<i>lnfem_hiv</i>	0,00197 (0,00162)	-0,000233 (0,00108)	0,00271** (0,00116)	-0,00971 (0,00957)	-0,0111* (0,00659)	-0,00542** (0,00271)
<i>Indens_pop</i>	0,00116** (0,000569)	0,000246 (0,000436)	0,00130** (0,000518)	-0,000589 (0,00380)	-0,00383 (0,00234)	-0,000530 (0,000812)
Constante	2,515** (1,135)	0,132 (0,703)	2,633*** (0,886)	-9,568* (5,159)	-7,317** (2,932)	-1,852 (1,587)
Nº Observações	1263	926	2409	1263	926	2409
Nº Grupos	64	42	118	64	42	118
Nº Instrumentos	49	41	116	49	41	116
AR2	0,659	0,159	0,933	0,255	0,616	0,126
Teste Hansen	0,0869	0,444	0,291	0,125	0,167	0,294

Nível de significância \*\*\* p < 0,01, \*\* p < 0,05 e \* p < 0,1. Teste T entre parênteses.

Fonte: Elaboração própria.

### 3.3.4 – Amostra alternativa

Com o objetivo de confirmar os resultados vistos até aqui, e como um teste de robustez, análise econométrica foi repedita com um índice de complexidade que não depende exclusivamente dos dados de comércio internacional dos países.

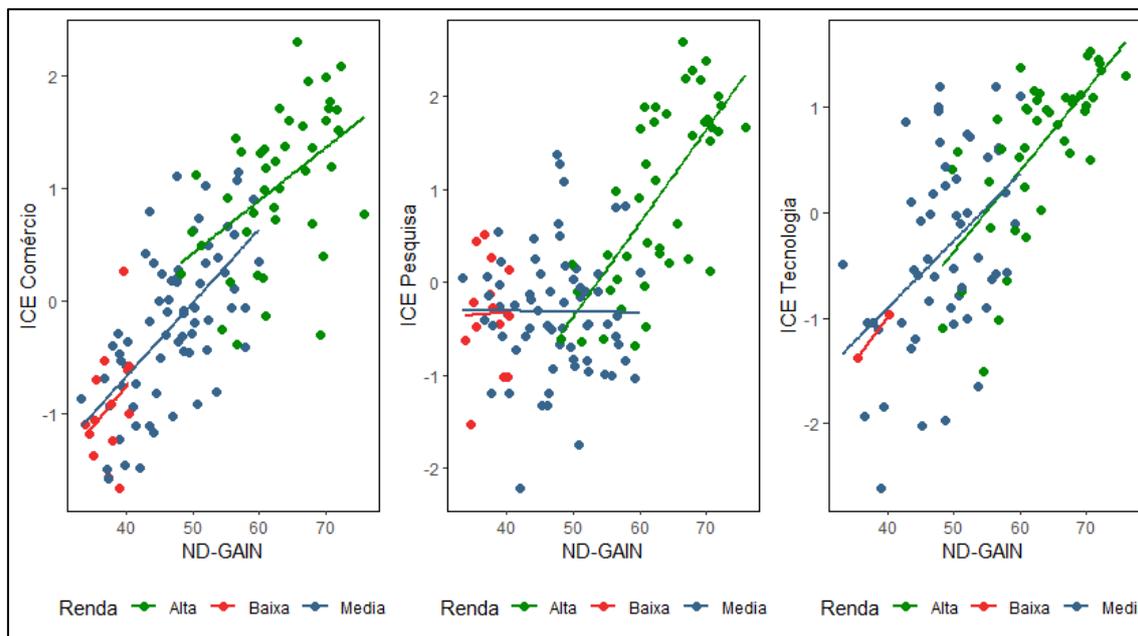
Assim, substitui-se os dados de ICE do *Atlas of Economic Complexity* pelos dados do ICE Multidimensional proposto por Stojkoski, Koch e Hidalgo (2023), disponíveis na plataforma *Observatory Economic Complexity*<sup>17</sup>. Os autores elaboram e combinam dados comerciais com dados sobre pedidos de patentes e publicações de pesquisa para construir modelos que melhoram a robustez das métricas de complexidade econômica para explicar as variações internacionais no crescimento verde inclusivo. Isso porque, métricas de complexidade econômica derivadas da geografia do comércio, perdem informações importantes sobre atividades inovadoras que não estão necessariamente associadas às exportações dos países.

A Figura 9 mostra a dispersão dos países da nova amostra de 100 países entre a variável NDGAIN e os três tipos de ICE, diferenciados pelo nível de renda. Na figura, é possível ver as diferenças (inclinações) nas relações entre os índices de complexidade e a resiliência, sendo a complexidade de pesquisa a que representa a maior desigualdade entre os níveis de renda baixa e média com os de renda alta. a lacuna entre complexidade econômica de pesquisa e a resiliência dos países de renda média e renda baixa em relação aos países de renda alta.

---

<sup>17</sup> Stojkoski, Koch e Hidalgo (2023) elaboram e combinam dados comerciais com dados sobre pedidos de patentes e publicações de pesquisa para construir modelos que melhoram a robustez das métricas de complexidade econômica para explicar as variações internacionais no crescimento verde inclusivo. Isso porque, métricas de complexidade econômica derivadas da geografia do comércio, perdem informações importantes sobre atividades inovadoras.

Figura 9 - Gráfico de dispersão entre ND-GAIN, ICE Comércio, ICE Pesquisa e ICE Tecnologia (2019)



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 10 apresenta os resultados do *System GMM* para a amostra alternativa global, países de renda média e países de renda alta, respectivamente. Nos resultados obtidos, verificou-se o efeito positivo dos três ICEs nos grupos analisados, com exceção para o ICE Pesquisa que foi negativo para o grupo de renda média. Porém, nenhum dos três foi significativo para explicar a resiliência dos países de renda média.

Na amostra global, os ICEs Comércio e Tecnologia foram estatisticamente significativos para explicar a resiliência climática, destacando a importância desses fatores na capacidade dos países de enfrentar mudanças climáticas. O resultado sugere que países com maior diversidade e sofisticação em suas exportações e tecnologias estão mais bem equipados para mitigar os impactos das mudanças climáticas (ESCAP, 2024).

Para países de renda alta, o ICE Pesquisa foi positivo e significativo a 1%. Isso sugere que, em economias mais desenvolvidas, a capacidade de pesquisa e desenvolvimento (P&D) desempenha um papel importante na resiliência climática. A significância estatística a 1% indica uma forte relação entre o aumento na capacidade de pesquisa e uma melhor adaptação e mitigação aos efeitos das mudanças climáticas. Em países de renda alta, a infraestrutura para pesquisa e desenvolvimento é tipicamente mais avançada, permitindo que inovações tecnológicas sejam rapidamente desenvolvidas e implementadas. Estes países possuem recursos financeiros, humanos e institucionais que facilitam a transformação de conhecimento científico

em tecnologias práticas que melhoram a resiliência climática (HALLEGATTE; RENTSCHLER; ROZENBERG, 2020).

A análise dos resultados destaca, portanto, os países de renda média. Embora esses países possam ter capacidades tecnológicas avançadas em certos setores, essas capacidades podem não estar alinhadas com as características práticas de resiliência climática. Países de renda média frequentemente enfrentam desafios institucionais que dificultam a implementação eficaz de inovações tecnológicas e avanços de pesquisa em medidas de resiliência prática (ACEMOGLU; ROBINSON, 2012). Estes desafios podem incluir burocracia excessiva, falta de coordenação entre agências governamentais e instituições de pesquisa, e políticas inconsistentes (HALLEGATTE; RENTSCHLER; ROZENBERG, 2020). Assim, a complexidade econômica, medida pelos ICEs comércio, tecnologia e pesquisa para países de renda média, pode não refletir a aplicabilidade direta dos avanços tecnológicos em aumentar a resiliência climática nesses países.

Tabela 9 - Complexidade Multidimensional e Resiliência, para amostra de 55 países de Renda Média, 42 países de Renda Alta e amostra global de 100 países

	Países de Renda Média			Países de Renda Alta			Amostra Global		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Lag lnNDGAIN</i>	0.831*** (0.0691)	0.842*** (0.0700)	0.855*** (0.0568)	0.926*** (0.0338)	0.920*** (0.0435)	0.901*** (0.0314)	0.650*** (0.0677)	0.781*** (0.0246)	0.830*** (0.0280)
<i>lnECI Comércio</i>	0.482 (1.203)			0.792 (0.721)			5.799*** (1.834)		
<i>lnECI Tecnologia</i>		0.0176 (0.534)			0.894 (0.726)			1.881*** (0.445)	
<i>lnECI Pesquisa</i>			-0.446 (0.479)			1.607*** (0.564)			0.876 (0.720)
<i>Indesemp</i>	0.00445 (0.00450)	0.00468 (0.00505)	0.00310 (0.00460)	-0.00131 (0.00135)	-0.00235 (0.00237)	-0.00110 (0.00131)	-0.00475 (0.00406)	-0.00145 (0.00256)	0.00139 (0.00230)
<i>lnfin</i>	-0.000988 (0.00177)	-0.000543 (0.00201)	-0.000127 (0.00141)	0.000755 (0.00104)	0.00148* (0.000849)	0.00112 (0.00174)	0.00339 (0.00216)	0.00524*** (0.00187)	0.00505*** (0.00185)
<i>lnmanuf_x</i>	0.00340 (0.00660)	0.00436 (0.00738)	0.00322 (0.00703)	-0.00369 (0.00633)	-0.000638 (0.00310)	0.00595 (0.00378)	-0.0307** (0.0121)	-0.00853 (0.00552)	0.000862 (0.00570)
<i>lnfem_hiv</i>	-0.0127* (0.00755)	-0.0125 (0.00789)	-0.0127* (0.00718)	-0.00362 (0.00318)	-0.00185 (0.00337)	-0.00320 (0.00389)	-0.0195** (0.00866)	-0.0228*** (0.00752)	-0.0227*** (0.00646)
<i>Indens_pop</i>	-0.00538* (0.00295)	-0.00545* (0.00304)	-0.00566* (0.00293)	-0.00240 (0.00147)	-0.00114 (0.000889)	-0.00115 (0.00147)	-0.0123*** (0.00407)	-0.00443** (0.00215)	-0.00428** (0.00214)
Constante	-1.515 (5.379)	0.577 (2.278)	2.670 (2.328)	-3.311 (3.201)	-3.771 (3.186)	-7.004*** (2.539)	-25.13*** (8.164)	-7.678*** (1.987)	-3.277 (3.240)
Nº Observações	688	688	688	719	719	719	1432	1432	1432
Nº Grupos	55	55	55	42	42	42	100	100	100
Nº Instrumentos	38	38	38	38	38	38	98	98	98
AR2	0.0908	0.0889	0.0776	0.808	0.936	0.998	0.0765	0.0641	0.0934
Teste Hansen	0.184	0.152	0.255	0.139	0.121	0.140	0.405	0.344	0.428

Nível de significância \*\*\* p < 0,01, \*\* p < 0,05 e \* p < 0,1. Teste T entre parênteses.

### 3.4 – Considerações Finais

Este capítulo testou empiricamente a discussão teórica proposta no Capítulo 2. A partir do índice ND-GAIN para países, foram estimados os efeitos da complexidade econômica sobre a resiliência climática. Em todas as amostras verificou-se a relação positiva entre as variáveis de interesse.

Os resultados obtidos nesses modelos evidenciam a discussão teórica proposta nessa tese, ao destacar a complexidade econômica como determinante da resiliência, neste caso, da resiliência climática. Com isso, é possível confirmar a hipótese levantada no Capítulo 2 sobre o papel da complexidade econômica na capacidade de países e regiões de serem resilientes, em resposta às perturbações constantes afetam o desenvolvimento sustentável, como é o caso das mudanças climáticas. Aqui, complexidade econômica mostrou ter relação positiva e significativa com a resiliência em países de renda alta e sobretudo em países de renda média, tornando-os mais aptos a se adaptarem diante dos impactos gerados pelas alterações extremas no clima.

A decomposição dos fatores do ND-GAIN confirmou também que a sofisticação e diversidade produtiva podem aumentar a prontidão para adaptação desses países, enquanto reduz suas vulnerabilidades, permitindo que esses países sejam resilientes e se desenvolvam de forma sustentável em um contexto de adversidades do clima. Assim, a relação positiva entre complexidade e capacidade de adaptação evidencia a importância de políticas que visem o desenvolvimento tecnológico e aumento da capacidade de retenção e combinação de conhecimento para que economias possam superar os efeitos das mudanças climáticas. Por outro lado, a relação entre vulnerabilidade e complexidade econômica foi negativa. O que confirma que investimentos em conhecimento e tecnologia pode ser um caminho para aumentar a expertise de países para reduzir a vulnerabilidade diante dos impactos das alterações de clima extremas.

Por fim, na amostra alternativa utilizada para testar a relação do ICE Tecnologia e ICE Pesquisa com a resiliência climática, apenas o ICE Pesquisa foi significativo para explicar a resiliência climática de países de renda alta. Isso sugere que esses países investem significativamente em pesquisa, o que contribui para um desempenho superior na adaptação e mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Isso porque, investimentos robustos em pesquisa possibilitam o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e estratégias mais eficazes para enfrentar desafios climáticos, aumentando a capacidade de resposta e recuperação diante de eventos climáticos adversos.

Frente ao exposto, este capítulo contribui de diversas formas para a literatura de complexidade econômica e resiliência climática. Em primeiro lugar, este capítulo avança na teoria, pois associa duas escolas de pensamento que ainda não foram confrontadas (HIDALGO, 2021; MOENCH, 2018). Segundo, há avanços metodológicos, pois o modelo econométrico insere uma variável inédita para os determinantes da resiliência climática (HAYES et al., 2019; KUHL, 2018; WEBB et al., 2017). Terceiro, este capítulo analisa os dados no mundo, mas aprofunda a análise por grupos de renda, o que contribui para as implicações políticas dos resultados econométricos (ARNDT et al., 2012) e para a literatura de *catching up*, ao evidenciar que a resiliência cresce de forma mais acelerada em países de renda média (ABRAMOVITZ, 1986; VERSPAGEN, 1991). Quarto, os resultados contribuem para subsidiar políticas públicas que visem promover o desenvolvimento econômico, com foco em setores tecnologicamente avançados e ambientalmente sustentáveis.

## **CAPÍTULO 4 – UMA ANÁLISE REGIONAL DA RELAÇÃO RESILIÊNCIA ECONÔMICA, COMPLEXIDADE ECONÔMICA E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL: O CASO DO BRASIL**

### **Introdução**

O Capítulo 3 evidenciou que a complexidade econômica tem efeito positivo sobre a capacidade de países de se adaptarem para enfrentar os efeitos negativos das mudanças climáticas. Além disso, mostrou que essa relação se diferencia quando o nível de renda dos países é considerado. As diferenças encontradas entre países, dadas as diferenças de renda, sugerem que deve existir também grande heterogeneidade de realidades dentro dos países. Além disso, mesmo utilizando índices diferentes de complexidade econômica para os países, esses índices ainda estão limitados pelo uso de dados de comércio para aferir indiretamente as características da produção.

Esse capítulo busca superar essas restrições ao realizar uma análise exploratória da relação entre complexidade econômica, resiliência e sustentabilidade a nível regional. Para isso, testa-se hipótese de que a complexidade econômica tem efeitos sobre a resiliência econômica e sobre a degradação ambiental, medida a partir das emissões de CO<sub>2</sub>, em uma amostra com 503 regiões imediatas do Brasil. Este capítulo se insere no debate sobre a relação entre políticas de conservação e resultados econômicos, no qual existem argumentos que defendem que a preservação de recursos naturais só pode ser alcançada à custa do crescimento econômico, enquanto outros defendem que a sociedade deve perseguir ambos os objetivos simultaneamente (BARBIER, 2010; BOWEN; HEPBURN, 2014; GUO et al., 2018). Assim, em um contexto de choques econômicos, este capítulo contribui para o segundo argumento ao dar o primeiro passo para evidenciar que políticas focadas na tríade sofisticação da estrutura produtiva, redução das emissões de gases de efeito estufa e resiliência podem ser o caminho para desenvolvimento sustentável.

Investigar a relação implícita entre resiliência econômica a crises e choques e seus impactos ambientais, aqui captado pelas emissões de gases de efeito estufa, é um desafio complexo e multifacetado. Entretanto, de forma a explorar os possíveis mecanismos com os quais essa relação se constrói, parte-se do argumento de que existem aspectos de inovação tecnológica e políticas ambientais no processo (JACOBSSON; BERGEK, 2011). Isso porque, economias resilientes geralmente possuem maior capacidade de inovação e adaptação tecnológica, o que pode ser direcionado para desenvolver e implementar tecnologias que reduzam, por exemplo, as emissões de CO<sub>2</sub> por meio do uso de energias renováveis, eficiência

energética e práticas sustentáveis. Além disso, economias resilientes tendem a ser mais diversificadas. Nesse sentido, a diversificação setorial pode ser um caminho para reduzir a dependência de indústrias intensivas em carbono. Assim, o processo de transição para uma economia mais diversificada e menos dependente de carbono é essencial para a torná-la resiliente e sustentável a longo prazo (MARTIN; SUNLEY, 2020).

A partir disso, a hipótese a ser verificada é de que a sofisticação produtiva pode ser um caminho para tornar uma economia mais resiliente ao mesmo tempo em que pode contribuir para torná-la mais sustentável. Para isso, um modelo de regressões espaciais aparentemente não relacionadas (*Spatial Seemingly Unrelated Regressions - Spatial SUR*) é utilizado para capturar a relação complexidade econômica e resiliência, complexidade econômica e emissões de CO<sub>2</sub>, e ao mesmo tempo testar a relação implícita entre resiliência econômica e meio ambiente em diferentes fases dos ciclos econômicos.

Esse capítulo é um primeiro esforço para testar a abordagem teórica proposta no Capítulo 2 com dados do Brasil, visto que existe escassez de dados, as heterogeneidades estruturais e espaciais limitam os estudos sobre o tema para o país, o que abre espaço para novas abordagens empíricas para testar as relações entre resiliência e complexidade econômica em diferentes regiões brasileiras.

#### **4.1 – Indicadores Econômico e Ambiental do Brasil**

##### **4.1.1 – Emprego**

O Brasil é um país que apresenta heterogeneidades espaciais e estruturais. Juntas, essas características remetem aos desdobramentos e à persistência das profundas desigualdades econômicas e sociais que se observam nos países de renda média. As heterogeneidades espaciais manifestam-se na concentração de atividades econômicas e produtivas em determinadas regiões, enquanto outras permanecem menos desenvolvidas.

Um exemplo dessas disparidades é a concentração da maior parte da atividade industrial e de serviços avançados no Sudeste do Brasil, o que reflete uma maior produtividade e renda per capita em comparação com o Norte e Nordeste do país (DE FREITAS; DWECK, 2013). Por outro lado, a reorganização espacial da indústria de transformação brasileira após 2008, levou a uma certa dispersão do emprego formal para outras regiões, como o Centro-Oeste e o Nordeste, impulsionada por políticas de descentralização industrial e melhorias na infraestrutura de transporte e logística. Ainda assim, essa dispersão não tem sido suficiente para equalizar as disparidades regionais, mantendo-se a concentração de indústrias mais avançadas

e de maior valor agregado nas regiões tradicionalmente mais desenvolvidas (MENDES; HERMETO; BRITTO, 2019).

Estruturalmente, a economia brasileira é caracterizada por uma coexistência de setores modernos e tradicionais. Enquanto há setores avançados e competitivos globalmente, como a agricultura de precisão e algumas indústrias de alta tecnologia, grande parte da força de trabalho ainda está empregada em setores de baixa produtividade, como o comércio informal, serviços e a agricultura de subsistência. Essas transformações na estrutura produtiva global têm contribuído para a desindustrialização no Brasil, enfraquecendo a capacidade de desenvolvimento industrial do país e agravando as disparidades sociais e econômicas (HIRATUKA; SARTI, 2017).

No que diz respeito aos impactos sociais das heterogeneidades espaciais e estruturais no Brasil, observa-se um mercado de trabalho altamente desigual, com disparidades significativas em termos de oportunidades de emprego e condições de trabalho entre diferentes regiões e setores. Essas desigualdades não apenas limitam o desenvolvimento econômico inclusivo, mas também perpetuam as divisões sociais e regionais no país (DINIZ, 1993).

Além disso, as heterogeneidades estruturais dentro da economia brasileira também têm efeitos profundos sobre o emprego. A coexistência de setores modernos e tradicionais cria um mercado de trabalho dual, onde uma parte da força de trabalho está empregada em setores de alta produtividade e outra parte em setores de baixa produtividade. Esse dualismo estrutural é um obstáculo para o crescimento inclusivo, pois os trabalhadores nos setores menos produtivos têm menos acesso a treinamento, benefícios e segurança no emprego (HIRATUKA; SARTI, 2017).

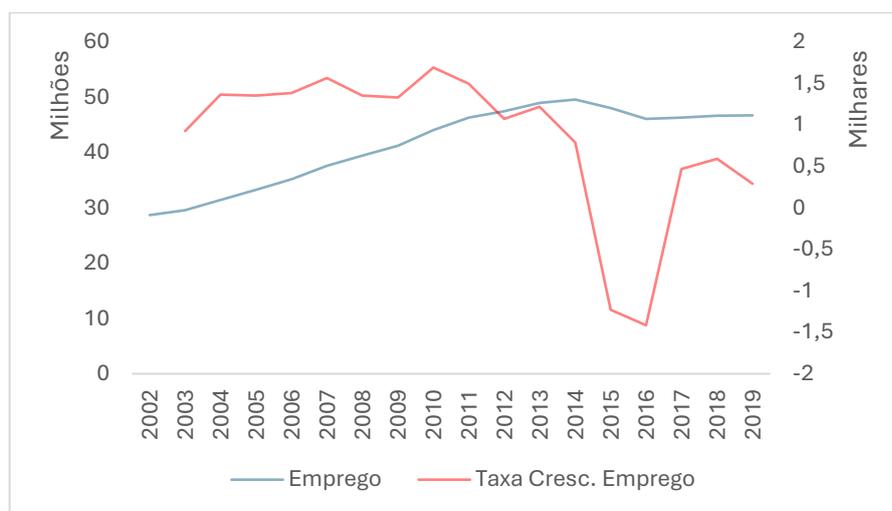
Somado a isso, a concentração de atividades econômicas e produtivas em determinadas regiões cria um mercado de trabalho mais dinâmico e diversificado nessas áreas. Essas regiões oferecem uma ampla gama de empregos, principalmente nos setores industrial e de serviços avançados. Isso atrai trabalhadores qualificados e migrantes de outras regiões em busca de melhores oportunidades, o que, por sua vez, pode levar ao crescimento urbano descontrolado e a desafios sociais, como a falta de infraestrutura e moradia. Em contraste, outras regiões enfrentam um mercado de trabalho mais restrito e menos diversificado. Nessas áreas, a economia é frequentemente dominada por setores de baixa produtividade, como a agricultura de subsistência e o comércio informal. Isso resulta em menores oportunidades de emprego formal e uma maior incidência de trabalho precário e subemprego. A falta de empregos formais de qualidade nessas regiões perpetua a pobreza e limita o desenvolvimento econômico local (BRANDÃO, 2019)

Frente ao exposto, dados sobre emprego possibilitam a identificação de desigualdades regionais, como variações nas taxas de emprego, salários médios e condições de trabalho. Essas informações ajudam a compreender quais regiões estão economicamente avançadas e quais estão em desvantagem. Além disso, mudanças na composição do emprego por setor ou região podem sinalizar transformações econômicas mais amplas, como a transição de uma economia baseada na agricultura para uma economia industrial ou de serviços (RODRÍGUEZ-POSE, 2013).

A Figura 10 mostra a relação entre emprego e a taxa de crescimento do emprego no Brasil, entre 2002 e 2019, período que foi marcado por crescimento econômico e crises. No período entre 2002 e 2014, o país experimentou um crescimento econômico robusto impulsionado pelo *boom* das *commodities* e políticas econômicas expansionistas, que resultaram em um aumento significativo na criação de empregos formais. Este período de prosperidade econômica promoveu maior inclusão social e melhorou as condições de vida para muitos brasileiros (MARTINS, 2017). A evolução do total de vínculos empregatícios teve trajetória ascendente de contratações formais de emprego é observada desde o início da série de dados do Brasil até o ano de 2013. A partir de 2014, e até 2019, o país apresentou total de vínculos empregatícios ativos menores do que os observados em relação a 2013, o que indica a estagnação da criação de novos postos de trabalho.

Ainda na Figura 10, apesar da taxa de crescimento do emprego apresentar tendência de estabilidade entre 2002 e 2009. Em 2010, em resposta às políticas expansionistas pós Crise Financeira de 2008, houve aumento da empregabilidade no país. A partir de 2013, a taxa de crescimento do emprego iniciou trajetória de queda acentuada como resposta à recessão econômica, exacerbada por fatores políticos e a queda nos preços das *commodities*. Em 2017, há aumento das contratações de mão de obra formal, mas a patamares inferiores aos observados na década anterior, e com o total de empregos formais com tendência de estagnação. Apesar de alguns esforços em políticas públicas para estimular o mercado de trabalho, como programas de incentivo ao emprego formal e investimentos em qualificação profissional, o crescimento do emprego permaneceu frágil, refletindo problemas estruturais persistentes, como a informalidade e a baixa qualificação da força de trabalho.

Figura 10 - Emprego e Taxa de Crescimento do Emprego no Brasil (2002-2019)

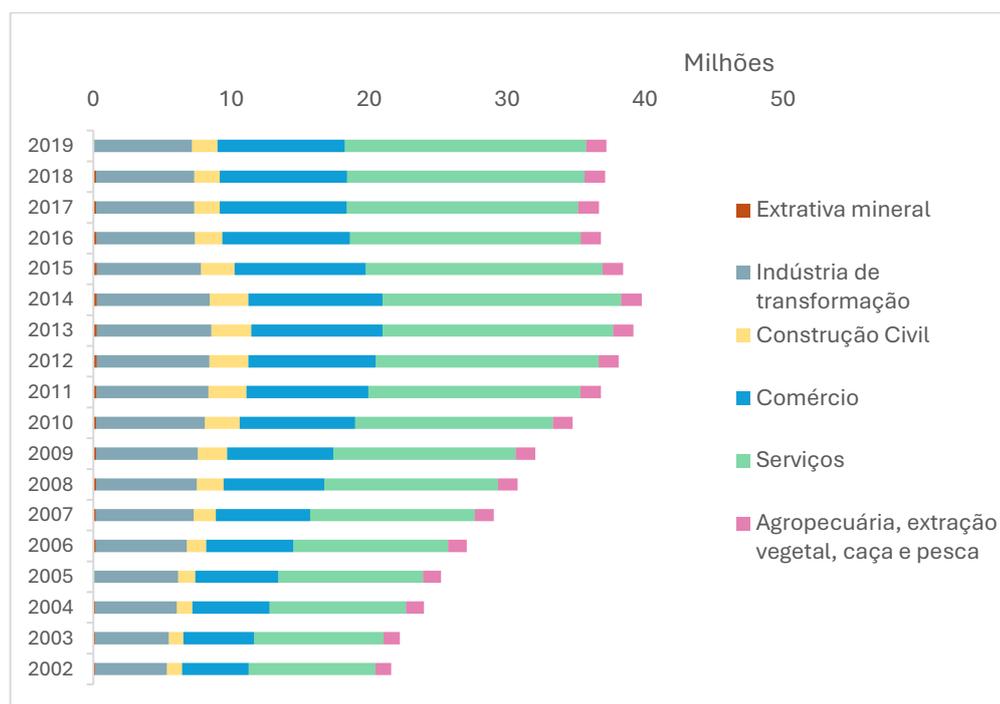


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da RAIS (2023).

Em relação aos setores, na Figura 11 nota-se que o setor que mais empregou trabalhadores entre 2002 e 2019 foi o setor de serviços, seguido pelo comércio. Ambos mantiveram a empregabilidade praticamente estável durante a recessão nacional. Por outro lado, a indústria extrativa mineral foi a que menos contratou trabalhadores formais. Entretanto, este é um setor com fortes relações produtivas com setores terceirizados, como construção civil e serviços, o que eleva o total de trabalhadores indiretamente impactados por essa indústria (DA SILVA et al., 2021).

O setor de agropecuária é o segundo que menos emprega. Mesmo no período de *boom* de *commodities* agrícolas, a empregabilidade nesse setor manteve-se estável. Isso se deve, em parte, aos avanços tecnológicos e à mecanização, que aumentaram a produtividade sem necessariamente criar postos de trabalho. Além disso, muitos empregos na agropecuária são sazonais ou informais, o que não reflete plenamente nos dados de emprego formal (TIMMER, 2009). Como resultado, a estabilidade na empregabilidade do setor contrasta com o crescimento econômico observado, destacando a importância de políticas que incentivem a diversificação econômica e a criação de empregos em outras áreas (MCMILLAN; RODRIK; KENNEDY, 2011).

Figura 11 - Vínculos empregatícios no Brasil por grandes setores (2002-2019)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da RAIS (2023).

A disparidade na distribuição regional da complexidade econômica no Brasil, portanto, está associada à essas heterogeneidades enraizadas nas regiões devido a um histórico de investimentos desiguais em infraestrutura, educação e inovação, que favorecem algumas regiões em detrimento de outras (RESENDE, 2014). Isso significa que regiões com estrutura industrial mais complexa proporciona oportunidades de trabalho mais variadas e uma maior resiliência diante de choques econômicos. Além disso, os trabalhadores tendem a possuir níveis mais elevados de qualificação, são capazes de estabelecer redes mais eficientes e têm maior poder de negociação com as empresas (ZHU; YU; HE, 2020).

Bandeira Morais, Swart e Jordaan (2021) argumentam que em regiões com níveis relativamente elevados de urbanização e desenvolvimento global, as estruturas produtivas são mais diversificadas e sofisticadas tendem a apresentar menores níveis de desigualdade. Isso sugere que políticas que promovem a diversificação econômica e o desenvolvimento de capacidades tecnológicas podem ser eficazes na promoção de uma distribuição mais equitativa da renda.

Por fim, Aghion e Howitt (2009) enfatizam a importância da resiliência econômica, destacando que economias com altos níveis de empregabilidade e produtividade são mais capazes de resistir a choques adversos. Assim, políticas que promovam aumentos salariais em

linha com ganhos de produtividade, juntamente com investimentos em capital humano e inovação, podem contribuir para uma economia mais equitativa e resiliente (OECD, 2020).

#### 4.1.2 – Degradação Ambiental no Brasil

Países de renda baixa e média concentram a maior parte das populações mais pobres do mundo, o que os leva à necessidade constante de crescimento e desenvolvimento econômico. Com isso, esses países passaram a produzir a maior parte das emissões de gases de efeito de estufa (ONU, 2019). A partir dessa necessidade, a transferência de complexos industriais de países desenvolvidos para países em desenvolvimento, resultou na redução dos custos de mão de obra e tornou o processo de regulamentação ambiental mais flexível para empresas com matrizes em países de renda alta, enquanto possibilitava o aquecimento do mercado de trabalho e do consumo de economias de renda média (BRANDI et al., 2020).

Entretanto, essa dinâmica resultou também na mudança das indústrias intensivas em carbono para países de renda média. Essa mudança levou a uma redução aparente das emissões nos países desenvolvidos. Porém, as emissões globais não diminuíram significativamente, uma vez que houve apenas o deslocamento geográfico das emissões de países desenvolvidos para países em desenvolvimento (BURGESS et al., 2023).

No caso do Brasil, o Observatório do Clima caracterizou a década de 2010 como um período perdido no que se refere à mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Segundo a instituição, a curva de emissões do Brasil permanece em sua essência igual à de antes da adoção da Política Nacional sobre Mudança Climática (Lei 12.187/2009). Além disso, destaca também que o país apresenta tendência a ser menos economicamente eficiente nas suas emissões (ALBUQUERQUE et al., 2020). Uma consequência disso foi que em 2021 as emissões do país contribuíram com 3% do total global, de acordo com o relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (POTENZA et al., 2021).

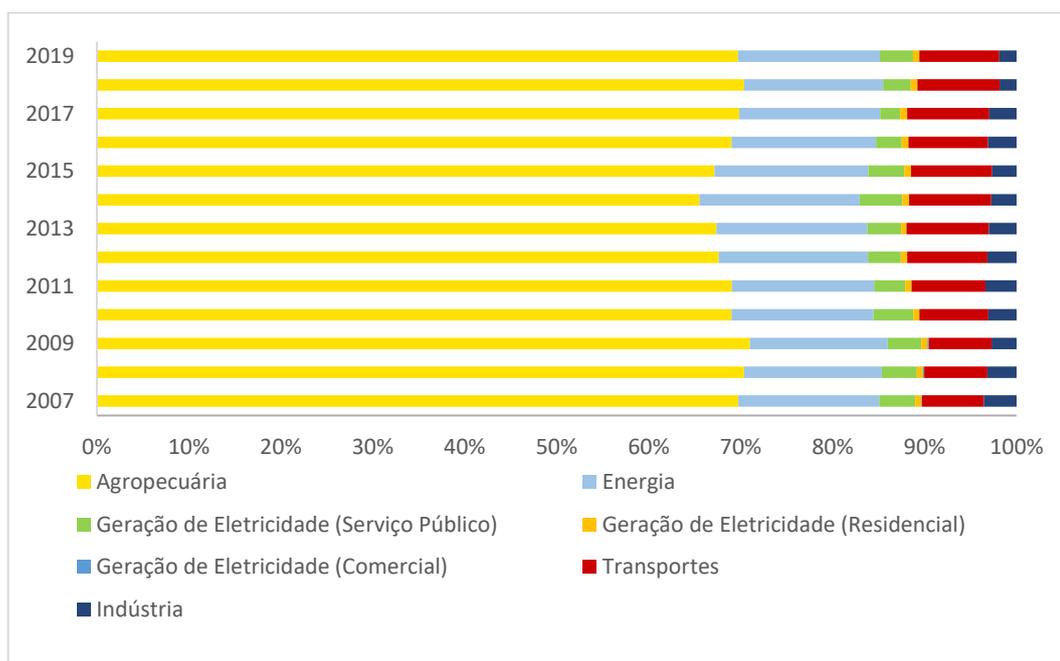
As mudanças no uso da terra no país foram responsáveis pela emissão de 1,18 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2021, o que consolida a atividade como a maior fonte de emissão bruta de gases do efeito estufa do país, representando 49% do total nacional (POTENZA et al., 2021). Isso significa que a relação entre mudanças no uso da terra e agropecuária nas emissões está intrinsecamente ligada às práticas agrícolas e ao manejo do solo, que estão associadas a processos como desmatamento, queimadas e uso de fertilizantes (TSAI, 2023).

A atuação do setor de agronegócio, portanto, expõe a ineficiência e a fragilidade da implementação e monitoramento de políticas de controle e, principalmente no que envolve a

expansão das áreas de pastagem que tem como consequência o aumento do desmatamento em biomas como Amazônia e Cerrado (POTENZA et al., 2021).

A Figura 12 evidencia isso, ao mostrar as participações das atividades econômicas no total de emissões do Brasil entre 2007 e 2019. As emissões da atividade agropecuária, quando somadas com as emissões por desmatamento e outras mudanças de uso da terra, correspondem a 70% de toda a poluição climática brasileira. A segunda atividade que mais polui é a que está relacionada ao setor de transportes, com média de 10% das emissões de carbono.

Figura 12 - Emissão de CO<sub>2</sub> por atividade econômica (2007-2019)



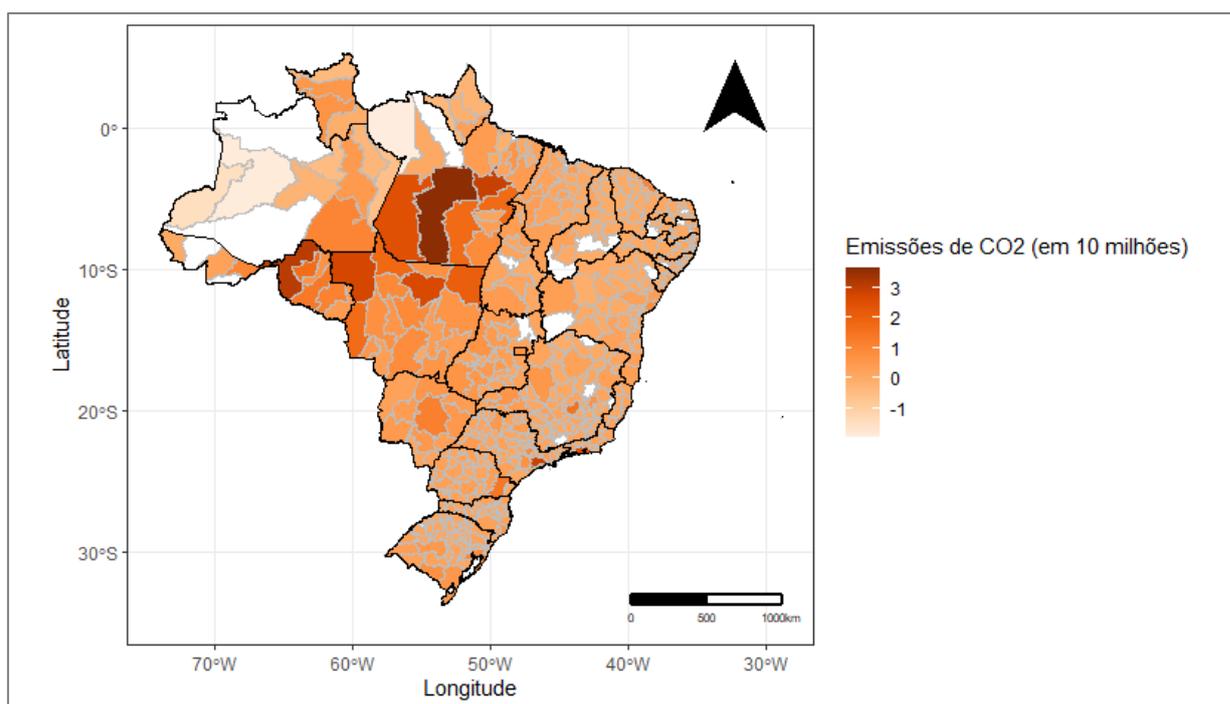
Fonte: Elaboração própria com bases nos dados do SEEG (2022).

As outras atividades relacionadas à urbanização, mineração e infraestruturas energéticas, como as barragens hidroelétricas, têm impactos diretos relativamente menores sobre o desmatamento e, conseqüentemente, sobre as emissões. Entretanto, estima-se que o desmatamento gerado por atividades relacionadas à mineração pode ser doze vezes maior do que o desmatamento direto ocorrido dentro de concessões de mineração (PENDRILL et al., 2022).

Em uma análise espacial da concentração das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil é apresentada na Figura 13. A figura sugere que a queima de biomassa resultante do desmatamento libera grandes quantidades de dióxido de carbono, contribuindo significativamente para o total nacional de emissões nas regiões Norte e Centro-Oeste. No Norte, o desmatamento da Amazônia para a expansão agrícola e pecuária é o principal responsável pelas emissões. No Centro-Oeste, a conversão de cerrado em áreas agrícolas e de pastagem também é a principal

fonte de emissões. A região é um importante polo de produção de grãos e carne bovina, atividades que não apenas liberam CO<sub>2</sub> diretamente, mas também contribuem indiretamente para emissões através do uso de fertilizantes e da energia consumida nos processos de produção e transporte. Esses fatores, combinados com a expansão da infraestrutura, como rodovias e barragens, exacerbam a situação, tornando essas regiões as maiores contribuintes para as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil (TSAI, 2023).

Figura 13 - Emissões de CO<sub>2</sub> por regiões imediatas (2019)



Fonte: SEEG (2023).

Por outro lado, o Sudeste, apesar de não concentrar grandes volumes de emissões na região, enfrenta desafios ambientais significativos, como poluição industrial e urbana, suas políticas de regulamentação ambiental tendem a ser mais rigorosas, refletindo uma maior capacidade institucional de lidar com questões ambientais (HERRERA; STRAUCH; BRUNO, 2021).

Em um contexto de crise econômica, as emissões de CO<sub>2</sub> podem refletir diferentes dinâmicas dependendo do contexto específico da crise. Durante crises econômicas, observa-se frequentemente uma redução temporária nas emissões de CO<sub>2</sub>, devido à queda na atividade industrial e no consumo de energia. Esse fenômeno ocorreu, por exemplo, durante a crise financeira global de 2008-2009, quando muitos países experimentaram uma diminuição significativa nas emissões de carbono em consequência da retração econômica e da redução na produção industrial (FRIEDLINGSTEIN et al., 2010).

No entanto, essa redução nas emissões costuma ser de curta duração. À medida que as economias se recuperam, as emissões de CO<sub>2</sub> tendem a retornar aos níveis anteriores à crise, ou até mesmo ultrapassá-los. Isso se deve, em parte, aos pacotes de estímulo econômico que muitas vezes incentivam o aumento da produção e do consumo de energia, sem necessariamente incorporar considerações de sustentabilidade (PETERS et al., 2013). A recuperação econômica pós-crise, portanto, pode resultar em um aumento significativo nas emissões de carbono, revertendo os ganhos temporários obtidos durante o período de recessão.

Em resumo, a relação entre emissões de CO<sub>2</sub> e crises econômicas é caracterizada por uma dinâmica de redução temporária de emissões durante a crise, seguida por um possível aumento pós-crise. No entanto, essas crises também podem ser vistas como oportunidades para promover uma recuperação econômica sustentável, desde que as políticas e investimentos adequados sejam implementados.

#### 4.1.3 – O choque econômico

A junção da crise política, iniciada em 2013, com a perda de popularidade da Presidente Dilma seguida de seu impeachment, somadas à crise econômica impulsionada por déficit fiscal, desvalorização da moeda nacional e altas taxas de desemprego. Com a democracia fragilizada por conflitos políticos e seguidos fracassos na elaboração de políticas econômicas centradas na recuperação econômica, o cenário econômico interno e externo do Brasil se tornou desfavorável a qualquer possibilidade de retomada do crescimento econômico, como o observado na primeira década dos anos 2000 (AMORIM NETO, 2016). Como consequência, os indicadores de desenvolvimento social entraram em um processo de estagnação ou retração, evidenciando os profundos impactos desses choques na capacidade de resposta do país em comparação a outros países em desenvolvimento.

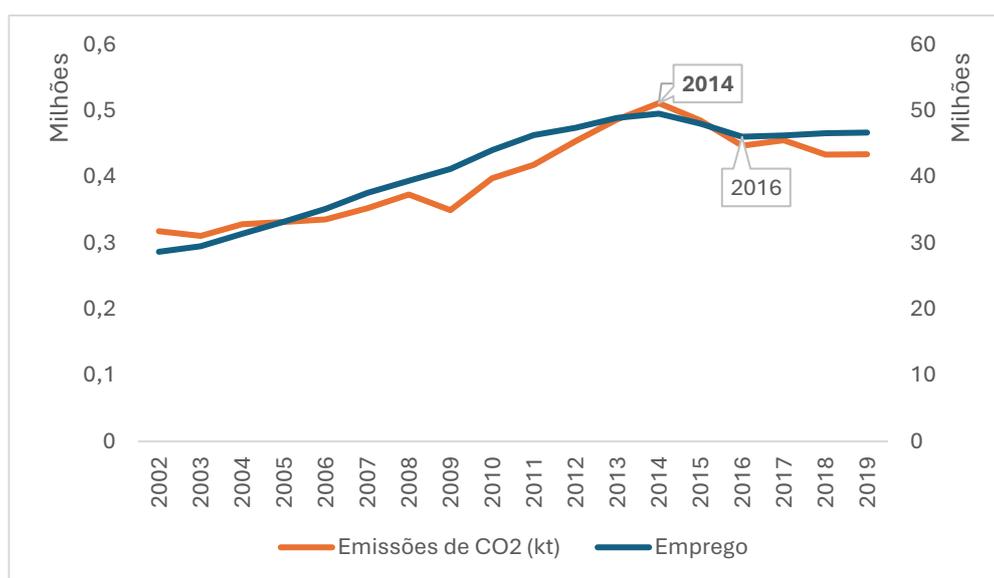
Adicionalmente, a desconfiança nas instituições políticas e econômicas contribuiu para um ambiente de incerteza, afastando investimentos estrangeiros e prejudicando ainda mais a economia nacional. A combinação desses fatores criou um ciclo vicioso de crise política e econômica, dificultando a implementação de reformas estruturais necessárias para a recuperação sustentável do país (JUCÁ; FISHLOW, 2021).

Durante esse período de conjunção das crises política e econômica no Brasil, a retração industrial e a diminuição do consumo de combustíveis fósseis foram fatores cruciais para essa redução das emissões de dióxido de carbono no país, refletindo a desaceleração da atividade econômica (ROCHEDO et al., 2018).

A crise econômica resultou em menor produção industrial, o que diretamente impactou a quantidade de energia consumida e, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub>. Setores como o transporte e a indústria, grandes consumidores de combustíveis fósseis, viram uma diminuição na demanda, contribuindo para a redução das emissões. Além disso, a recessão levou a uma queda no consumo de eletricidade, com a produção de energia elétrica por fontes renováveis se mantendo relativamente estável, favorecendo a redução das emissões associadas ao setor energético (OBSERVATÓRIO, 2018). No entanto, essa queda nas emissões não pode ser vista como um indicador positivo, uma vez que foi resultado de uma crise econômica severa e não de políticas ambientais eficazes. A redução das emissões foi um reflexo do declínio econômico e não de um esforço deliberado para mitigar as mudanças climáticas (ROCHEDO et al., 2018).

A Figura 14 evidencia os efeitos da desaceleração econômica sobre a evolução do emprego e das emissões de CO<sub>2</sub> a partir de 2014, quando as duas variáveis apresentaram trajetória descendente. Isso permite argumentar que o período entre 2014 e 2016, pode ser tratado como aquele em que a economia brasileira passou por recessão, o que permite traçar um corte temporal para a análise da resiliência econômica do país nesse período. Depois, a partir de 2017, nota-se que a trajetória do emprego no país inicia uma ligeira tendência de estabilização. Sendo assim, o período entre 2017 e 2019 será analisado como período em que a economia brasileira inicia sua recuperação econômica.

Figura 14 - Total de vínculos empregatícios e total de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil (2002-2019)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Banco Mundial e da RAIS (2023).

## 4.2 – Método e variáveis

### 4.2.1 – Índice de Resiliência Econômica Regional

Para estimar como as economias de regiões imediatas do Brasil reagiram diante do período de recessão brasileira entre 2014 e 2016 foi calculado o índice de resistência com base no índice proposto por Martin et al. (2016). Os autores construíram medidas de resistência e recuperação regional após choques recessivos, com o objetivo de mensurar como diferentes regiões são afetadas por uma recessão comum, ou seja, que atingiu todo um país. Baseado em um tipo de reação (resistência e recuperação) da economia nacional como um todo, espera-se que em economias consideradas iguais, as variáveis reais contraíam (recessão) ou expandam (recuperação) à mesma taxa que a economia nacional. Sendo assim, Martin et al. (2016) definem a mudança esperada no emprego em uma região  $r$  em uma recessão ou recuperação, em  $k$  períodos como:

$$(\Delta E_r^{t+k})^e = \sum_i g_N^{t+k} E_{ir}^t \quad (4.1)$$

onde  $\sum_i g_N^{t+k}$  é a taxa de contração (na recessão) ou expansão (na recuperação) do emprego nacional, e  $E_{ir}^t$  é o emprego na indústria  $i$  na região  $r$  no tempo inicial  $t$  (ano base), que é o ponto de viragem para a recessão ou a recuperação.

Para mensurar a resistência ou a recuperação de uma região o autor usa as seguintes equações, respectivamente:

$$Resis_r = \frac{(\Delta E_r^{Recessão}) - (\Delta E_r^{Recessão})^{esperada}}{|(\Delta E_r^{Recessão})^{esperada}|} \quad (4.2)$$

$$Recup_r = \frac{(\Delta E_r^{Recessão}) - (\Delta E_r^{Recessão})^{esperada}}{|(\Delta E_r^{Recessão})^{esperada}|} \quad (4.3)$$

A medidas da equação (4.2) e (4.3) são centradas em zero, por definição. Com isso, um valor positivo de  $Resis_r$ , por exemplo, indica que uma região é mais resistente à recessão, e por isso, seria menos afetada por uma crise em relação à economia nacional. Ou sendo o resultado negativo, a região é menos resistente, portanto, seria mais afetada pela recessão. De modo similar, uma região com um valor positivo para  $Recup_r$  possui uma recuperabilidade superior em comparação com a economia nacional. Em contrapartida, se apresentar um valor negativo, sua recuperabilidade é inferior.

Como discutido no Capítulo 1, medir a resiliência ainda é um desafio em todas as áreas da ciência. Entretanto, na Economia Regional, a métrica proposta por Martin et al. (2016) é a

mais testada e que permitiu uma melhor aproximação da resiliência econômica regional em diferentes abordagens (DA SILVA et al., 2021; TAN et al., 2020; TUPY et al., 2020).

#### 4.2.2 – Índice de Complexidade Econômica Regional (ICE-R)

No Brasil, iniciativas como o DataViva fornecem uma valiosa ferramenta para monitorar e entender a complexidade econômica das diferentes regiões do país. Essa plataforma criada originalmente pelo Governo do Estado de Minas Gerais e é atualmente mantida e desenvolvida pelo Cedeplar-UFMG. A plataforma disponibiliza dados detalhados sobre atividades econômicas, emprego, exportações e outras métricas relevantes.

O Índice de Complexidade Econômica Regional (ICE-R) disponibilizado na plataforma foi desenvolvido por Freitas (2019a), que realizou uma adaptação do ICE de incorporando a especialização produtiva na matriz binária utilizada no método, a partir dos dados de emprego e ocupações da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). O Quociente Locacional (QL) é a medida utilizada para construir a matriz e é considerada uma proxy para especialização industrial. A matriz  $M_{ms}$  é uma matriz binária de inteiros (ou seja, contendo valores 0 ou 1), que assume o valor 1 quando uma região é especializada em um setor  $s$ , ou seja, quando possui uma alta participação de emprego no setor  $s$  comparado com a proporção relativa das demais regiões, e 0 caso contrário.

Freitas (2019a) calcula a ubiquidade média dos setores que existem na região e a diversidade média das outras regiões que possuem esses setores. Em relação aos setores, é exigido o cálculo da diversidade média nas microrregiões e a ubiquidade média dos demais setores que existem nessas regiões. A formalização desses novos índices é verificada pelas equações (4.4) e (4.5)

$$k_{m,0} = \sum_s M_{ms} \quad (4.4)$$

$$k_{s,0} = \sum_m M_{ms} \quad (4.5)$$

Para construir o Índice de Complexidade Econômica Regional (ICE-R), Freitas (2019a) considera apenas as estruturas produtivas de regiões imediatas brasileiras que são produtoras significativas em determinados tipos de indústria, considerando as atividades econômicas para as quais as regiões possuem QL maior que 1 em um determinado período. Como resultado, os elementos da matriz de adjacência  $M_{ms}$  refletem se a microrregião  $m$  é especializada ou não na atividade econômica  $s$ .

O ICE-R é, em nível sub-nacionais, superior ao ICE tradicional por não depender de dados de comércio exterior. Nesse nível de análise, as exportações: i) não refletem as

características da produção local, tendo em vista que, para um grande número de localidades, o emprego ligado às atividades exportadoras corresponde apenas a uma pequena fração do emprego total; ii) podem ser registradas no porto de saída, em cidade vizinha ou por empresa de comércio registrada em outra localidade, introduzindo um viés regional substantivo na base de dados. Além disso, ao usar os dados da RAIS, o ICE-R capta também atividades não comercializáveis, notadamente aquelas ligadas ao setor de serviços, que respondem por uma parcela significativa do emprego.

#### 4.2.3 - *Spatial Seemingly Unrelated Regression Models* (SUR Espacial)

Os Modelos de Regressões Aparente Não-Relacionadas (*Seemingly Unrelated Regressions Models - SUR*) é um método econométrico multivariado amplamente adotado em diversas áreas, sendo útil especialmente quando há correlações entre os erros das diferentes equações envolvidas no modelo. Em 1988, Luc Anselin inseriu os efeitos espaciais no método, e amplia o método ao considerar tempo e espaço, criando assim o *Spatial SUR*.

Os modelos *SUR* Espacial são especificações econométricas multiequacionais que incorporam simultaneamente efeitos espaciais e termos de erro correlacionados entre equações. Essa abordagem permite lidar com a heterogeneidade, presumindo que os coeficientes de regressão permaneçam consistentes entre os indivíduos, enquanto os efeitos não observados são controlados. Em cada equação, diferentes mecanismos espaciais podem emergir, e é comum que a dimensão da amostra transversal ( $R$ , número de regiões) exceda a dimensão temporal ( $T$ , número de períodos) (MÍNGUEZ; LÓPEZ; MUR, 2022).

A consideração da heterogeneidade espacial é crucial, pois permite que o impacto de várias políticas econômicas seja avaliado de forma diferente se houver respostas diferenciais por localização em vez de respostas homogêneas independentes da localização ou escala espacial. Assim, para a estimação dos modelos *SUR* Espacial, adota-se frequentemente uma abordagem de máxima verossimilhança<sup>18</sup>, o que facilita a obtenção de testes simples e bem conhecidos, como os Multiplicadores de Lagrange (BALTAGI; BRESSON, 2011; LE GALLO; DALL'ERBA, 2006; LÓPEZ; MUR; ANGULO, 2014).

Os testes LM, portanto, são projetados para identificar se existe autocorrelação espacial nos resíduos do modelo, sugerindo que a estrutura espacial não foi adequadamente capturada. Essa abordagem é particularmente útil para identificar a presença de efeitos espaciais e testar hipóteses sobre a estrutura da dependência espacial e temporal nos dados (ANSELIN, 1988).

---

<sup>18</sup> Para saber sobre as diferentes especificações dos modelos *SUR* Espacial, veja o apêndice A.3.6.

A matriz de correlação dos resíduos entre equações em um modelo *SUR* Espacial é uma matriz quadrada que mede a correlação entre os resíduos das diferentes equações do modelo. Cada elemento desta matriz representa a correlação entre os resíduos de uma equação com os resíduos de outra equação. Essa matriz, portanto, permite a identificação da existência de interdependências entre os resíduos das diferentes equações, o que pode indicar que as equações compartilham fatores não observados para diagnosticar problemas de especificação do modelo (ANSELIN, 2013). Correlações altas podem indicar que há variáveis omitidas que afetam múltiplas equações ou que a estrutura de dependência espacial não foi modelada adequadamente.

No contexto de um modelo *SUR* Espacial, o teste de Breusch-Pagan examina a presença de heterocedasticidade nos resíduos das equações que compõem o sistema. A heterocedasticidade nos resíduos de tais modelos pode indicar que a variância dos erros varia sistematicamente com uma ou mais variáveis independentes, ou ao longo do espaço. Neste caso, a heterocedasticidade pode surgir devido à omissão de variáveis relevantes, especificação incorreta do modelo ou efeitos espaciais não capturados. A hipótese nula do teste é que a variância dos erros é constante (MÍNGUEZ; LÓPEZ; MUR, 2022).

Por fim, os efeitos multiplicadores espaciais<sup>19</sup> referem-se às repercussões que uma mudança de regressor em um determinado local tem sobre a variável explicada em outros locais. Em um ambiente espacial, existem efeitos de *feedback*<sup>20</sup>, o que significa que uma mudança em um regressor em um local específico desencadeia uma cadeia de reações que se espalha por todo o espaço conforme a matriz  $W$ . Portanto, o impacto de uma mudança marginal no regressor  $h$  na região  $n$  na variável explicada localizada na região  $s$  é o elemento  $(n, s)$  desta matriz (MÍNGUEZ; LÓPEZ; MUR, 2022).

O *SUR* Espacial, portanto, permite a identificação e modelagem da interdependência entre variáveis econômicas e ambientais, adotando uma perspectiva que considera que essas variáveis estão interconectadas através de relações implícitas e externalidades, ao invés de operarem de forma isolada. Nesse contexto, mesmo que as variáveis dependentes das equações não estejam explicitamente relacionadas, a presença de correlações nos erros residuais entre elas pode indicar a existência de fatores subjacentes comuns que influenciam essas variáveis

---

<sup>19</sup> Para mais informações, ver apêndice A.5.

<sup>20</sup> O efeito de *feedback* refere-se à interação mútua entre unidades espaciais que afeta os valores das variáveis de interesse. Em outras palavras, as mudanças em uma variável em uma localidade podem influenciar a mesma variável em localidades vizinhas, e essas mudanças nas localidades vizinhas, por sua vez, podem retroalimentar a localidade inicial. Esse efeito cria um ciclo de interações que pode amplificar ou atenuar os impactos econômicos ou sociais em uma região.

simultaneamente. Assim, a abordagem SUR Espacial reconhece que existem relações implícitas entre variáveis devido a externalidades espaciais, que são efeitos indiretos que uma unidade espacial pode exercer sobre outras, sem que esses efeitos sejam diretamente observáveis ou intencionais (LESAGE; PACE, 2009).

Com isso, argumenta-se que método de modelo *Spatial* SUR é um bom instrumento para a análise de dados espaciais, permitindo a consideração simultânea de dependências espaciais e correlações entre equações. Ao incorporar efeitos espaciais e termos de erro correlacionados, estes modelos proporcionam uma compreensão mais precisa das interações regionais e das respostas a políticas econômicas, sendo essenciais para a formulação de políticas públicas eficientes e para a análise de resiliência regional.

#### 4.4.2 – Variáveis de controle

Para calcular a resiliência econômica, a partir do índice anteriormente apresentado, foram utilizados dados de emprego da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Os Índices de Complexidade Econômica Regional (ICE-R) foram obtidos na plataforma DataViva. Os dados de emissões de CO<sub>2</sub> foram obtidos no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

A partir disso, a Tabela 10 apresenta as variáveis de interesse e as variáveis de controle utilizadas no modelo.

Para representar a estrutura produtiva das regiões imediatas do Brasil são utilizados dados do valor adicionado pelos setores de serviços, indústria e agropecuária. A utilização de dados setoriais para analisar a resiliência econômica regional é comum na literatura sobre o tema. Lagravinese (2015), por exemplo, verificou que os setores de construção civil e a indústria de transformação são mais vulneráveis às crises econômicas, como mostrou seu estudo para a Itália no período entre 1970 e 2011. Na mesma linha, Tan et al. (2020) exploram quantitativamente a resiliência econômica a partir da estrutura industrial de cidades baseadas em recursos (*Resource-Based Cities* - RBCs) na China, após a crise econômica global de 2008. Os autores decompõem a resiliência em um efeito de estrutura industrial e um efeito de agência, depois analisam os efeitos da estrutura industrial em termos de diversificação e especialização, utilizando um modelo de regressão em painel.

Tabela 10 - Variáveis do Modelo

Variáveis	Dados	Dimensões	Fontes
<i>Resis</i>	Emprego	Resiliência Econômica – Índice de Resistência. (Variável dependente)	RAIS
<i>Recup</i>	Emprego	Resiliência Econômica – Índice de Recuperação. (Variável dependente)	RAIS
<i>ICE-R</i>	Índice de Complexidade Econômica	Estrutura Produtiva (Variável independente de interesse)	DataViva
<i>CO2</i>	Emissões de CO <sub>2</sub>	Degradação ambiental	SEEG
<i>Ens_sup</i>			RAIS
<i>PIB_pc</i>	Renda per capita	Desigualdade econômica regional	Sidra IBGE
<i>VA Agro</i>	Valor adicionado pelo setor agropecuário		Sidra IBGE
<i>VA Ind</i>	Valor adicionado pelo setor indústria	Estrutura produtiva	Sidra IBGE
<i>VA Serv</i>	Valor adicionado pelo setor de serviços		Sidra IBGE
<i>D_Norte</i>	Norte		
<i>D_Nordeste</i>	Nordeste		
<i>D_Sul</i>	Sul	<i>Dummies</i> para grandes regiões	
<i>D_Sudeste</i>	Sudeste		
<i>D_Centro</i>	Centro Oeste		

Fonte: Elaboração própria.

Para estimar a resistência de cidades do nordeste da China durante a pandemia da COVID-19, Hu, Li e Dong (2022) utilizam dados de valor adicionado da indústria como controle. Como resultado, observam a relação negativa entre valor agregado da indústria e resistência para a amostra de cidades selecionadas. Para testar a relação entre valor adicionado e resiliência econômica, dados de valor adicionado dos setores de serviços, indústria e emprego são adicionados ao modelo, de modo a verificar a participação desses setores na capacidade das regiões imediatas de resistirem durante o período analisado.

Hu, Li e Dong (2022) também utilizam o PIB per capita como controle. O resultado encontrado pelos autores sugere que cidades com elevado nível econômico foram mais gravemente afetadas pela pandemia. Ou seja, quanto maior o nível econômico de uma cidade, maior é a concentração populacional, o que facilita a rápida propagação da epidemia. Essa relação sugere que a densidade populacional em áreas economicamente avançadas contribui para a vulnerabilidade durante crises sanitárias. Com isso, para verificar se a renda de uma região imediata está relacionada à capacidade da mesma de responder à recessão econômica brasileira, a variável PIB per capita foi adicionada ao modelo proposto nesse capítulo.

Trabalhadores com ensino superior desempenham um papel fundamental na resiliência econômica das regiões, contribuindo para sua capacidade de enfrentar e se recuperar de crises econômicas. A adaptabilidade desses trabalhadores a mudanças no mercado de trabalho é uma das principais vantagens. Profissionais qualificados têm maior capacidade de transição entre setores, especialmente em contextos de declínio econômico, movendo-se de indústrias em retração para aquelas em expansão, o que ajuda a estabilizar a economia local (CHAU et al., 2023). Além disso, a presença de trabalhadores com ensino superior impulsiona a inovação, que é essencial para a competitividade econômica. Eles estão mais propensos a se envolver em atividades de pesquisa e desenvolvimento, resultando em novas tecnologias e processos que aumentam a produtividade.

A inovação contínua, portanto, é vital para a resiliência econômica, pois permite que as regiões se adaptem rapidamente às mudanças globais e tecnológicas (ZHANG; TIAN, 2024). Com base nisso, dados sobre o total de trabalhadores com ensino superior foram adicionados ao modelo, com o objetivo de observar os efeitos da participação da mão de obra qualificada no processo de tornar regiões imediatas mais resilientes.

### **4.3 -Resultados**

#### 4.3.1 – Análise Exploratória

As Tabelas 11 e 12 mostram as estatísticas descritivas dos dados usados neste capítulo, considerando o período de resistência (2014-2016) e recuperação (2017-2019).

Tabela 11 - Estatística Descritiva (2014-2016)

	Observações	Média	Desvio Padrão	Mediana	Min,	Max,
Resis	1509	-0,03	1,87	0,50	-15,41	9,93
ICE	1509	-0,03	0,64	-0,09	-1,81	2,75
CO2	1509	2484505,97	4688931,90	1354470,78	-38017969,96	34294251,30
VA Agro	1509	362360,11	375267,16	247356,18	11235,29	3388631,72
VA Ind	1509	1564944,32	5567951,12	342124,99	8248,86	105837422,93
VA Serv	1509	1181085,66	4284112,80	466631,00	102883,36	58395975,44
PIB_pc	1509	14,84	9,05	13,43	3,63	82,05
Ens_sup	1509	18352,63	98695,47	3629,00	144,00	1908458,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12 - Estatística Descritiva (2017-2019)

	Observações	Média	Desvio Padrão	Mediana	Min.	Max.
Recup	1509	1,57	1,75	1,09	-22,01	20,28
ICE	1509	-0,03	0,64	-0,08	-1,77	2,88
CO2	1509	2228206,45	4777816,00	1211558,04	-37892332,77	36892446,50
VA Agro	1509	352557,37	387843,81	235058,49	10385,69	4226619,73
VA Ind	1509	1487966,73	5063691,16	338068,30	6130,81	82680169,49
VA Serv	1509	1204038,09	4299048,24	488348,58	108451,41	60243184,67
PIB_pc	1509	14,90	8,68	13,55	3,66	66,34
Ens_sup	1509	19676,55	101517,21	4320,00	378,00	2013536,00

Fonte: Elaboração própria.

Todas as variáveis foram normalizadas, ou seja, foram ajustadas para a mesma escala, com uma média de 0 e um desvio padrão de 1. Esse processo facilita a comparação direta dos coeficientes de regressão, permitindo identificar com mais clareza quais variáveis têm maior impacto relativo sobre a variável dependente. Além disso, a normalização pode ajudar a mitigar problemas de multicolinearidade, que ocorrem quando duas ou mais variáveis independentes estão altamente correlacionadas. A multicolinearidade pode distorcer os coeficientes estimados e dificultar a interpretação dos resultados (KUTNER et al., 2005).

O teste de multicolinearidade entre as variáveis (*Variance Inflation Factor* – VIF) apresentou fator de inflação de variância para as variáveis foi inferior a 10, com média 3,62, indicando alguma multicolinearidade entre as variáveis independentes. Mas, na análise em questão, esse valor pode ser considerado aceitável (STINE, 1995).

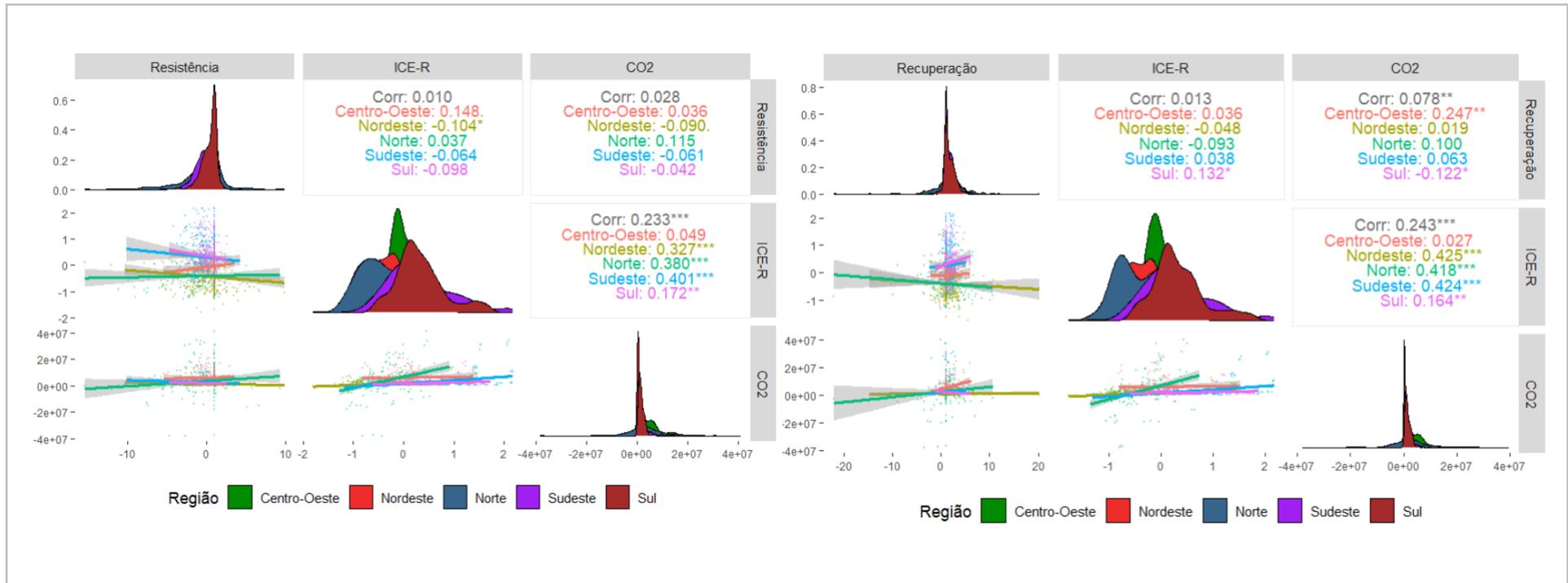
A Figura 15 mostra as matrizes de correlação entre todas as variáveis utilizadas nos modelos. Na figura verifica-se que os valores de resistência e recuperação, majoritariamente, estão centrados em zero. Isso indica que as regiões imediatas brasileiras apresentam um baixo nível de resiliência em resposta a choques econômicos e ambientais. Este comportamento

sugere uma capacidade limitada de adaptação e recuperação diante de adversidades, o que pode ser reflexo de fatores estruturais, econômicos e institucionais que variam entre as regiões.

No geral, a recuperação tem uma correlação positiva e significativa apenas com a variável emissões de CO<sub>2</sub>. Quando analisado por macrorregiões, verifica-se que a resistência tem correlação negativa e significativa com a complexidade econômica na região Nordeste. A variável recuperação, por outro lado, apresentou correlação positiva e significativa com a complexidade econômica na região Sul. A região Sul também apresentou correlação negativa e significativa entre as variáveis recuperação e emissões de CO<sub>2</sub> enquanto, para o Centro-Oeste, a correlação foi positiva e significativa.

A região Centro-Oeste tem experimentado um crescimento significativo na produtividade agrícola, impulsionado pela adoção de tecnologias avançadas e práticas sustentáveis. Além disso, políticas públicas focadas no desenvolvimento regional e na melhoria da educação e qualificação da força de trabalho também contribuem para essa correlação positiva (GASQUES et al., 2022). Assim, a resiliência econômica na região pode ter sido afetada positivamente por esses avanços durante o período da crise econômica brasileira. Entretanto, os resultados obtidos a seguir não permitem afirmar que o setor agropecuário contribuiu para a resiliência da região Centro-Oeste a longo prazo, visto que o setor é vulnerável a questões internacionais sobre as *commodities* agrícolas.

Figura 15 -Matrizes de correlação entre as variáveis dos modelos de resistência e recuperação



Fonte: Elaboração Própria.

Para avaliar a associação espacial da resiliência econômica regional, complexidade econômica regional e degradação ambiental nas regiões intermediárias do Brasil, esta seção parte para a Análise Exploratória de Dados Espaciais. Para isso, utiliza uma matriz de contiguidade do tipo rainha de ordem um com significância de 10%.

O índice I de Moran indica uma associação espacial positiva para os índices de resistência (0,030) e o de recuperação (0,072). Valores positivos também foram obtidos para as emissões de CO<sub>2</sub> no período entre 2014/2016 (0,288) e 2017/2019 (0,37). Todos foram significativos ao nível de 1%. Isso significa que regiões com alta resistência tendem a estar próximas de outras regiões igualmente resistentes, assim como as que mais emitem CO<sub>2</sub> tendem a estar próximas umas das outras.

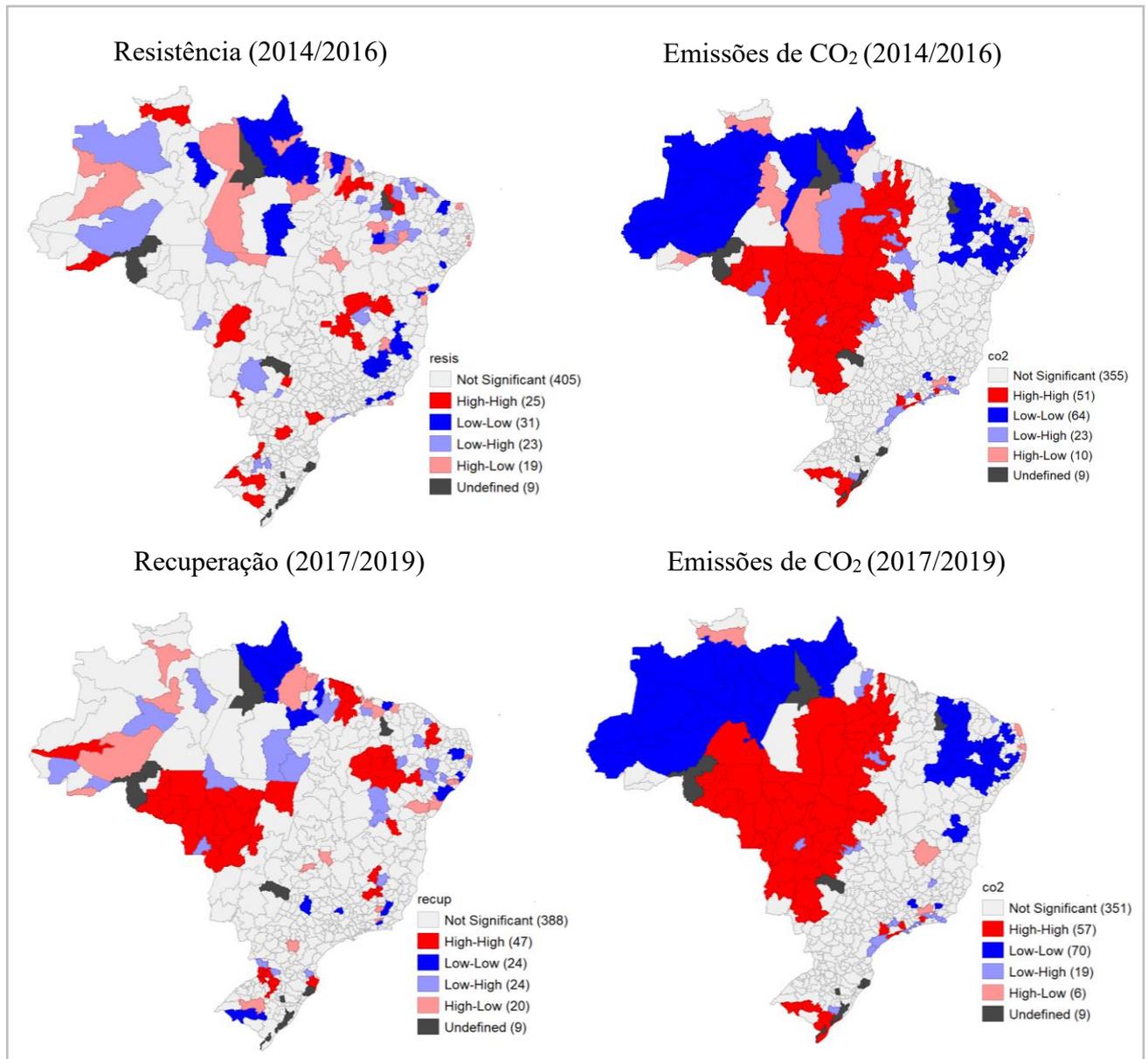
A Figura 18 ilustra os padrões locais de associação univariada para o índice de resistência, índice de recuperação e emissões de CO<sub>2</sub>. A figura mostra a formação de clusters alto-alto, baixo-baixo, alto-baixo e baixo-alto, conforme determinado pelo Indicador Local de Associação Espacial (*Local Indicator of Space Association - LISA*) (ANSELIN, 2013).

No período de resistência, a dispersão de pequenos clusters indica as diferenças econômicas entre as regiões brasileiras, o que indica que a deterioração nas condições econômicas e no mercado de trabalho de fato ocorrem de forma desigual no território nacional e, a partir disso, diferentes níveis de respostas crise foram observadas no período. A fase de recuperação, por outro lado, apresentou maior parte dos aglomerados nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Nesse último, o aglomerado alto-alto indica que as regiões imediatas com maior capacidade de recuperação têm vizinhas com capacidade semelhante em seu entorno. Esta configuração sugere uma clara divisão espacial no desenvolvimento econômico do Brasil, refletindo as disparidades regionais históricas. Por outro lado, os aglomerados alto-alto no Sudeste e Sul se concentram em áreas metropolitanas, sugerindo um ambiente mais propício à diversificação produtiva e ao desenvolvimento tecnológico, requisitos importantes para uma recuperação econômica.

Quanto às emissões de CO<sub>2</sub>, dois grandes aglomerados vigoraram entre no período de crise e de recuperação. Um baixo-baixo na região Norte e um alto-alto no Centro-Oeste. O aglomerado baixo-baixo na região Norte pode ser explicado pela menor intensidade industrial e menor densidade populacional, resultando em menores emissões de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o aglomerado alto-alto no Centro-Oeste reflete a expansão da fronteira agrícola e a intensificação das atividades agroindustriais, que são grandes contribuintes para as emissões de CO<sub>2</sub> devido ao desmatamento e uso de tecnologias agrícolas menos sustentáveis (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2015).

Com base nessas evidências preliminares, a próxima seção segue para testar os modelos de equações simultâneas de forma a capturar os efeitos da complexidade econômica sobre a resiliência e emissões de CO<sub>2</sub>, assim como, investigar se existe relação indireta sobre essas duas variáveis.

Figura 18 - Análise de Autocorrelação Espacial Local



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados dos testes LM detectaram uma forte estrutura espacial que foi omitida no modelo espacialmente independente: todos os testes LM, robustos e não robustos, rejeitam suas correspondentes hipóteses nulas a uma significância de 1%. Entretanto, os testes LM não deram preferência de especificação. Para saber qual é a melhor especificação, do ponto de vista espacial, foram estimados todos os possíveis modelos SUR Espaciais listados no apêndice A.3.6 com seus respectivos testes. A partir disso, as medidas estatísticas LogLik, AIC, BIC (critério de informação Bayesiano) foram calculadas para selecionar o modelo mais adequado. Diante disso, o modelo Lag Espacial foi selecionado.

A partir disso, o modelo SUR Espacial estimado através do estimador de máxima verossimilhança foi:

$$\begin{aligned} Resistência_i = & \rho_i W Resistência_i + \beta_1 ICE\_R_i + \beta_2 ICE\_R^2_i + \beta_3 Ens\_sup_i + \beta_4 PIB\_pc_i + \beta_5 VAAgro_i \\ & + \beta_6 VAIND_i + \beta_7 VASERV_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

ou

$$\begin{aligned} Recuperação_i = & \rho_i W Resistência_i + \beta_1 ICE\_R_i + \beta_2 ICE\_R^2_i + \beta_3 Ens\_sup_i + \beta_4 PIB\_pc_i + \beta_5 VAAgro_i \\ & + \beta_6 VAIND_i + \beta_7 VASERV_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CO_{2_i} = & \rho_i W CO_{2_i} + \beta_1 ICE\_R_i + \beta_2 ICE\_R^2_i + \beta_3 Ens\_sup_i + \beta_4 PIB\_pc_i + \beta_5 VAAgro_i + \beta_6 VAIND_i \\ & + \beta_7 VASERV_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

A matriz de correlação de resíduos interequações para o modelo SUR Espacial com as variáveis dependentes Resistência e CO<sub>2</sub> mostrou que os resíduos de ambas as equações têm correlação positiva de (0,072), o que significa que as equações compartilham fatores não observados. Isso sugere que não existe uma relação explícita entre resistência e emissões de CO<sub>2</sub>, entretanto, essa relação pode estar entre os resíduos das equações. Além disso, o teste de Breusch-Pagan (7,84) confirma a adequação da especificação SUR com significância de 5%.

O modelo SUR Espacial com as variáveis dependentes Recuperação e CO<sub>2</sub>, por sua vez, mostrou que os resíduos de ambas as equações têm correlação positiva de (0,050) e o teste de Breusch-Pagan (3,77) com significância de 5%, o que também confirma a adequação da especificação SUR o que significa que as equações compartilham fatores não observados.

#### 4.3.2 – Resultados das estimações

Os resultados obtidos a partir do modelo SUR de defasagem espacial são mostrados na Tabela 12. No que diz respeito à estrutura espacial da capacidade de resistência (2014/2016), recuperação (2017/2019) e emissões de CO<sub>2</sub> das regiões imediatas brasileiras, os coeficientes de defasagens espaciais foram positivos e significativos para ambos os modelos. Isso implica

na existência de uma relação positiva entre as variáveis dependentes e o padrão dessas variáveis nas regiões vizinhas. Esta dependência espacial implica a existência de algum efeito de repercussão que espalharia os impactos de choques exógenos.

Os resultados sugerem que, nos períodos de resistência e de recuperação econômica no Brasil, as regiões imediatas em processo de incremento da complexidade econômica foram menos resilientes e emitiram mais CO<sub>2</sub>. O resultado da equação de emissões de CO<sub>2</sub> é consistente com o argumento discutido no Capítulo 2, de que áreas em crescimento econômico acelerado tendem a ter maior emissão de gases de efeito estufa devido à intensificação das atividades industriais e ao aumento do consumo de energia. Adicionalmente, a análise evidencia que a complexidade econômica, embora possa impulsionar o crescimento e diversificação produtiva, pode também intensificar desafios ambientais, especialmente em contextos de fragilidade econômica. Regiões com maior dinamismo econômico, mas com infraestrutura insuficiente para suportar um crescimento sustentável, mostram-se mais vulneráveis a crises e a eventos de alta emissão de carbono.

Entretanto, o efeito negativo e significativo da complexidade econômica sobre a recuperação das regiões imediatas brasileiras, vai na contramão dos resultados obtidos em países de renda média do Capítulo 3. Isso sugere que o histórico do Brasil de baixo investimento em pesquisa e tecnologia, limita a poucas indústrias melhores índices de complexidade econômica. Essas indústrias, geralmente, são mais integradas em redes locais de produção e comércio, o que as torna mais vulneráveis. Além disso, essas indústrias são pouco adaptáveis, pois não conseguem dissipar os efeitos negativos em uma série de atividades e locais econômicos, uma vez que as redes de atividades relacionadas a essas indústrias são bem restritas (PIKE; DAWLEY; TOMANEY, 2010).

Adicionalmente, esse resultado capta a dinâmica da indústria brasileira como um todo no período pós-recessão de 2016. Durante este período, o Brasil enfrentou um processo contínuo de desindustrialização, que se intensificou após a recessão. A recessão exacerbou esse processo, resultando em um ambiente econômico desafiador para o setor industrial. Muitas empresas enfrentaram dificuldades financeiras, levando a uma redução nos investimentos e na capacidade produtiva (FEIJÓ; LAMÔNICA; LIMA, 2022). Além disso, fatores como a alta carga tributária, a complexidade regulatória e a falta de infraestrutura adequada contribuíram para a perda de competitividade da indústria brasileira no cenário global (TUPY et al., 2020).

Para avaliar se a relação da complexidade econômica com resiliência e com as emissões de CO<sub>2</sub> é caracterizada pela não linearidade, a variável ICE-R<sup>2</sup> foi inserida nos modelos (BANDEIRA MORAIS; SWART; JORDAAN, 2021b; NEAGU; NEAGU, 2022). Embora não

tenha sido significativa nas equações de resistência e recuperação, o resultado para a relação entre complexidade econômica e sua versão quadrática com as emissões de CO<sub>2</sub> valida a Curva Ambiental de Kuznets. Isso indica que, no nível inicial de desenvolvimento, o aumento da complexidade nas regiões imediatas brasileiras implica aumento da produção, calcado nas emissões de CO<sub>2</sub>. A questão da não linearidade é importante porque muitas relações econômicas e ambientais não seguem um padrão linear simples, onde um aumento constante em uma variável resulta em um aumento constante na outra. Em vez disso, o resultado sugere que essas relações espaciais podem ser mais complexas e mudar de direção ou intensidade em diferentes níveis de desenvolvimento.

Esse resultado é particularmente relevante para a formulação de políticas públicas, pois indica que promover a complexidade econômica pode ser uma estratégia eficaz para o crescimento econômico sustentável das regiões imediatas. Políticas que incentivem a diversificação econômica, a inovação tecnológica e o desenvolvimento de habilidades avançadas podem, portanto, contribuir para uma resiliência mais robusta e sustentável. Além disso, a relação positiva entre a complexidade econômica quadrática e a resiliência sublinha a importância de um desenvolvimento equilibrado que considere tanto o crescimento econômico quanto a capacidade adaptativa das regiões. Isso reforça a necessidade de investimentos em infraestrutura, educação e tecnologias verdes, que podem ajudar as regiões a se tornarem não apenas mais complexas, mas também mais resilientes e sustentáveis no longo prazo.

Os resultados da associação valor adicionado dos setores e emissões de CO<sub>2</sub> mostraram que a estrutura produtiva tem um impacto positivo e significativo na degradação ambiental. No que diz respeito a participação dos setores nas emissões, verificou-se que os setores de serviços e indústria foram os maiores emissores nos períodos de resistência e recuperação. A indústria, devido à sua natureza intensiva em energia e dependência de fontes fósseis, e o setor de serviços, especialmente através do transporte e consumo de eletricidade, são responsáveis por uma grande parte das emissões (IPCC, 2014).

Entretanto, conforme discutido na seção 4.1, o setor agropecuário é notadamente o maior emissor de gases de efeito estufa no país. A associação desse setor às emissões de CO<sub>2</sub> evidentemente está subestimada, uma vez que a informalidade e ilegalidade estão presente em grande parte de terras agrícolas que, não necessariamente, são rastreáveis pelos dados oficiais. Esse resultado, portanto, destaca a contribuição substancial desses setores para a pegada de carbono do país. Isso sublinha a necessidade de políticas específicas para cada setor, visando a promoção de tecnologias limpas, eficiência energética e a transição para fontes renováveis (OLIVIER; PETERS; JANSSENS-MAENHOUT, 2012).

Não foi possível verificar a significância dos efeitos dos setores produtivos sobre a resiliência econômica das regiões imediatas no período analisado. Os sinais dos coeficientes dessas variáveis oferecem uma avaliação preliminar da participação setorial capacidade de resistência e recuperação econômica dessas regiões. No período de crise, o setor da indústria foi o menos resistente, enquanto no período pós crise o setor de serviços foi o mais responsivo e apresentou melhor recuperação. Embora haja relação positiva entre setor agropecuário e as variáveis de resiliência, não se pode afirmar que ele foi mais resiliente durante a crise. Essa relação pode ser explicada pelo fato de que esse setor foi menos afetado pela crise, principalmente, por questões internacionais sobre as *commodities* agrícolas. Sendo assim, é necessário aprofundar a análise sobre a tal relação.

Além disso, a análise reforça a importância de uma abordagem integrada que alinhe crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. Isso porque, estratégias que incentivem o uso de transporte sustentável, eficiência energética em edifícios e digitalização sustentável no setor de serviços, juntamente com a promoção de eficiência energética e tecnologias limpas no setor industrial, são medidas essenciais que garantirão que o crescimento equilibrado e sustentável dos setores produtivos (RUGGERIO, 2021).

As macrorregiões foram significativas apenas para determinar as emissões de CO<sub>2</sub>. Vale destacar que região Centro-Oeste teve maior participação no total de emissões, o que subsidia a hipótese das atividades agropecuárias dessa região são responsáveis por parte considerável da degradação ambiental no Brasil (CUADRA et al., 2018).

Tabela 13: Modelos SUR com Defasagens Espaciais

	2014/2016		2017/2019	
	Resistência	Emissão de CO <sub>2</sub>	Recuperação	Emissão de CO <sub>2</sub>
<i>Constante</i>	0,3411***	-0,0056***	0,3119***	0,0225***
<i>W Resistência</i>	0,2874***			
<i>W Recuperação</i>			0,3178***	
<i>W Emissões CO<sub>2</sub></i>		0,4981***		0,5458***
<i>ICE-R</i>	-0,0074	0,0168	-0,0198**	0,0271**
<i>ICE-R<sup>2</sup></i>	0,0212	-0,0573**	0,0205	-0,0708***
<i>VA Agro</i>	0,0142	0,1620***	0,0161	0,1128***
<i>VA Ind</i>	-0,1287	0,2835***	0,0083	0,2482**
<i>VA Serv</i>	0,0167	0,3899***	-0,0250	0,2931***
<i>PIB_pc</i>	-0,0064	-0,0272	0,0409**	-0,0289
<i>Ens_sup</i>	0,0898	-0,1453*	0,0019	0,0021
<i>D_Norte</i>	0,0194	0,2422***	0,0637	0,1878**
<i>D_Nordeste</i>	0,0291	0,2415***	0,0701	0,1879**
<i>D_Sul</i>	0,0385	0,2311***	0,0683	0,1820**
<i>D_Sudeste</i>	0,0327	0,2338***	0,0673	0,1825**
<i>D_Centro</i>	0,0366	0,2538***	0,0691	0,2038***

Nível de significância \*\*\* p < 0,01, \*\* p < 0,05 e \* p < 0,1.

Fonte: Elaboração própria.

Para finalizar a análise, é necessário interpretar a forma como as mudanças nas variáveis explicativas impactam a resiliência e as emissões de CO<sub>2</sub>. As Tabelas 13 e 14, portanto, mostram os valores dos impactos das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes.

A discussão destaca apenas o impacto da complexidade econômica e sua versão quadrática. No modelo para o período entre 2014 e 2016, a primeira equação mostrou que o aumento de um por cento na complexidade econômica regional tem impacto direto na resistência, com uma redução de 0,76% e aumento de 1,79 % nas emissões de CO<sub>2</sub>. Esse aumento da complexidade também tem um impacto indireto (efeito transbordamento<sup>21</sup>), e este efeito representa uma redução média de 0,29% da resiliência, e de 5,34% das emissões. Assim,

<sup>21</sup> O efeito de transbordamento refere-se à influência que as ações ou eventos em uma determinada área geográfica têm sobre áreas vizinhas. Este conceito é frequentemente utilizado em estudos de econometria espacial e economia regional para descrever como impactos econômicos, sociais ou ambientais não estão confinados a uma área específica, mas se espalham para áreas adjacentes.

tanto os impactos diretos como indiretos envolvem um impacto total de -1,04 % na resistência e 3,35% nas emissões de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, no período de recuperação (Tabela 14) o aumento de um por cento na complexidade econômica regional tem impacto direto na recuperação, com uma redução de 2,02% e aumento de 2,92% nas emissões de CO<sub>2</sub>. Os impactos totais sobre a recuperação e emissões de CO<sub>2</sub> são de -2,90% e 5,97%, respectivamente.

Os impactos do ICE-R<sup>2</sup> para a resistência/recuperação e emissões de CO<sub>2</sub> são contrários aos observados para o ICE-R. A versão quadrática da complexidade econômica tem impacto positivo sobre as variáveis de resiliência, no qual o aumento de 1% dessa variável implica no aumento de aproximadamente 3% na capacidade das regiões imediatas de resistirem e se recuperarem diante da recessão econômica brasileira. Ao mesmo tempo, o aumento da variável independente em 1%, tem impacto de 11,42% na redução das emissões de CO<sub>2</sub> no período de resistência e de 15,59% na recuperação. Dentre os setores, a indústria impactou negativamente a resistência enquanto o setor de serviços afetou a recuperação das regiões.

Tabela 14: Coeficientes de Impactos diretos, indiretos e total (2014/2016)

	Resistência			Emissões de CO <sub>2</sub>		
	Direto	Indireto	Total	Direto	Indireto	Total
<i>ICE-R</i>	-0,0076	-0,0029	-0,0104	0,0179	0,0157	0,0335
<i>ICE-R<sup>2</sup></i>	0,0216	0,0082	0,0298	-0,0608	-0,0534	-0,1142
<i>VA Agro</i>	0,0144	0,0055	0,0199	0,1719	0,1509	0,3228
<i>VA Ind</i>	-0,1309	-0,0497	-0,1806	0,3008	0,2641	0,5649
<i>VA Serv</i>	0,0170	0,0065	0,0235	0,4137	0,3633	0,7770
<i>PIB<sub>pc</sub></i>	-0,0065	-0,0025	-0,0089	-0,0289	-0,0254	-0,0542
<i>Ens<sub>sup</sub></i>	0,0914	0,0347	0,1261	-0,1541	-0,1353	-0,2894

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15: Coeficientes de Impactos diretos, indiretos e total (2017/2019)

	Recuperação			Emissões de CO <sub>2</sub>		
	Direto	Indireto	Total	Direto	Indireto	Total
<i>ICE-R</i>	-0,0202	-0,0088	-0,0290	0,0292	0,0305	0,0597
<i>ICE-R<sup>2</sup></i>	0,0209	0,0091	0,0301	-0,0763	-0,0797	-0,1559
<i>VA Agro</i>	0,0164	0,0071	0,0236	0,1215	0,1269	0,2485
<i>VA Ind</i>	0,0085	0,0037	0,0122	0,2673	0,2792	0,5465
<i>VA Serv</i>	-0,0255	-0,0111	-0,0366	0,3156	0,3297	0,6453
<i>PIB<sub>pc</sub></i>	0,0418	0,0182	0,0599	-0,0311	-0,0325	-0,0636
<i>Ens<sub>sup</sub></i>	0,0019	0,0008	0,0028	0,0022	0,0023	0,0046

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados acima mostraram a relação convexa entre resistência/recuperação e ICE-R, o que indica que, após um ponto mínimo, a resistência das regiões imediatas brasileiras aumenta a uma taxa crescente conforme a complexidade econômica aumenta. Por outro lado, a

relação entre emissões de CO<sub>2</sub> e ICE-R é côncava, ou seja, as emissões diminuem a uma taxa decrescente, a partir de um ponto máximo, conforme a complexidade aumenta (WOOLDRIDGE, 1996).

#### **4.4 – Considerações Finais**

Este capítulo apresentou evidências empíricas de que a sofisticação produtiva pode ser um caminho para tornar uma economia mais resiliente ao mesmo tempo em que pode contribuir para torná-la mais sustentável. Para testar essa hipótese foi utilizada a abordagem da complexidade econômica regional para mostrar que no período de recessão econômica no Brasil (2014 e 2016), as regiões imediatas mais complexas foram as mais resilientes.

Os testes econométricos indicaram que a complexidade econômica regional teve poder preditivo para explicar a recuperação de regiões imediatas durante o período de 2017/2019. Além disso, o impacto da complexidade sobre a resiliência é positivo e quadrático, o que significa que o efeito da complexidade econômica tende a acelerar em regiões de média e alta complexidade. A mesma abordagem foi utilizada para testar a relação entre complexidade econômica e degradação ambiental. O resultado evidenciou a Curva Ambiental de Kuznets apresentada no Capítulo 2. Além disso, o modelo de equações simultâneas mostrou que existe uma relação positiva implícita entre resiliência e degradação ambiental.

Os resultados obtidos permitiram explorar, em uma escala regional, a abordagem integrada entre resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável proposta no Capítulo 2. Apesar de serem preliminares, os resultados indicaram o impacto negativo e quadrático da complexidade econômica sobre as emissões de CO<sub>2</sub>, eles contribuem para a literatura ao evidenciar que a diversidade e sofisticação produtiva têm efeitos simultâneos e de sinais opostos sobre a resiliência e degradação ambiental. Entretanto, os modelos não ofereceram informações robustas sobre a participação dos setores produtivos na capacidade de resistência e recuperação das regiões no período analisado. Com isso, se faz necessário explorar ainda mais essa questão.

Esses resultados respaldam as contribuições teóricas propostas nos Capítulos 1 e 2. Ao utilizar uma amostra de regiões imediatas do Brasil, os resultados mostraram que em países de renda média nos quais a estrutura produtiva tem grande participação de setores que são intensivos em carbono, como a produção de energia a partir de combustíveis fósseis, indústrias pesadas, pecuária e agricultura intensiva, é necessária a formulação de políticas com o objetivo de transformarem essas estruturas em direções mais sustentáveis.

Para isso, é preciso criar incentivos para a adoção de tecnologias limpas, a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, o investimento em fontes de energia renováveis e a regulamentação mais rigorosa das emissões de carbono. Apenas por meio de uma transformação estrutural significativa e bem direcionada será possível alinhar o crescimento econômico com a sustentabilidade ambiental, garantindo um futuro mais equilibrado e resiliente tanto para a economia quanto para o meio ambiente.

A transição para estruturas produtivas mais sofisticadas e sustentáveis, portanto, requer um planejamento cuidadoso e investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento, bem como em infraestrutura de apoio, para garantir que os benefícios sejam amplamente distribuídos.

## CONCLUSÃO

Esta tese analisou a relação entre resiliência econômica e complexidade econômica no âmbito do desenvolvimento sustentável. Em outros termos, investigou-se como países e regiões se reorganizam, adaptam ou se transformam na busca pelo desenvolvimento sustentável, em que as mudanças climáticas, degradação ambiental e crises financeiras são consideradas perturbações constantes ao progresso econômico, social e ambiental. Assim, a principal contribuição teórica deste trabalho é a proposição de uma abordagem integrada que conecta resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável, oferecendo uma nova perspectiva para enfrentar os desafios globais contemporâneos. Para isso, as abordagens teóricas sobre resiliência e complexidade econômica foram criticamente revisadas, argumentando que essa interação é crucial para compreender a reorganização, adaptação ou transformação das regiões para a promoção do desenvolvimento sustentável.

O Capítulo 1 desta tese discorreu sobre o conceito de resiliência, a fim de discutir os principais conceitos e abordagens ligados a este fenômeno. Este exercício teórico possibilitou evidenciar a resiliência como tema relevante nas discussões e análises que tratam do desenvolvimento sustentável.

O principal resultado do Capítulo 1 revelou que o estudo da resiliência é relevante para identificar fatores protetores, de risco e mecanismos de adaptação eficazes, que são cruciais para o desenvolvimento de intervenções que fortaleçam a capacidade de indivíduos e comunidades em enfrentar e superar desafios econômicos, promovendo o bem-estar e a sustentabilidade a longo prazo. Dentre esses fatores, a estrutura produtiva desempenha um papel importante. A diversidade econômica e a complexidade das atividades influenciam positivamente a resiliência das regiões, permitindo maior flexibilidade e capacidade de resposta a perturbações contantes e choques adversos.

Neste aspecto, a investigação sobre o arcabouço teórico da resiliência contribui por destacar as vantagens da utilização deste conceito na proposição de políticas sobre o desenvolvimento sustentável. Entretanto, este exercício teórico careceu de análise sobre a mensuração da resiliência em diferentes contextos. É relevante que estudos futuros analisem as medidas de resiliência, a fim de avançar em indicadores alternativos que melhor representem o fenômeno analisado.

O Capítulo 2 investigou como questões estruturais de sistemas produtivos afetam a resiliência de um país ou região. O capítulo começa por caracterizar as mudanças climáticas e a degradação ambiental como perturbações contínuas a todos os tipos de sistemas, seja o

ecológico, social ou econômico. A partir disso, o capítulo avança na discussão sobre a influência da estrutura produtiva sobre a resiliência diante dessas perturbações, introduzindo a literatura da complexidade à análise. Verificou-se, portanto, países com estruturas produtivas sofisticadas tendem a ser mais adaptáveis e resilientes a diferentes tipos de perturbações e choques.

Diante disso, o Capítulo 2 preencheu uma lacuna de pesquisa acerca dos mecanismos de interação entre resiliência, complexidade econômica e sustentabilidade. Essa abordagem teórica demonstrou ser um caminho alternativo para a formulação de políticas públicas com foco nos esforços transnacionais para mitigar os impactos das mudanças climáticas, reduzir a degradação ambiental e promover o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, esta tese defende que uma agenda política para a promoção da resiliência e desenvolvimento sustentável deve ser discutida considerando a relevante influência da sofisticação da estrutura produtiva, em especial, pelo arcabouço teórico da complexidade econômica.

O Capítulo 3 avançou ao testar empiricamente a relação entre resiliência climática e complexidade econômica. O índice ND-GAIN foi utilizado como *proxy* da resiliência, a fim de observar o impacto da complexidade econômica. O principal resultado deste capítulo foi a consistente relação positiva e estatisticamente significativa para todas as amostras analisadas entre a resiliência e a complexidade econômica. Em outros termos, esta tese defende que a complexidade econômica tem um impacto positivo sobre a resiliência econômica em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Estes resultados confirmam a hipótese de pesquisa apresentada no Capítulo 2.

Outro resultado relevante desta tese decorre da análise de países por grupos de renda. Estes resultados contribuem para a literatura de *catching up*, pois evidenciam que a resiliência cresce de forma mais acelerada em países de renda média do que nos países de renda alta. O resultado empírico por grupos de renda é relevante para definir a formulação de políticas públicas adequadas por grupos de países. Em outros termos, embora a complexidade econômica afete a resiliência em todos os grupos de países, os organismos internacionais (i.e., ONU, Banco Mundial, FMI) devem considerar resultados econômicos distintos decorrentes das diferenças nos níveis de desenvolvimento econômico dos países. Vale destacar que é necessário o aprofundamento dos determinantes da resiliência climática em países de renda média, visto que este grupo de países corresponde aos que mais concentram atividades econômicas com alta capacidade de degradação ambiental. Adicionalmente, os países de renda média são aqueles que mais sofrem os impactos das mudanças climáticas. Portanto, os resultados por grupos de renda desta tese corroboram para influenciar uma agenda política com foco em grupos de países

específicos que enfrentam os maiores problemas decorrentes da degradação ambiental e mudanças climáticas.

Entretanto, este primeiro exercício empírico pode ser refinado por estudos futuros, tendo em vista a necessidade de aplicação de indicadores alternativos para a resiliência e complexidade econômica, discussão de técnicas robustas para a determinação dos períodos pré e pós-crisis, análises econométricas de robustez e sensibilidade estatística, bem como análises longitudinais com séries históricas longas.

O Capítulo 4 avança ao analisar a relação entre resiliência econômica e complexidade econômica em um contexto regional para um país em desenvolvimento. Neste sentido, este capítulo analisou uma amostra de regiões imediatas do Brasil. A partir do resultado da relação quadrática entre resistência, recuperação e complexidade econômica, este capítulo confirmou a hipótese de que a sofisticação produtiva pode tornar uma região mais resiliente e sustentável em regiões em fases mais avançadas de mudança da estrutura produtiva para outra mais complexa. Este resultado revelou que a complexidade econômica regional deve ser parte da formulação de políticas públicas para elevar a recuperação dessas regiões após períodos de recessão econômica, ao mesmo tempo que explica as emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, o modelo de equações simultâneas mostrou que existe uma relação positiva implícita entre resiliência e degradação ambiental. Esses resultados contribuem para a literatura ao evidenciar que a diversidade e sofisticação produtiva têm efeitos simultâneos e de sinais opostos sobre a resiliência e degradação ambiental.

Finalmente, conclui-se que urge a necessidade de reconhecer a relevância da sofisticação da estrutura produtiva (i.e., complexidade econômica) para a resiliência climática e resiliência econômica nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, bem como em análises regionais. Isto contribui para subsidiar políticas públicas que visem promover o desenvolvimento econômico, com foco em setores tecnologicamente avançados e ambientalmente sustentáveis. Para avançar o debate sobre o tema, pesquisas que tratem da mensuração da resiliência podem contribuir por consolidar a aplicação do conceito em diferentes áreas. Em relação aos testes empíricos, faz-se necessário o aprofundamento dos determinantes da resiliência climática em países de renda média, visto que esses são os que mais concentram atividades econômicas com alta capacidade de degradação ambiental, e são os que mais sofrem os impactos das mudanças climáticas. Embora seja de conhecimento que a escassez de dados, as heterogeneidades estruturais e espaciais limitam os estudos sobre o tema no Brasil, há espaço para explorar as relações entre resiliência e complexidade econômica em diferentes regiões brasileiras, bem como utilizar variáveis alternativas sobre a degradação

ambiental. Por exemplo, incluir a variável emissões de gás metano (CH<sub>4</sub>) como indicador ambiental, uma vez que esse é o gás poluente de maior emissão pela pecuária nacional. Além disso, é possível testar outras variáveis determinantes da resiliência econômica.

A integração de resiliência, complexidade econômica e desenvolvimento sustentável é essencial para criar sociedades e ecossistemas que não apenas sobrevivam, mas prosperem em um mundo dinâmico e interconectado. A abordagem integrada dessas dimensões apresentada nesta tese oferece um caminho mais robusto e abrangente para se pensar ações e políticas para um futuro mais equitativo, onde o progresso econômico, a justiça social e a sustentabilidade ambiental caminham juntos. Assim, pode-se aumentar as possibilidades para que as comunidades estejam preparadas para enfrentar os desafios globais e locais, promovendo um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVITZ, M. Catching up, forging ahead, and falling behind. **Journal of Economic history**, p. 385–406, 1986.

ACEMOGLU, D. et al. The environment and directed technical change. **American economic review**, v. 102, n. 1, p. 131–166, 2012.

ACEMOGLU, D.; AUTOR, D. Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. Em: **Handbook of labor economics**. [s.l.] Elsevier, 2011. v. 4p. 1043–1171.

ACEMOGLU, D.; ROBINSON, J. A. Why nations fail: the origins of power, prosperity, and poverty. **Finance and Development-English Edition**, v. 49, n. 1, p. 53, 2012.

ACEMOGLU, D.; ROBINSON, J. A. Rents and economic development: the perspective of Why Nations Fail. **Public Choice**, v. 181, p. 13–28, 2019.

ADACHI, S. A. et al. Contributions of changes in climatology and perturbation and the resulting nonlinearity to regional climate change. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 2224, 2017.

ADGER, W. N. et al. Resilience implications of policy responses to climate change. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 2, n. 5, p. 757–766, 2011.

AGHION, P.; HOWITT, P. *The Economics of Growth* (Cambridge, MA: MIT Press). 2009.

AGRAWAL, A. Local institutions and adaptation to climate change. **Social dimensions of climate change: Equity and vulnerability in a warming world**, v. 2, p. 173–178, 2010.

AITKEN, A. C. IV.—On least squares and linear combination of observations. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh**, v. 55, p. 42–48, 1936.

ALBUQUERQUE, I. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima no Brasil: 1970-2019. **Brasília, DF: Observatório do Clima**, 2020.

AL-MULALI, U.; OZTURK, I. The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region. **Energy**, v. 84, p. 382–389, 2015.

ANDERSON, C. M. et al. Natural climate solutions are not enough. **Science**, v. 363, n. 6430, p. 933–934, 2019.

ANDERSSON, F. N. G. Effects on the manufacturing, utility and construction industries of decarbonization of the energy-intensive and natural resource-based industries. **Sustainable Production and Consumption**, v. 21, p. 1–13, 2020.

ANDREW, P. Building back better: A sustainable, resilient recovery after COVID-19. Accessed from < <https://read.oecd-ilibrary.org/view>, 2020.

ANDRIJEVIC, M. et al. Governance in socioeconomic pathways and its role for future adaptive capacity. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 35–41, 2020.

ANGEON, V.; BATES, S. Reviewing composite vulnerability and resilience indexes: A sustainable approach and application. **World Development**, v. 72, p. 140–162, 2015.

ANSELIN, L. Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity. **Geographical analysis**, v. 20, n. 1, p. 1–17, 1988.

ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2013. v. 4

ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **The review of economic studies**, v. 58, n. 2, p. 277–297, 1991.

ARELLANO, M.; BOVER, O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. **Journal of econometrics**, v. 68, n. 1, p. 29–51, 1995.

ARRHENIUS, S. XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 41, n. 251, p. 237–276, 1896.

ARTHUR, W. B. On Learning and Adaptation in the Economy. **Queen's University, Department of Economics, Working Papers**, n. 854, 1992.

ARTHUR, W. B. Complexity and the economy. **science**, v. 284, n. 5411, p. 107–109, 1999.

ARTHUR, W. B. Complexity economics. **Complexity and the Economy**, 2013.

ARTHUR, W. B. Foundations of complexity economics. **Nature Reviews Physics**, v. 3, n. 2, p. 136–145, 2021.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015.

BAHADUR, A. V; IBRAHIM, M.; TANNER, T. Characterising resilience: unpacking the concept for tackling climate change and development. **Climate and Development**, v. 5, n. 1, p. 55–65, 2013.

BALLAND, P.-A. et al. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. **Regional studies**, v. 53, n. 9, p. 1252–1268, 2019.

BALLAND, P.-A. et al. Complex economic activities concentrate in large cities. **Nature human behaviour**, v. 4, n. 3, p. 248–254, 2020.

BALLAND, P.-A. et al. The new paradigm of economic complexity. **Research Policy**, v. 51, n. 3, p. 104450, 2022.

BALTAGI, B. H.; BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. [s.l.] Springer, 2008. v. 4

BALTAGI, B. H.; BRESSON, G. Maximum likelihood estimation and Lagrange multiplier tests for panel seemingly unrelated regressions with spatial lag and spatial errors: An application to hedonic housing prices in Paris. **Journal of Urban Economics**, v. 69, n. 1, p. 24–42, 2011.

BANDEIRA MORAIS, M.; SWART, J.; JORDAAN, J. A. Economic complexity and inequality: does regional productive structure affect income inequality in Brazilian states? **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 1006, 2021a.

BANDEIRA MORAIS, M.; SWART, J.; JORDAAN, J. A. Economic complexity and inequality: does regional productive structure affect income inequality in Brazilian states? **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 1006, 2021b.

BARBIER, E. How is the global green new deal going? **Nature**, v. 464, n. 7290, p. 832–833, 2010.

BEN SAÂD, M.; ASSOUMOU-ELLA, G. Economic complexity and gender inequality in education: an empirical study. **Economics Bulletin**, v. 39, n. 1, p. 321–334, 2019.

BIRDSEY, L.; SZABO, C.; FALKNER, K. **Identifying self-organization and adaptability in complex adaptive systems**. 2017 IEEE 11th International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO). **Anais...IEEE**, 2017.

BLOOM, D. E.; CANNING, D.; FINK, G. Urbanization and the wealth of nations. **Science**, v. 319, n. 5864, p. 772–775, 2008.

BLUNDELL, R.; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. **Journal of econometrics**, v. 87, n. 1, p. 115–143, 1998.

BOLLETTINO, V. et al. Introduction to socio-ecological resilience. Em: **Oxford research encyclopedia of natural hazard science**. [s.l: s.n.].

BOLSON, N. et al. Resilience rankings and trajectories of world's countries. **Ecological Economics**, v. 195, p. 107383, 2022.

BOND, S. R. Dynamic panel data models: a guide to micro data methods and practice. **Portuguese economic journal**, v. 1, p. 141–162, 2002.

BOSCHMA, R. Towards an Evolutionary Perspective on Regional Resilience. **Regional Studies**, v. 49, n. 5, p. 733–751, 2015.

BOWEN, A.; COCHRANE, S.; FANKHAUSER, S. Climate change, adaptation and economic growth. **Climatic change**, v. 113, p. 95–106, 2012.

BOWEN, A.; FANKHAUSER, S. **The green growth narrative: Paradigm shift or just spin?** **Global Environmental Change** Elsevier, , 2011.

BOWEN, A.; HEPBURN, C. Green growth: an assessment. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 407–422, 2014.

BRANDÃO, C. A. Mudanças produtivas e econômicas e reconfiguração territorial no Brasil no início do século XXI. **Revista brasileira de estudos urbanos e regionais**, v. 21, p. 258–279, 2019.

BRANDI, C. et al. Do environmental provisions in trade agreements make exports from developing countries greener? **World Development**, v. 129, p. 104899, 2020.

BRIGUGLIO, L. et al. Economic vulnerability and resilience: Concepts and measurements. **Oxford Development Studies**, v. 37, n. 3, p. 229–247, 2009.

- BRIGUGLIO, L. P. Exposure to external shocks and economic resilience of countries: evidence from global indicators. **Journal of Economic Studies**, v. 43, n. 6, p. 1057–1078, 2016.
- BRIGUGLIO, L.; PICCININO, S. Growth with resilience in east asia and the 2008-2009 global recession. **Asian Development Review**, v. 29, n. 2, p. 183–206, 2012.
- BRISTOW, G. Resilient regions : re- ‘ place ’ ing regional competitiveness. n. January, p. 153–167, 2010.
- BRISTOW, G.; HEALY, A. Innovation and regional economic resilience: an exploratory analysis. **The annals of regional science**, v. 60, n. 2, p. 265–284, 2018.
- BROWN, B. J. et al. Global sustainability: Toward definition. **Environmental management**, v. 11, p. 713–719, 1987.
- BROWN, K. **Resilience, development and global change**. [s.l.] Routledge, 2015.
- BROWN, L.; GREENBAUM, R. T. The role of industrial diversity in economic resilience: An empirical examination across 35 years. **Urban Studies**, v. 54, n. 6, p. 1347–1366, 2017.
- BRUNDTLAND, G. H. **Presentation of the Report of World Commission on Environment and Development to African and International and Non-governmental Organizations... June 7, 1987, Nairobi, Kenya**. [s.l.] World Commission on Environment and Development, 1987.
- BURGESS, R. et al. Innovation, growth, and the environment. **Energy and environment**, v. 1, p. 0, 2023.
- CAN, M.; GOZGOR, G. The impact of economic complexity on carbon emissions: evidence from France. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 16364–16370, 2017.
- CARR, E. R. Properties and projects: Reconciling resilience and transformation for adaptation and development. **World Development**, v. 122, p. 70–84, 2019.
- CARVALHO, L.; KUPFER, D. Diversificação ou especialização: Uma análise do processo de mudança estrutural da indústria brasileira. **Revista de Economia Política**, v. 31, n. 4, p. 618–637, 2011.
- CEPAL. **Construir un nuevo futuro: Una recuperación con igualdad y sostenibilidad**. [s.l.: s.n.]. v. 1
- CEPAL (COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE). Mudança estrutural para a igualdade: uma visão integrada do desenvolvimento. 2014a.
- CEPAL (COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE). Mudança estrutural para a igualdade: uma visão integrada do desenvolvimento. 2014b.
- CEPAL (COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE). **América Latina y el Caribe ante la pandemia del COVID-19: efectos económicos y sociales**. [s.l.] Informe Especial COVID-19, 2020a.
- CEPAL (COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE). **Dimensionar los efectos del COVID-19 para pensar en la reactivación**. [s.l.] Informe Especial COVID-19, 2020b.

- CEPAL, N. U. Towards transformation of the development model in Latin America and the Caribbean: production, inclusion and sustainability. [s.d.].
- CHAU, H. et al. Connecting higher education to workplace activities and earnings. **Plos one**, v. 18, n. 3, p. e0282323, 2023.
- CHAUDHARY, A.; GUSTAFSON, D.; MATHYS, A. Multi-indicator sustainability assessment of global food systems. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2018.
- CHENERY, H. B. et al. **Industrialization and growth**. [s.l.] Citeseer, 1986.
- CHOI, I. Unit root tests for panel data. **Journal of international money and Finance**, v. 20, n. 2, p. 249–272, 2001.
- CHRISTOPHERSON, S.; MICHIE, J.; TYLER, P. Regional resilience: theoretical and empirical perspectives. p. 3–10, 2010.
- CHU, L. K. Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. **Applied Economics Letters**, v. 28, n. 7, p. 612–616, 2021.
- CONTRERAS, M. G. A.; FAGIOLO, G. Propagation of economic shocks in input-output networks: A cross-country analysis. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 90, n. 6, p. 1–9, 2014.
- CRESPO, J.; SUIRE, R.; VICENTE, J. Lock-in or lock-out? How structural properties of knowledge networks affect regional resilience. v. 14, n. April 2013, p. 199–219, 2014.
- CRETNEY, R. Resilience for whom? Emerging critical geographies of socio-ecological resilience. **Geography compass**, v. 8, n. 9, p. 627–640, 2014.
- CROCCO, M. A. et al. Metodologia de identificação de aglomerações produtivas locais. **Nova economia**, v. 16, n. 2, p. 211–241, 2006.
- CUADRA, S. V. et al. Mudanças climáticas e a agropecuária brasileira. 2018.
- CUTTER, S. L. Resilience to what? Resilience for whom? **The Geographical Journal**, v. 182, n. 2, p. 110–113, 2016.
- DA SILVA, J. F. et al. Regional economic resilience and mining in the State of Minas Gerais/Brazil: The barriers of productive specialisation to formal employment and tax management. **Resources Policy**, v. 70, p. 101937, 2021.
- DALZIELL, E. P.; MCMANUS, S. T. Resilience, vulnerability, and adaptive capacity: implications for system performance. **International Forum for Engineering Decision Making**, p. 17, 2004.
- DAVIDSON, J. L. et al. Interrogating resilience: toward a typology to improve its operationalization. **Ecology and society**, v. 21, n. 2, 2016.
- DAVOUDI, S. et al. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End? “Reframing” Resilience: Challenges for Planning Theory and Practice Interacting Traps: Resilience Assessment of a Pasture Management System in Northern Afghanistan Urban Resilience: What Does it Mean in Planni. **Planning Theory and Practice**, v. 13, n. 2, p. 299–333, 2012.

- DE FREITAS, F. N. P.; DWECK, E. The pattern of economic growth of the Brazilian economy 1970–2005: a demand-led growth perspective. Em: **Sraffa and the Reconstruction of Economic Theory: Volume Two: Aggregate Demand, Policy Analysis and Growth**. [s.l.] Springer, 2013. p. 158–191.
- DECHEZLEPRÊTRE, A. et al. **Fighting climate change: International attitudes toward climate policies**. [s.l.] National Bureau of Economic Research, 2022.
- DINDA, S. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. **Ecological economics**, v. 49, n. 4, p. 431–455, 2004.
- DINIZ, C. C. Desenvolvimento poligonal no Brasil: nem desconcentração, nem contínua polarização. **Nova Economia**, v. 3, n. 1, p. 35–64, 1993.
- DIXSON-DECLÈVE, S. et al. **Protect, prepare and transform Europe: Recovery and resilience post COVID-19: ESIR Policy Brief**. [s.l.: s.n.].
- DJOUDI, H. et al. Beyond dichotomies: Gender and intersecting inequalities in climate change studies. **Ambio**, v. 45, p. 248–262, 2016.
- DOĞAN, B.; SABOORI, B.; CAN, M. Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 31900–31912, 2019.
- DORAN, J.; FINGLETON, B. Employment Resilience in Europe and the 2008 Economic Crisis: Insights from Micro-Level Data. **Regional Studies**, v. 50, n. 4, p. 644–656, 2016.
- DOSI, G.; NELSON, R. R. An introduction to evolutionary theories in economics. **Journal of evolutionary economics**, v. 4, n. 3, p. 153–172, 1994.
- ELLIOTT, L. **The global politics of the environment**. [s.l.] Springer, 2004.
- ELMQVIST, T. et al. Sustainability and resilience for transformation in the urban century. **Nature sustainability**, v. 2, n. 4, p. 267–273, 2019.
- ESCAP. Asia-Pacific trade facilitation Report 2024: promoting sustainability and resilience in global value chains. 2024.
- EVENHUIS, E. New directions in researching regional economic resilience and adaptation. n. August, p. 1–15, 2017a.
- EVENHUIS, E. New directions in researching regional economic resilience and adaptation. **Geography Compass**, v. 11, n. 11, p. e12333, 2017b.
- EVENHUIS, E. New directions in researching regional economic resilience and adaptation. **Geography Compass**, v. 11, n. 11, p. 1–15, 2017c.
- EVENHUIS, E.; DAWLEY, S. Evolutionary perspectives on economic resilience in regional development. Em: **Creating resilient economies**. [s.l.] Edward Elgar Publishing, 2017.
- FANKHAUSER, S. et al. Who will win the green race? In search of environmental competitiveness and innovation. **Global environmental change**, v. 23, n. 5, p. 902–913, 2013.

FANKHAUSER, S.; TOL, R. S. J. On climate change and economic growth. **Resource and Energy Economics**, v. 27, n. 1, p. 1–17, 2005.

FERRAZ, D. et al. Linking economic complexity, diversification, and industrial policy with sustainable development: A structured literature review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 3, p. 1–29, 2021.

FERRAZ, D. et al. Economic complexity and human development: comparing standard and slack-based data envelopment analysis models. **CEPAL Review**, 2022.

FINGLETON, B.; GARRETSEN, H.; MARTIN, R. Recessionary shocks and regional employment: Evidence on the resilience of u.k. regions. **Journal of Regional Science**, v. 52, n. 1, p. 109–133, 2012a.

FINGLETON, B.; GARRETSEN, H.; MARTIN, R. Recessionary shocks and regional employment: Evidence on the resilience of u.k. regions. **Journal of Regional Science**, v. 52, n. 1, p. 109–133, 2012b.

FLETCHER, D.; SARKAR, M. Psychological resilience. **European psychologist**, 2013.

FOLKE, C. et al. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. **AMBIO: A journal of the human environment**, v. 31, n. 5, p. 437–440, 2002.

FOLKE, C. et al. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and society**, v. 15, n. 4, 2010.

FOLKE, C. et al. Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. **Ecology and Society**, v. 21, n. 3, 2016.

FOLKE, C. Resilience (republished). **Ecology and society**, v. 21, n. 4, 2016.

FOLKE, C. et al. Resilience: Now more than ever. **Ambio**, v. 50, n. 10, p. 1774–1777, 2021.

FONTANA, M. Can neoclassical economics handle complexity? The fallacy of the oil spot dynamic. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 76, n. 3, p. 584–596, 2010.

FRANÇOSO, M. S.; BOSCHMA, R.; VONORTAS, N. Regional diversification in Brazil: The role of relatedness and complexity. **Growth and Change**, v. 55, n. 1, p. e12702, 2024.

FREITAS, E.; BRITTO, G.; AMARAL, P. Related industries, economic complexity, and regional diversification: An application for Brazilian microregions. **Papers in Regional Science**, v. 103, n. 1, p. 100011, 2024.

FREITAS, E. E. Indústrias relacionadas, complexidade econômica e diversificação regional: uma aplicação para microrregiões brasileiras. 2019.

FRIEDLINGSTEIN, P. et al. Update on CO2 emissions. **Nature geoscience**, v. 3, n. 12, p. 811–812, 2010.

GALA, P.; ROCHA, I.; MAGACHO, G. The structuralist revenge: economic complexity as an important dimension to evaluate growth and development. **Brazilian journal of political economy**, v. 38, p. 219–236, 2018.

- GALI, J. Technology, employment, and the business cycle: do technology shocks explain aggregate fluctuations? **American economic review**, v. 89, n. 1, p. 249–271, 1999.
- GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 293–303, 2006.
- GASQUES, J. G. et al. **Produtividade total dos fatores na agricultura: Brasil e países selecionados**. [s.l.] Texto para Discussão, 2022.
- GIOVANNINI, E. et al. **Time for transformative resilience: the COVID-19 emergency**. [s.l.] Joint Research Centre (Seville site), 2020.
- GLOBAL ADAPTATION INDEX. **Country Index Technical Report**. [s.l.: s.n.].
- GLOBAL RESILIENCE PARTNERSHIP. **Global Resilience Partnership**. Disponível em: <<https://www.globalresiliencepartnership.org/who-we-are/>>. Acesso em: 29 maio. 2024.
- GOZGOR, G. Does trade matter for carbon emissions in OECD countries? Evidence from a new trade openness measure. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 36, p. 27813–27821, 2017.
- GOZGOR, G.; CAN, M. Export product diversification and the environmental Kuznets curve: evidence from Turkey. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 21594–21603, 2016.
- GRABHER, G. The weakness of strong ties; the lock-in of regional development in Ruhr area. **The embedded firm; on the socioeconomics of industrial networks**, p. 255–277, 1993.
- GRECEQUET, M. et al. Climate vulnerability and human migration in global perspective. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 720, 2017.
- GREEN CLIMATE FUND. **About Green Climate Fund (GCF)**. Disponível em: <<https://www.greenclimate.fund/about>>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- GRILLITSCH, M.; ASHEIM, B. T. Towards regenerative regional development in responsible value chains: an agentic response to recent crises. **European Planning Studies**, p. 1–26, 2023.
- GUO, J.; KUBLI, D.; SANER, P. **The economics of climate change: no action not an option**. [s.l.] Swiss Re Institute, 2021.
- GUO, Y. et al. Environmental regulation, government R&D funding and green technology innovation: Evidence from China provincial data. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 940, 2018.
- GUO, Y.; YOU, W.; LEE, C.-C. CO2 emissions, income inequality, and country risk: some international evidence. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 9, p. 12756–12776, 2022.
- HADIDA, G. et al. Changes in Climate Vulnerability and Projected Water Stress of The Gambia's Food Supply Between 1988 and 2018: Trading With Trade-Offs. **Frontiers in public health**, v. 10, p. 786071, 2022.
- HALLEGATTE, S.; GHIL, M. Natural disasters impacting a macroeconomic model with endogenous dynamics. **Ecological Economics**, v. 68, n. 1–2, p. 582–592, 2008.

HALLEGATTE, S.; RENTSCHLER, J.; ROZENBERG, J. Adaptation principles: a guide for designing strategies for climate change adaptation and resilience. 2020.

HAMILTON, J. D. **Time series analysis**. [s.l.] Princeton university press, 2020.

HANSEN, L. P. Large sample properties of generalized method of moments estimators. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 1029–1054, 1982.

HARBAUGH, W. T.; LEVINSON, A.; WILSON, D. M. Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve. **Review of Economics and Statistics**, v. 84, n. 3, p. 541–551, 2002.

HARTE, J. Human population as a dynamic factor in environmental degradation. **Population and Environment**, v. 28, p. 223–236, 2007.

HARTMANN, D. et al. Linking economic complexity, institutions, and income inequality. **World development**, v. 93, p. 75–93, 2017.

HARTMANN, D. et al. Comparing cars with apples? Identifying the appropriate benchmark countries for relative ecological pollution rankings and international learning. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 779378, 2021.

HARVARD'S GROWTH LAB. **Atlas of Economic Complexity**.

HASSINK, R. Regional resilience : a promising concept to explain differences in regional economic adaptability ? n. January, p. 45–58, 2010.

HASSINK, R.; GONG, H. Regional resilience. **International encyclopedia of human geography**, p. 351–355, 2020.

HAUSMANN, R. et al. **The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity**. [s.l.: s.n.].

HAUSMANN, R. et al. What economic complexity theory can tell us about the EU's pandemic recovery and resilience plans. **Available at SSRN 3969724**, 2021a.

HAUSMANN, R. et al. What economic complexity theory can tell us about the EU's pandemic recovery and resilience plans. **Available at SSRN 3969724**, 2021b.

HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A. The network structure of economic output. **Journal of Economic Growth**, v. 16, n. 4, p. 309–342, 2011.

HAUSMANN, R.; HWANG, J.; RODRIK, D. What you export matters. **Journal of economic growth**, v. 12, p. 1–25, 2007.

HAUSMANN, R.; MORALES-ARILLA, J.; SANTOS, M. Economic Complexity in Panama: Assessing opportunities for productive diversification. 2016.

HAYES, S. et al. Leveraging socio-ecological resilience theory to build climate resilience in transport infrastructure. **Transport Reviews**, v. 39, n. 5, p. 677–699, 2019.

HENDRIX, C. S. et al. Climate change and conflict. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 4, n. 3, p. 144–148, 2023.

- HERRERA, W. D. M.; STRAUCH, J. C. M.; BRUNO, M. A. P. Economic complexity of Brazilian states in the period 1997–2017. **Area Development and Policy**, v. 6, n. 1, p. 63–81, 2021.
- HIDALGO, C. A. et al. The product space conditions the development of nations. **Science**, v. 317, n. 5837, p. 482–487, 2007.
- HIDALGO, C. A. Economic complexity theory and applications. **Nature Reviews Physics**, p. 1–22, 2021.
- HIDALGO, C. A. The policy implications of economic complexity. **Research Policy**, v. 52, n. 9, p. 104863, 2023.
- HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 26, p. 10570–10575, 2009.
- HIRATUKA, C.; SARTI, F. Transformações na estrutura produtiva global, desindustrialização e desenvolvimento industrial no Brasil. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 37, p. 189–207, 2017.
- HODGSON, G. M. Evolutionary economics. **The Handbook of Economic Methodology, Cheltenham and Northampton: Edward Elgar Publishing Limited**, p. 160–164, 1998.
- HODGSON, G. M. A philosophical perspective on contemporary evolutionary economics. Em: **The Elgar companion to recent economic methodology**. [s.l.] Edward Elgar Publishing, 2011.
- HOLLAND, J. H. Complex adaptive systems. **Daedalus**, v. 121, n. 1, p. 17–30, 1992a.
- HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence**. [s.l.] MIT press, 1992b.
- HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual review of ecology and systematics**, p. 1–23, 1973.
- HOLTZ-EAKIN, D.; SELDEN, T. M. Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth. **Journal of public economics**, v. 57, n. 1, p. 85–101, 1995.
- HSIAO, C. **Analysis of Panel Data**, Econometric Society Monographs, New York: Cambridge University Press. 1986.
- HSIAO, C. Panel data analysis—advantages and challenges. **Test**, v. 16, n. 1, p. 1–22, 2007.
- HU, X.; LI, L.; DONG, K. What matters for regional economic resilience amid COVID-19? Evidence from cities in Northeast China. **Cities**, v. 120, p. 103440, 2022.
- IMF. **Climate Change Indicators Dashboard**. Disponível em: <<https://climatedata.imf.org/>>. Acesso em: 8 ago. 2023.
- IPCC. Mitigation of climate change. **Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, v. 1454, p. 147, 2014.
- IPCC. **Global Warming of 1.5°C**. [s.l.: s.n.].

- IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. [s.l: s.n.].
- IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. [s.l: s.n.].
- JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 1, p. 41–57, 2011.
- JANZWOOD, S.; HOMER-DIXON, T. **What Is a Global Polycrisis?** [s.l.] Discussion Paper, 2022.
- JOHNSON, D. L. et al. Meanings of environmental terms. **Journal of environmental quality**, v. 26, n. 3, p. 581–589, 1997.
- JOHNSON, J. L. et al. Interplays of sustainability, resilience, adaptation and transformation. Em: **Handbook of sustainability and social science research**. [s.l.] Springer, 2018. p. 3–25.
- JUCÁ, M. N.; FISHLOW, A. Political uncertainty of impeachment upon corporate investment decisions. **Borsa Istanbul Review**, v. 21, n. 2, p. 149–160, 2021.
- KAHUTHU, A. Economic growth and environmental degradation in a global context. **Environment, development and sustainability**, v. 8, p. 55–68, 2006.
- KAIKA, D.; ZERVAS, E. The environmental Kuznets curve (EKC) theory. Part B: Critical issues. **Energy Policy**, v. 62, p. 1403–1411, 2013.
- KECK, M.; SAKDAPOLRAK, P. What is social resilience? Lessons learned and ways forward. **Erdkunde**, p. 5–19, 2013.
- KITSOS, A.; BISHOP, P. Economic resilience in Great Britain: the crisis impact and its determining factors for local authority districts. **The Annals of Regional Science**, v. 60, n. 2, p. 329–347, 2018.
- KITSOS, A.; CARRASCAL-INCERA, A.; ORTEGA-ARGILÉS, R. The role of embeddedness on regional economic resilience: Evidence from the UK. **Sustainability**, v. 11, n. 14, p. 3800, 2019.
- KOPIDOU, D.; TSAKANIKAS, A.; DIAKOULAKI, D. Common trends and drivers of CO2 emissions and employment: a decomposition analysis in the industrial sector of selected European Union countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4159–4172, 2016.
- KRUEGER, A. B.; GROSSMAN, G. **Economic growth and the environment**. 1995.
- KRÜGER, J. J. Productivity and structural change: a review of the literature. **Journal of Economic Surveys**, v. 22, n. 2, p. 330–363, 2008.
- KUHL, L. Potential contributions of market-systems development initiatives for building climate resilience. **World Development**, v. 108, p. 131–144, 2018.
- KUMAR, M.; DEKA, J. P.; KUMARI, O. Development of water resilience strategies in the context of climate change, and rapid urbanization: a discussion on vulnerability mitigation. **Groundwater for sustainable development**, v. 10, p. 100308, 2020.
- KUTNER, M. H. et al. **Applied linear statistical models**. [s.l.] McGraw-hill, 2005.

- KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. **The American economic review**, v. 45, n. 1, p. 1–28, 1955.
- KUZNETS, S. Economic growth and structural change. **Nueva York: Norton**, 1965.
- LAGRAVINESE, R. Economic crisis and rising gaps North–South: evidence from the Italian regions. **Cambridge journal of regions, economy and society**, v. 8, n. 2, p. 331–342, 2015.
- LAPATINAS, A.; LITINA, A.; POULIOS, K. Economic complexity of cities and its role for resilience. **Plos one**, v. 17, n. 8, p. e0269797, 2022.
- LAWRENCE, M. Polycrisis in the Anthropocene: an invitation to contributions and debates. **Global Sustainability**, v. 7, p. e5, 2024.
- LAWRENCE, M. et al. Global Polycrisis: The causal mechanisms of crisis entanglement. **Global Sustainability**, v. 7, p. e6, 2024.
- LE CAOUS, E.; HUARNG, F. Economic complexity and the mediating effects of income inequality: Reaching sustainable development in developing countries. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 2089, 2020.
- LE GALLO, J.; DALL'ERBA, S. Evaluating the temporal and spatial heterogeneity of the European convergence process, 1980–1999. **Journal of Regional Science**, v. 46, n. 2, p. 269–288, 2006.
- LESAGE, J.; PACE, R. K. **Introduction to spatial econometrics**. [s.l.] Chapman and Hall/CRC, 2009.
- LEWIS, W. A. Economic development with unlimited supplies of labour. 1954.
- LÓPEZ, F. A.; MUR, J.; ANGULO, A. Spatial model selection strategies in a SUR framework. The case of regional productivity in EU. **The Annals of regional science**, v. 53, p. 197–220, 2014.
- MAI, X.; CHAN, R. C. K.; ZHAN, C. Which Sectors Really Matter for a Resilient Chinese Economy? A Structural Decomposition Analysis. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6333, 2019.
- MAÎTRE, N.; MONTT, G. E.; SAGET, C. **The employment impact of climate change adaptation: Input document for the G20 Climate Sustainability Working Group**. [s.l.] ILO, 2018.
- MARTIN, R. Regional economic resilience , hysteresis and recessionary shocks. v. 12, n. September 2011, p. 1–32, 2012.
- MARTIN, R. et al. How Regions React to Recessions: Resilience and the Role of Economic Structure. **Regional Studies**, v. 50, n. 4, p. 561–585, 2016.
- MARTIN, R. et al. 4. Economic Shocks and the Differential Resilience of Places. **Regional Studies Policy Impact Books**, v. 3, n. 2, p. 73–85, 2021.
- MARTIN, R.; GARDINER, B. The resilience of Britain's core cities to the great recession (with implications for the Covid recessionary shock). Em: **Economic Resilience in Regions and Organisations**. [s.l.] Springer, 2021. p. 57–89.

- MARTIN, R.; MARTINELLI, F.; CLIFTON, J. **Rethinking spatial policy in an era of multiple crises**. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* Oxford University Press UK, , 2022.
- MARTIN, R.; SUNLEY, P. On the notion of regional economic resilience: Conceptualization and explanation. *Journal of Economic Geography*, v. 15, n. 1, p. 1–42, 2015.
- MARTIN, R.; SUNLEY, P. Regional economic resilience: Evolution and evaluation. Em: **Handbook on regional economic resilience**. [s.l.] Edward Elgar Publishing, 2020. p. 10–35.
- MARTINI, B. Resilience and economic structure. Are they related? *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 54, n. C, p. 62–91, 2020.
- MARTINS, A. S. Income distribution and external constraint: Brazil in the commodities boom. *Nova Economia*, v. 27, p. 7–35, 2017.
- MAZZUCATO, M. **The value of everything: Making and taking in the global economy**. [s.l.] Hachette UK, 2018a.
- MAZZUCATO, M. Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. *Industrial and corporate change*, v. 27, n. 5, p. 803–815, 2018b.
- MAZZUCATO, M. Transformational change in Latin America and the Caribbean: A mission-oriented approach. 2023.
- MCCANN, P.; ORTEGA-ARGILÉS, R. Smart specialization, regional growth and applications to European Union cohesion policy. Em: **Place-based Economic Development and the New EU Cohesion Policy**. [s.l.] Routledge, 2018. p. 51–62.
- MCKIBBIN, W. J.; WILCOXEN, P. J. The role of economics in climate change policy. *Journal of economic perspectives*, v. 16, n. 2, p. 107–129, 2002.
- MCMILLAN, M. S.; RODRIK, D.; KENNEDY, J. F. NBER WORKING PAPER SERIES GLOBALIZATION, STRUCTURAL CHANGE AND PRODUCTIVITY GROWTH Globalization, Structural Change and Productivity Growth. **NBER Working Paper**, 2011.
- MEEROW, S.; NEWELL, J. P. Urban resilience for whom, what, when, where, and why? Em: **Geographic Perspectives on Urban Sustainability**. [s.l.] Routledge, 2021. p. 43–63.
- MEEROW, S.; NEWELL, J. P.; STULTS, M. Defining urban resilience: A review. *Landscape and urban planning*, v. 147, p. 38–49, 2016.
- MENDES, P. S.; HERMETO, A. M.; BRITTO, G. Reorganização espacial da indústria de transformação brasileira pós-2008: a evolução do emprego formal no território. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 13, n. 1, p. 23–44, 2019.
- METCALFE, J. S. Competition, Fisher’s Principle and increasing returns in the selection process. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 4, n. 4, p. 327–346, 1994.
- METCALFE, J. S.; FOSTER, J.; RAMLOGAN, R. Adaptive economic growth. *Cambridge Journal of Economics*, v. 30, n. 1, p. 7–32, 2006.
- MÍNGUEZ, R.; LÓPEZ, F. A.; MUR, J. spsur: an R package for dealing with spatial seemingly unrelated regression models. *Journal of Statistical Software*, v. 104, p. 1–43, 2022.

MISHRA, P. K. Green economy: A panacea for sustainable development and poverty reduction. **Journal of International Economics**, v. 8, n. 1, p. 19–28, 2017.

MISSIO, F.; JAYME JR, F. G.; OREIRO, J. L. The structuralist tradition in economics: methodological and macroeconomics aspects. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 35, p. 247–266, 2015.

MITCHELL, J. F. B. The “greenhouse” effect and climate change. **Reviews of Geophysics**, v. 27, n. 1, p. 115–139, 1989.

MITCHELL, M. **Complexity: A guided tour**. [s.l.] Oxford University Press, 2009.

MOENCH, M. Experiences applying the climate resilience framework: Linking theory with practice. Em: **Climate Change Adaptation and Development**. [s.l.] Routledge, 2018. p. 17–34.

MOHAMMED, K. S. et al. Assessing the EKC hypothesis by considering the supply chain disruption and greener energy: findings in the lens of sustainable development goals. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1–13, 2022.

MOURA, A. Are neutral and investment-specific technology shocks correlated? **European Economic Review**, v. 139, p. 103866, 2021.

MUNDLAK, Y. On the pooling of time series and cross section data. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, p. 69–85, 1978.

MYRDAL, G. **Economic theory and under-development regions**. [s.l.] Gerarld Duckworth, 1957.

NEAGU, O. The link between economic complexity and carbon emissions in the European Union countries: a model based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) approach. **Sustainability**, v. 11, n. 17, p. 4753, 2019.

NEAGU, O.; NEAGU, M.-I. The Environmental Kuznets Curve revisited: economic complexity and ecological footprint in the most complex economies of the world. **Studia Universitatis Vasile Goldiș Arad, Seria Științe Economice**, v. 32, n. 1, p. 78–99, 2022.

NECHIFOR, V.; FERRARI, E. Trading for climate resilience. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 9, p. 804–805, 2020.

NELSON, D. R. Adaptation and resilience: responding to a changing climate. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 2, n. 1, p. 113–120, 2011.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica [1982]**. [s.l.] Editora Unicamp, 2008.

NEWELL, R. G.; PREST, B. C.; SEXTON, S. E. The GDP-temperature relationship: implications for climate change damages. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 108, p. 102445, 2021.

NGOUHOUE, I.; NCHOFONG, T. N. Economic resilience in sub-Saharan Africa: Evidence from composite indicators. **Journal of the Knowledge Economy**, p. 1–22, 2021.

NÜCHTER, V. et al. The concept of resilience in recent sustainability research. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2735, 2021.

NURKSE, R. **Problems of capital formation in underdeveloped countries**. [s.l.] Oxford University Press, 1953.

OBSERVATÓRIO, D. O. C. Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos. **SEEG Documento de Análise**, 2018.

OCAMPO, J. A.; RADA, C.; TAYLOR, L. **Growth and policy in developing countries: a structuralist approach**. [s.l.] Columbia University Press, 2009.

OLAZABAL, M. Resilience, sustainability and transformability of cities as complex adaptive systems. Em: **Urban Regions Now & Tomorrow**. [s.l.] Springer, 2017. p. 73–97.

OLIVIER, J. G. J.; PETERS, J. A. H. W.; JANSSENS-MAENHOUT, G. Trends in global CO<sub>2</sub> emissions. 2012 report. 2012.

ONU. Resolution adopted by the General Assembly on 11 September 2015. **New York: United Nations**, 2015a.

ONU. **Paris Agreement** . , 2015b.

ONU. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. **New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs**, v. 1, p. 41, 2015c.

ONU. **Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People**. [s.l.: s.n.].

ONU. **A ONU e o Meio Ambiente**. Disponível em: <A ONU e o meio ambiente>. Acesso em: 10 maio. 2023.

ONU. **Sustainable Development Goals**. Disponível em: <Sustainable Development Goals>. Acesso em: 2 ago. 2023a.

ONU. **Resilient Planet Data Hub**. Disponível em: <<https://resilient-planet-data.org/>>. Acesso em: 9 jun. 2024b.

ONU BRASIL. **Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos**. [s.l.: s.n.].

OREIRO, J. L.; MANARIN, L. L.; GALA, P. Deindustrialization, economic complexity and exchange rate overvaluation: the case of Brazil (1998-2017). **PSL Quarterly Review**, v. 73, n. 295, p. 313–341, 2020.

PARRY, M. L. et al. **Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC**. [s.l.] Cambridge University Press, 2007. v. 4

PATA, U. K. Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO<sub>2</sub> emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 846–861, 2021.

PELLING, M. **Adaptation to climate change: from resilience to transformation**. [s.l.] Routledge, 2010.

- PENDALL, R.; FOSTER, K. A.; COWELL, M. Resilience and regions: Building understanding of the metaphor. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 3, n. 1, p. 71–84, 2010.
- PENDRILL, F. et al. Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. **Science**, v. 377, n. 6611, p. eabm9267, 2022.
- PERRINGS, C. Resilience and sustainable development. **Environment and Development Economics**, v. 11, n. 4, p. 417–427, 2006.
- PETERS, G. P. et al. The challenge to keep global warming below 2 C. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 1, p. 4–6, 2013.
- PETERS, K.; TANNER, T. Resilience across the post-2015 frameworks: how to create greater coherence. **Overseas Development Institute**, 2016.
- PIKE, A.; DAWLEY, S.; TOMANEY, J. Resilience , adaptation and adaptability. p. 59–70, 2010.
- PNUD. **Plataforma de Dados para os Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento**. Disponível em: <<https://data.undp.org/sids/>>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- POLLONI-SILVA, E. et al. Environmental kuznets curve and the pollution-halo/haven hypotheses: An investigation in Brazilian Municipalities. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4114, 2021.
- POPP, D. Innovation and climate policy. **Annu. Rev. Resour. Econ.**, v. 2, n. 1, p. 275–298, 2010.
- PÖRTNER, H.-O. et al. **Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability**. [s.l.] IPCC Geneva, Switzerland:, 2022.
- POTENZA, R. F. et al. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2020. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**, 2021.
- PREBISCH, R. O desenvolvimento econômico da América Latina e seus principais problemas. **Revista brasileira de economia**, v. 3, n. 3, p. 47–111, 1949.
- PREISER, R. et al. Social-ecological systems as complex adaptive systems. **Ecology and Society**, v. 23, n. 4, 2018.
- PURVIS, B.; MAO, Y.; ROBINSON, D. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. **Sustainability science**, v. 14, p. 681–695, 2019.
- QUEIROZ, A. R.; ROMERO, J. P.; FREITAS, E. Economic complexity and employment in Brazilian states. **CEPAL Review**, 2023.
- RAFIQUE, M. Z. et al. Does economic complexity matter for environmental sustainability? Using ecological footprint as an indicator. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 4, p. 4623–4640, 2022.
- RAMEY, V. A. Macroeconomic shocks and their propagation. **Handbook of macroeconomics**, v. 2, p. 71–162, 2016.

- REGAN, P. M.; KIM, H.; MAIDEN, E. Climate change, adaptation, and agricultural output. **Regional Environmental Change**, v. 19, p. 113–123, 2019.
- RESENDE, G. M. Avaliação de políticas públicas no Brasil: uma análise de seus impactos regionais. 2014.
- RESILIENCE HUB. **Resilience Hub**. Disponível em: <<https://cop-resilience-hub.org/about-the-resilience-hub/>>. Acesso em: 9 jun. 2024.
- REYERS, B. et al. The contributions of resilience to reshaping sustainable development. **Nature Sustainability**, v. 5, n. 8, p. 657–664, 2022.
- ROCHEDO, P. R. R. et al. The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. **Nature climate change**, v. 8, n. 8, p. 695–698, 2018.
- ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. **nature**, v. 461, n. 7263, p. 472–475, 2009.
- ROCKSTRÖM, J. et al. Shaping a resilient future in response to COVID-19. **Nature Sustainability**, p. 1–11, 2023.
- RODRÍGUEZ-POSE, A. Do institutions matter for regional development? **Regional studies**, v. 47, n. 7, p. 1034–1047, 2013.
- RODRIK, D. Policies for economic diversification. **CEPAL Review**, v. 2005, n. 87, p. 7–23, 2005.
- RODRIK, D. Green industrial policy. **Oxford review of economic policy**, v. 30, n. 3, p. 469–491, 2014.
- RODRIK, D. Populism and the economics of globalization. **Journal of international business policy**, v. 1, n. 1, p. 12–33, 2018.
- ROMERO, J. P.; GRAMKOW, C. Economic complexity and greenhouse gas emissions. **World Development**, v. 139, p. 105317, 2021.
- ROMERO-LANKAO, P. et al. Urban sustainability and resilience: From theory to practice. **Sustainability**, v. 8, n. 12, p. 1224, 2016.
- ROODMAN, D. How to do xtabond2: An introduction to “Difference” and “System” GMM in Stata. WP no 103. **Center for Global Development**, 2006.
- ROODMAN, D. How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. **The stata journal**, v. 9, n. 1, p. 86–136, 2009.
- ROSE, A. Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. **Environmental Hazards**, v. 7, n. 4, p. 383–398, 2007.
- ROSENSTEIN-RODAN, P. N. Problems of industrialisation of eastern and south-eastern Europe. **The economic journal**, v. 53, n. 210–211, p. 202–211, 1943.
- RUGGERIO, C. A. Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. **Science of the Total Environment**, v. 786, p. 147481, 2021.

SACHS, J. D. From millennium development goals to sustainable development goals. **The lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2206–2211, 2012.

SCHIPPER, E. L. F. et al. The debate: Is global development adapting to climate change? **World Development Perspectives**, v. 18, p. 100205, 2020.

SCHLEUSSNER, C.-F. et al. Pathways of climate resilience over the 21st century. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 5, p. 054058, 2021.

SETTERFIELD, M.; GOURI SURESH, S. Multi-agent systems as a tool for analyzing path-dependent macrodynamics. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 38, p. 25–37, 2016.

SHACKLETON, S. et al. Why is socially-just climate change adaptation in sub-Saharan Africa so challenging? A review of barriers identified from empirical cases. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 6, n. 3, p. 321–344, 2015.

SHAHZAD, U. et al. Export product diversification and CO2 emissions: Contextual evidences from developing and developed economies. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 124146, 2020.

SHAHZAD, U. et al. Investigating the nexus between economic complexity, energy consumption and ecological footprint for the United States: New insights from quantile methods. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123806, 2021.

SHAYEGH, S.; DASGUPTA, S. Climate change, labour availability and the future of gender inequality in South Africa. **Climate and Development**, v. 16, n. 3, p. 209–226, 2024.

SHEN, J. Trade liberalization and environmental degradation in China. **Applied Economics**, v. 40, n. 8, p. 997–1004, 2008.

SHIU, A.; LAM, P.-L. Electricity consumption and economic growth in China. **Energy policy**, v. 32, n. 1, p. 47–54, 2004.

SILVA, E. G.; TEIXEIRA, A. A. C. Surveying structural change: Seminal contributions and a bibliometric account. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 19, n. 4, p. 273–300, 2008.

SIMMIE, J.; MARTIN, R. The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach. **Cambridge journal of regions, economy and society**, v. 3, n. 1, p. 27–43, 2010a.

SIMMIE, J.; MARTIN, R. The economic resilience of regions : towards an evolutionary approach. n. January, p. 27–43, 2010b.

SINGER, H. W. The distribution of gains between investing and borrowing countries. Em: **Milestones and Turning Points in Development Thinking**. [s.l.] Springer, 1950. p. 265–277.

SISTO, A. et al. Towards a transversal definition of psychological resilience: a literature review. **Medicina**, v. 55, n. 11, p. 745, 2019.

SMIT, B.; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global environmental change**, v. 16, n. 3, p. 282–292, 2006.

- STERN, D. I. The rise and fall of the environmental Kuznets curve. **World development**, v. 32, n. 8, p. 1419–1439, 2004.
- STERN, D. I. The environmental Kuznets curve after 25 years. **Journal of Bioeconomics**, v. 19, p. 7–28, 2017.
- STERN, N. G7 leadership for sustainable, resilient and inclusive economic recovery and growth. **LSE Grantham Institute**, 2021.
- STINE, R. A. Graphical interpretation of variance inflation factors. **The American Statistician**, v. 49, n. 1, p. 53–56, 1995.
- STOJKOSKI, V.; KOCH, P.; HIDALGO, C. A. Multidimensional economic complexity and inclusive green growth. **Communications Earth & Environment**, v. 4, n. 1, p. 130, 2023.
- SUTTON, J.; ARKU, G. Regional economic resilience: towards a system approach. **Regional Studies, Regional Science**, v. 9, n. 1, p. 497–512, 2022.
- SWANSTROM, T. Regional Resilience : A Critical Examination of the Ecological Framework. 2008.
- SYRQUIN, M. Kuznets and Pasinetti on the study of structural transformation: Never the Twain shall meet? **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 21, n. 4, p. 248–257, 2010.
- SZABÓ, M.; CSETE, M. S.; PÁLVÖLGYI, T. Resilient regions from sustainable development perspective. **European Journal of Sustainable Development**, v. 7, n. 1, p. 395, 2018.
- TAN, J. et al. Conceptualizing and measuring economic resilience of resource-based cities: Case study of Northeast China. **Chinese Geographical Science**, v. 27, n. 3, p. 471–481, 2017.
- TAN, J. et al. Industrial structure or agency: What affects regional economic resilience? Evidence from resource-based cities in China. **Cities**, v. 106, p. 102906, 2020.
- TANNER, T.; BAHADUR, A.; MOENCH, M. Challenges for resilience policy and practice. 2017.
- THORNTON, P. K. et al. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. **Global change biology**, v. 20, n. 11, p. 3313–3328, 2014.
- TIMMER, C. P. **A world without agriculture: The structural transformation in historical perspective**. [s.l.] Aei Press Washington, DC, 2009.
- TREMBLAY, D. et al. A systemic approach for sustainability implementation planning at the local level by sdg target prioritization: the case of quebec city. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2520, 2021.
- TRIPPL, M.; FASTENRATH, S.; ISAKSEN, A. Rethinking regional economic resilience: Preconditions and processes shaping transformative resilience. **European Urban and Regional Studies**, v. 31, n. 2, p. 101–115, 2024.
- TRUMP, B. D.; LINKOV, I.; HYNES, W. Combine resilience and efficiency in post-COVID societies. **Nature**, v. 588, n. 7837, p. 220–221, 2020.

TSAI, D. P. R. Q. G. C. A. M. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2022)**. [s.l: s.n.].

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

TUPY, I. S. et al. The spatial features of recent crises in a developing country: analysing regional economic resilience for the Brazilian case. **Regional Studies**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020.

TUPY, I. S. et al. The spatial features of recent crises in a developing country: analysing regional economic resilience for the Brazilian case. **Regional Studies**, v. 55, n. 4, p. 693–706, 2021.

TUPY, I. S. et al. Resilient Regions in Brazil: Unfolding the Effects of COVID-19 From a Socioeconomic Perspective. **International Regional Science Review**, p. 01600176221145878, 2022.

TYLER, P. et al. Structural Transformation, Adaptability and City Economic Evolutions Growing Apart? 2017a.

TYLER, P. et al. Structural Transformation, Adaptability and City Economic Evolutions Growing Apart? Structural Transformation and the Uneven Development of British Cities Growing Apart? Structural Transformation and the Uneven Development of British Cities. 2017b.

TYLER, S.; MOENCH, M. A framework for urban climate resilience. **Climate and development**, v. 4, n. 4, p. 311–326, 2012.

UNIVERSITY OF NOTRE DAME. **ND-GAIN - Notre Dame Global Adaptation Initiative** .

VELLINGA, P. M. E. Insurance and other financial services. Em: **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. [s.l: s.n.].

VERSPAGEN, B. new empirical approach to catching up or falling behind. **Cornell family papers**, 1991.

WALKER, B. et al. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. **Ecology and society**, v. 9, n. 2, 2004.

WALKER, B. et al. A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. **Ecology and society**, v. 11, n. 1, 2006.

WALKER, B. Resilience: what it is and is not. **Ecology and Society**, v. 25, n. 2, 2020.

WALKER, B.; SALT, D. **Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world**. [s.l.] Island press, 2012.

WEBB, N. P. et al. Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 8, p. 450–459, 2017.

WEITZMAN, M. L. On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. **The review of economics and statistics**, v. 91, n. 1, p. 1–19, 2009.

WEN, J. et al. Does globalization matter for environmental degradation? Nexus among energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emission. **Energy policy**, v. 153, p. 112230, 2021.

WERZ, M.; HOFFMAN, M. Europe's twenty-first century challenge: climate change, migration and security. **European View**, v. 15, n. 1, p. 145–154, 2016.

WINDMEIJER, F. A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators. **Journal of econometrics**, v. 126, n. 1, p. 25–51, 2005.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach 3rd ed.** , 1996.

WORLD BANK. **How does the World Bank classify countries?**

WORLD ECONOMIC FORUM, WEFORUM. **The global risks report.** World Economic Forum Geneva, Switzerland, 2019.

YILANCI, V.; PATA, U. K. Investigating the EKC hypothesis for China: the role of economic complexity on ecological footprint. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 26, p. 32683–32694, 2020.

ZANOTTI, L. et al. Sustainability, resilience, adaptation, and transformation: tensions and plural approaches. **Ecology and Society**, v. 25, n. 3, 2020.

ZHANG, X.; TIAN, C. Measurement and Influencing Factors of Regional Economic Resilience in China. **Sustainability**, v. 16, n. 8, p. 3338, 2024.

ZHU, S.; YU, C.; HE, C. Export structures, income inequality and urban-rural divide in China. **Applied Geography**, v. 115, p. 102150, 2020.

## APÊNDICE

### A.1 - Índice de Complexidade Econômica (ICE)

Hausmann et al. (2011a) utilizam a percepção da dificuldade de conhecimento tácito entre indivíduos, para explicar as diferenças de prosperidade entre países. A incorporação do conhecimento tácito é um processo longo e caro, e quando malsucedida, pode restringir o processo de crescimento e desenvolvimento. A partir dessa percepção, os autores elaboram o conceito de complexidade econômica que expressa a composição produtiva de um país, refletindo as estruturas que surgem para conter e combinar conhecimento. Nesse sentido, uma economia é complexa se for capaz de reunir vastas quantidades de conhecimento, em um processo de interação entre vários agentes, gerando uma cesta diversificada de produtos intensivos em conhecimento. Assim, os autores definem uma matriz como 1 se um país  $c$  produzir produto  $p$ , e caso contrário. Eles propõem medir diversidade e ubiquidade somando sobre as linhas ou colunas dessa matriz. Então:

$$\text{Diversidade} = k_{c,0} = \sum_p M_{cp} \quad (4)$$

$$\text{Ubiquidade} = k_{p,0} = \sum_c M_{cp} \quad (5)$$

Depois, eles calculam a ubiquidade média dos produtos que exporta, a diversidade média dos países que fabricam esses produtos, assim como a diversidade média dos países que os fabricam e a ubiquidade média dos outros produtos que estes países fabricam para medir mais precisamente o número de capacidades disponíveis em um país.

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \sum_p M_{cp} \cdot k_{p,N-1} \quad (6)$$

$$k_{p,N} = \frac{1}{k_{p,0}} \sum_c M_{cp} \cdot k_{c,N-1} \quad (7)$$

Substituindo (7) em (6), tem-se:

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \sum_p M_{cp} \frac{1}{k_{p,0}} \sum_{c'} M_{c'p} \cdot k_{c',N-2} \quad (8)$$

$$k_{c,N} = \sum_{c'} M_{c'p} \cdot k_{c',N-2} \sum \frac{M_{cp} M_{c'p}}{k_{c,0} k_{p,0}} \quad (9)$$

Reescrevendo:

$$k_{c,N} = \sum_{c'} \tilde{M}_{cc'} k_{c',N-2} \quad (10)$$

$$\tilde{M}_{cc'} = \sum_p \frac{M_{cp} M_{c'p}}{k_{c,0} k_{p,0}} \quad (11)$$

A equação (10) é satisfeita, quando  $k_{c,N} = k_{c,N-2} = 1$ . Isto equivale ao autovetor de  $\tilde{M}_{cc'}$  quando associado ao maior autovalor. Uma vez que este autovetor é um vector de um,

não é informativo. Procura-se, ao invés, o vector próprio associado ao segundo maior valor próprio. Este é o autovetor que capta a maior quantidade de variação no sistema e expressa a medida de complexidade econômica.

Assim, o Índice de Complexidade Econômica (doravante ICE) é definido como:

$$ECI = \frac{\vec{K} - \langle \vec{K} \rangle}{\text{desvio padrão}(\vec{K})} \quad (12)$$

onde  $\langle \rangle$  representa uma média.

Com o avanço empírico conquistado a partir da metodologia desenvolvida para a análise da complexidade econômica (HAUSMANN et al., 2011; HIDALGO; HAUSMANN, 2009), surge a possibilidade de subsidiar as proposições da visão estruturalista em que argumentam que a sofisticação produtiva é uma forma central de superação do subdesenvolvimento (GALA; ROCHA; MAGACHO, 2018).

## A.2 - Tabelas

### A.2.1 – Indicadores de Vulnerabilidade do ND-GAIN

Setor	Componente	Variáveis/Indicadores	Fonte	
Componente de exposição	Alimentos	Mudança prevista no rendimento dos cereais	A mudança projetada é calculada pela mudança percentual da projeção de base da média anual do rendimento real de cereais em 1980-2009 para uma projeção futura em 2040-2069 sob o cenário de emissão de Rota de Concentração Representativa ( <i>Representative Concentration Pathway</i> ) RCP4.5, que é uma trajetória de concentração de gases de efeito estufa. O RCP 4.5 é um cenário que estabiliza a força radiativa de 4,5 W m <sup>-2</sup> no ano de 2100 sem nunca exceder esse valor. Simulado com o Modelo de Avaliação de Mudança Global (GCAM), o RCP4.5 inclui emissões globais a longo prazo de gases de efeito estufa, espécies de vida curta e cobertura da terra em uma estrutura econômica global. (AM Thomson,2011)	Earth System Grid Federation
		Mudança populacional projetada	O crescimento médio da população é calculado pela mudança percentual do tamanho da população de base em 2010 para o tamanho médio previsto da população durante o período 2020-2050.	World Bank Health Nutrition and Population Statistics (HNPSStats)
	Água	Mudança prevista para o escoamento anual	Os dados de escoamento superficial projetados, definidos como precipitação menos evapotranspiração e mudança no armazenamento de umidade no solo.	Aqueduct - World Resource Institute
		Mudança prevista da recarga anual de águas subterrâneas	Essa mudança projetada a partir de dados da diminuição percentual da recarga anual de águas subterrâneas da projeção de base (1971-2000) para a projeção futura (2040-2069) utilizando o cenário de emissão RCP4.5.	Goethe University Frankfurt

Saúde	Mudança projetada de mortes causadas por doenças induzidas pela mudança climática	A mudança projetada é o aumento percentual de anos de vida ajustado à incapacidade (Disability adjusted life year-DALYs) da linha de base histórica (2000) para a estimativa de 2030, utilizando o cenário de emissão S550. Este é um indicador do impacto da mudança climática sobre vários tipos de doenças em que a estimativa é baseada em modelos da perda de anos de vida ajustada pela qualidade sob vários cenários climáticos diferentes.	Ebi K (2008) - Mendeley Ok
	Mudança projetada da duração da estação de transmissão de doenças transmitidas por vetores	Este indicador toma a projeção da malária por duração da estação de transmissão ( <i>Length of Transmission Season - LTS</i> ) como uma indicação do impacto da mudança climática sobre as doenças transmitidas por vetores. a qualidade dos sistemas de saúde pública é estimada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) utilizando o número de casos de malária por 1000 habitantes por mês da atual LTS como medida destes serviços.	Caminade, et al. (2014) - Mendeley Ok OMS
Serviços de Ecossistema	Mudança projetada da distribuição de biomas	A mudança projetada, neste caso, é a fração de área de terra dentro de um país que se projeta se tornar um tipo de bioma potencial diferente sob o clima futuro (2070-2100, combinando três Cenários Especiais de Emissões ( <i>Special Report of Emission Scenarios - SRES</i> ) e três Modelos de Circulação Global ( <i>Global Circulation Models - GCMs</i> ) em relação aos anos de base 1990. Este indicador mostra como a mudança climática impactará a mudança da biodiversidade do bioma terrestre dentro de um país até o final do século.	Gonzalez, et al. (2010) - Mendeley Ok
	Mudança projetada da biodiversidade marinha	Indicador de como a mudança climática impactará a mudança da biodiversidade marinha nas zonas econômicas exclusivas de um país até meados do século. É uma medida baseada nas mudanças projetadas na distribuição de 1066 espécies exploradas de peixes e invertebrados marinhos sob cenários de envelope climático.	Cheung, et al. (2009)

Habitat humano	Mudança prevista do período quente	Este indicador usa o <i>Warm Spell Duration Index</i> (WSDI), que define períodos de calor excessivo usando um limiar baseado no percentil calculado para uma janela de 5 dias de calendário no período básico 1961-1990. O WSDI conta o número de dias em um ano quando a temperatura máxima diária próxima à superfície excede o limiar do percentil 90 durante 6 dias consecutivos ou mais	WSDI baseline projection (1960-1990) WSDI future projection (2040-2070)	
	Mudança projetada do risco de inundação	A mudança projetada é a mudança percentual no risco de inundação da projeção de base (1960-1990) para a projeção futura (2040-2070), usando o cenário de emissão RCP4.5. O valor anual é derivado do cálculo da média dos dados mensais.	rx5day baseline projection (1960-1990) rx5day future projection (2040-2070)	
Infraestrutura	Mudança projetada da capacidade de geração de energia hidrelétrica	Mudança percentual na capacidade de geração de energia hidrelétrica da linha de base histórica (2005) para a projeção futura (2050).	Hamududu e Killingtveit (2012) Dependency on hydropower	
	Projeção do impacto da elevação do nível do mar	Uma indicação de como a infraestrutura costeira será impactada pelo efeito combinado da elevação do nível do mar e do potencial aumento da tempestade até o final do século. O indicador considera a proporção de áreas terrestres, adjacentes ao oceano, que são inferiores à elevação do nível do mar projetada e a altura média da onda de tempestades.	1 arc-minute global relief model of Earth's surface, integrating land topography and ocean bathymetry	
Alimentos	Dependência de importação de alimentos	Taxa de dependência das importações de cereais (%). Proporção do consumo de cereais obtidos das importações.	FAOSTAT	
	População rural	População rural (% da população total). Inclui todas as pessoas que vivem nas regiões rurais de um país	World Development Indicators	
Componente de sensibilidade	Água	Taxa de retirada de água doce	Retirada de água doce como % do total de recursos hídricos renováveis reais. A proporção do total de recursos hídricos renováveis reais (incluindo água dessalinizada) que é retirada em um ano específico	AQUASTAT
		Relação de dependência da água	A proporção do total dos recursos hídricos renováveis originados fora do país, incluindo as águas superficiais e subterrâneas que entram no país ou garantidos por tratados.	AQUASTAT

Saúde	População de favelas	População de favelas como porcentagem da população urbana, porcentagem. Neste caso, residências em favelas são definidas como um grupo de indivíduos que vivem sob o mesmo teto sem uma ou mais instalações de apoio à vida: acesso a água melhorada, acesso a saneamento melhorado, área suficiente de vida, ou durabilidade da habitação.	MDG Indicators
	Dependência de recursos externos para serviços de saúde	Recursos externos para a saúde (% do gasto total com saúde). A porcentagem de recursos externos (por exemplo, pagamentos bilaterais, operações de ONGs, etc.) no total das despesas nacionais com saúde.	World Development Indicators
Serviços de Ecossistema	Dependência do capital natural	Relação do capital natural sobre a riqueza total de um país. O indicador é a relação do capital natural sobre a riqueza total de um país. Este indicador da força da dependência dos sistemas sociais em bens e serviços ecossistêmicos é baseado na utilização do capital natural na contabilidade nacional, incluindo a renda nacional e a poupança na forma de todos os bens e bens de capital que são insumos para o bem-estar econômico.	The Changing Wealth of Nations: Measuring Sustainable Development in the New Millennium. World Bank 2011
	Pegada Ecológica	A pegada ecológica estima o número de hectares de terra e água, tanto dentro como fora do país, que são necessários para atender à demanda média de serviços ecossistêmicos pelo estilo de vida da população. Isto é comparado com a capacidade estimada dos ecossistemas de um país para regenerar e manter serviços ecossistêmicos para uso interno ou exportação. Este indicador utiliza o excedente ou déficit de capacidade para cobrir a demanda dentro de cada país.	National Footprint Accounts 2010 edition
Habitat humano	Concentração urbana	A concentração urbana mede tanto a concentração da população de um país dentro das cidades (ou seja, o grau de urbanização em geral) quanto a concentração da população urbana dentro de um pequeno número de grandes centros populacionais (cidades de 750.000 habitantes ou mais) através do Índice Herfindahl.	UN Urbanization Prospects: the 2011 revision World Development Indicators
	Relação de dependência de idade	Tamanho da população vulnerável em termos de idade. Este indicador considera a população com menos de 14 ou acima de 65 anos como o grupo vulnerável.	World Development Indicators

<b>Componente de capacidade adaptativa</b>	Infraestrutura	Dependência de energia importada	Importações de energia, líquidas (% do uso de energia). Uma medida da porcentagem do uso total de energia que é importada e, portanto, não está totalmente sob o controle de um país. O uso de energia refere-se ao uso de energia primária antes da transformação para outros combustíveis de uso final, de acordo com o WDI, igual à produção indígena mais importações e mudanças de estoque, menos exportações e combustíveis fornecidos a navios e aeronaves envolvidas no transporte internacional.	World Development Indicators
		População que vive abaixo de 5m acima do nível do mar	População que vive em áreas onde a elevação é inferior a 5 metros (% da população total). A proporção da população que vive na área onde a elevação é de 5 m ou menos. É uma medida simples da população sensível aos riscos costeiros.	World Development Indicators
	Alimentos	Capacidade agrícola (Fertilizante, Irrigação, Pesticida, Uso de trator)	Combinação de quatro indicadores de tecnologia agrícola: capacidade de equipar áreas agrícolas com irrigação, N+P205 uso total de fertilizantes em terras aráveis e uso permanente da área de cultivo, uso de pesticidas e uso de tratores.	FAOSTAT World Development Indicators
		Desnutrição infantil	Prevalência de desperdício (% de crianças menores de 5 anos). Uma medida de desnutrição baseada na precariedade de menores de 5 anos com uma baixa relação peso/altura; geralmente tomada como um bom indicador de desnutrição crônica desnutrição.	World Development Indicators
	Água	Acesso à água potável confiável	Fonte de água melhorada (% da população com acesso). As fontes de água potável são consideradas confiáveis se tiverem uma conexão doméstica, furo público, furo de sondagem, poço ou fonte protegida ou coleta de água da chuva.	World Development Indicators
		Capacidade da barragem	Capacidade per capita da barragem. Uma medida da capacidade de armazenamento per capita dentro de um país, calculada pela capacidade teórica inicial per capita de todas as barragens, que não permitir mudanças ao longo do tempo devido ao assoreamento.	AQUASTAT
	Saúde	Pessoal médico (médicos, enfermeiras e parteiras)	Soma do número de médicos, enfermeiras e parteiras por 1000 habitantes no país. O aumento de médicos, enfermeiras ou parteiras terá o mesmo efeito sobre o indicador.	World Development Indicators

	Acesso a instalações sanitárias melhoradas	Melhoria das instalações sanitárias (% da população com acesso). Indicador comumente utilizado da capacidade de controle de doenças infecciosas. O indicador é uma proporção da população com acesso a instalações de eliminação de excreta que pode efetivamente prevenir o contato humano, animal e de insetos com diversas doenças.	World Development Indicators
Serviços de Ecossistema	Biomass protegidos	Extraído do Índice de Desempenho Ambiental de Yale ( <i>Environmental Performance Index</i> - EPI), o indicador avalia a proteção dos biomas ponderada pela proporção do território de um país que o bioma ocupa.	Terrestrial Protected Areas (National Biome Weights), 2014 Environmental Performance Index
	Envolvimento em convenções ambientais internacionais	Um indicador baseado na participação do país em fóruns internacionais, que é um indicador de sua capacidade de se engajar em negociações multilaterais e de chegar a um acordo sobre ações apropriadas internamente.	Environmental Treaties and Resource Indicators
Habitat humano	Qualidade do comércio e da infraestrutura relacionada ao transporte	Qualidade do comércio e da infra-estrutura relacionada ao transporte. A percepção dos profissionais de logística da qualidade do país em relação à infra-estrutura relacionada ao comércio e ao transporte (por exemplo, portos, ferrovias, estradas, tecnologia da informação), em uma classificação que varia de 1 (muito baixa) a 5 (muito alta). As pontuações são médias entre todos os entrevistados.	World Development Indicators
	Estradas pavimentadas	Estradas pavimentadas (% do total de estradas). Proporção do comprimento total das estradas que são pavimentadas. As estradas pavimentadas são aquelas concluídas com pedra britada macadamizada, betume ou equivalente, concreto ou pedras de calçada e expressas como uma porcentagem do comprimento declarado do sistema viário público.	World Development Indicators
Infraestrutura	Acesso à eletricidade	Acesso à eletricidade (% da população). A proporção da população com acesso à energia da rede	World Development Indicators
	Preparação para desastres	Indicação de capacidades para lidar com desastres naturais relacionados ao clima. A resiliência da infra-estrutura depende da capacidade de responder a desastres naturais	Hyogo Framework Action (HFA)

Fonte: (GLOBAL ADAPTATION INDEX, 2015)

## A.2.2 – Indicadores de Prontidão para Adaptação do ND-GAIN

<i>Indicadores</i>		<i>Fonte</i>
<b>Prontidão Econômica</b>	<i>World Bank Doing Business</i>	Indica como os países são capazes de atrair investimentos de adaptação. O índice avalia o clima de investimento em 10 tópicos usando 40 indicadores. Os 10 tópicos são: iniciar um negócio, lidar com licenças de construção, obter eletricidade, registrar propriedades, obter crédito, proteger investidores, pagar impostos, negociar além das fronteiras, execução de contratos e resolução de insolvência. World Development Indicators
<b>Prontidão de Governança</b>	Governança	Estabilidade política e não-violência Controle da corrupção Estado de Direito Qualidade regulamentar Worldwide Governance Indicators
	Desigualdade social	Participação do quintil mais pobre do país na renda nacional ou consumo MDG Indicators
<b>Prontidão Social</b>	Infraestrutura de Tecnologia da Comunicação da Informação (TCI)	Indicador composto de 4 subindicadores que consideram tanto o acesso quanto o uso da infraestrutura de TCI: assinatura de telefone celular por 100 pessoas, assinatura de telefone fixo por 100 pessoas, assinatura de banda larga fixa por 100 pessoas, e porcentagem de indivíduos que usam a Internet. ICT Development Index (IDI)
	Educação	Matrícula escolar, terciário (% bruto) World Development Indicators
	Inovação	Medida per capita das aplicações de patente dos residentes World Development Indicators

Fonte: (GLOBAL ADAPTATION INDEX, 2015)

## A.2.3 – Ranking entre países ND-GAIN e ECI (2020)

Nome	Código ISO3	ND-GAIN	ECI
1 Norway	NOR	1	32
2 Finland	FIN	2	12
3 Switzerland	CHE	3	2
4 Sweden	SWE	4	7
5 Denmark	DNK	5	23
6 Singapore	SGP	6	5
7 Austria	AUT	7	8
8 Germany	DEU	8	3
9 New Zealand	NZL	10	56
10 United Kingdom	GBR	11	9
11 Australia	AUS	13	82
12 Canada	CAN	14	39
13 Korea, Rep.	KOR	15	4
14 France	FRA	16	15
15 Netherlands	NLD	17	24
16 United States	USA	18	10
17 Japan	JPN	19	1
18 Slovenia	SVN	20	11
19 Ireland	IRL	21	17
20 Estonia	EST	22	27
21 Belgium	BEL	23	19
22 Czechia	CZE	24	6
23 Portugal	PRT	25	37
24 Spain	ESP	26	34
25 Israel	ISR	27	13
26 Lithuania	LTU	28	28
27 Poland	POL	28	26
28 Chile	CHL	30	79
29 United Arab Emirates	ARE	31	69
30 Greece	GRC	32	53
31 Italy	ITA	33	18
32 Russian Federation	RUS	33	48
33 Latvia	LVA	35	35
34 Qatar	QAT	38	63
35 Belarus	BLR	39	31
36 China	CHN	39	20
37 Kazakhstan	KAZ	39	85
38 Georgia	GEO	42	75
39 Cyprus	CYP	43	44
40 Slovak Republic	SVK	45	16
41 Mauritius	MUS	46	64
42 Turkiye	TUR	48	41
43 Malaysia	MYS	49	21

44	Hungary	HUN	50	14
45	Uruguay	URY	51	70
46	Armenia	ARM	52	71
47	Bulgaria	BGR	54	38
48	Croatia	HRV	55	30
49	North Macedonia	MKD	55	55
50	Oman	OMN	57	77
51	Costa Rica	CRI	61	50
52	Mongolia	MNG	64	109
53	Bahrain	BHR	65	47
54	Morocco	MAR	66	88
55	Tunisia	TUN	67	52
56	Thailand	THA	68	25
57	Kyrgyz Republic	KGZ	69	68
58	Ukraine	UKR	69	46
59	Jordan	JOR	73	65
60	Romania	ROU	74	22
61	Serbia	SRB	75	42
62	Moldova	MDA	76	66
63	Azerbaijan	AZE	77	119
64	Iran	IRN	78	83
65	Albania	ALB	79	78
66	Bosnia and Herzegovina	BIH	80	43
67	Panama	PAN	81	40
68	Uzbekistan	UZB	83	80
69	Jamaica	JAM	84	76
70	Argentina	ARG	85	72
71	Peru	PER	86	95
72	Botswana	BWA	89	101
73	Trinidad and Tobago	TTO	90	54
74	Brazil	BRA	91	59
75	Colombia	COL	91	57
76	Paraguay	PRY	93	84
77	Mexico	MEX	95	29
78	South Africa	ZAF	96	60
79	Vietnam	VNM	97	61
80	Algeria	DZA	99	110
81	Indonesia	IDN	100	73
82	Dominican Republic	DOM	101	58
83	Tajikistan	TJK	103	97
84	Sri Lanka	LKA	104	86
85	Egypt	EGY	107	74
86	Namibia	NAM	107	94
87	El Salvador	SLV	107	62
88	Ecuador	ECU	110	115
89	Ghana	GHA	111	107

90	India	IND	111	45
91	Philippines	PHL	113	33
92	Gabon	GAB	115	131
93	Lebanon	LBN	117	49
94	Guatemala	GTM	119	81
95	Libya	LBY	125	113
96	Bolivia	BOL	129	100
97	Togo	TGO	129	96
98	Nicaragua	NIC	132	103
99	Turkmenistan	TKM	132	105
100	Honduras	HND	136	91
101	Lao PDR	LAO	137	98
102	Venezuela	VEN	138	114
103	Zambia	ZMB	138	104
104	Cote d'Ivoire	CIV	141	122
105	Mauritania	MRT	143	125
106	Tanzania	TZA	145	111
107	Cameroon	CMR	146	124
108	Guinea	GIN	146	133
109	Pakistan	PAK	146	89
110	Kenya	KEN	149	87
111	Cambodia	KHM	149	92
112	Angola	AGO	154	132
113	Mozambique	MOZ	156	116
114	Nigeria	NGA	158	130
115	Papua New Guinea	PNG	160	126
116	Burkina Faso	BFA	161	99
117	Ethiopia	ETH	161	106
118	Malawi	MWI	163	117
119	Bangladesh	BGD	164	102
120	Uganda	UGA	166	90
121	Madagascar	MDG	167	121
122	Mali	MLI	170	123
123	Yemen	YEM	171	118
124	Liberia	LBR	173	129
125	Zimbabwe	ZWE	174	112

Fonte: Atlas of Economic Complexity e ND GAIN (2022).

### A.3 – Métodos de Estimação

#### A.3.1 – Mínimos quadrados ordinários (MQO)

O método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) é uma técnica fundamental na estatística e na econometria para a estimação dos parâmetros de um modelo de regressão linear. Este método é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e eficácia, assumindo que certas condições são atendidas (WOOLDRIDGE, 1996).

A ideia principal do MQO é minimizar a soma dos quadrados dos resíduos, que são as diferenças entre os valores observados e os valores previstos pelo modelo. Matematicamente, a fórmula para os estimadores dos parâmetros do MQO é dada por:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$$

onde  $\hat{\beta}$  é o vetor de estimativas dos coeficientes,  $X$  é a matriz de observações das variáveis independentes, e  $y$  é o vetor de observações da variável dependente. Este método assume que os erros  $\epsilon$  têm média zero, variância constante ( $\sigma^2$ ) e são não correlacionados entre si, ou seja,  $\epsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$  (WOOLDRIDGE, 1996).

Uma das principais vantagens do MQO é que ele produz estimadores lineares não viesados mais eficientes (conhecidos pela sigla BLUE - *Best Linear Unbiased Estimator*) quando as suposições do modelo clássico de regressão linear são satisfeitas. Entre as propriedades principais dos estimadores MQO estão: não viesados, eficiência e consistência. Especificamente, os estimadores são não viesados, o que significa que  $E\hat{\beta} = \beta$ ; são eficientes, possuindo a menor variância entre os estimadores não viesados; e são consistentes, com  $\hat{\beta}$  convergindo para o verdadeiro valor  $\beta$  à medida que o tamanho da amostra cresce (WOOLDRIDGE, 1996).

No entanto, a aplicação do MQO é limitada em presença de heterocedasticidade, autocorrelação ou multicolinearidade severa, pois estas condições podem invalidar as propriedades ótimas dos estimadores MQO. Para resolver essas limitações, métodos alternativos, como o *Feasible Generalized Least Squares* (FGLS) e a *Generalized Method of Moments* (GMM), são frequentemente utilizados.

#### A.3.2 – Estimador de Efeitos Fixos (EF)

O Estimador de Efeitos Fixos (EF) é usado em modelos de dados em painel para controlar por variáveis não observadas que são constantes ao longo do tempo, mas que podem variar entre os indivíduos. O modelo EF assume que essas características não observadas são correlacionadas com as variáveis independentes. A fórmula para o estimador de efeitos fixos é:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + u_{it}$$

onde  $y_{it}$  é o valor da variável dependente para o indivíduo  $i$  no período  $t$ .  $\alpha_i$  é o efeito fixo específico do indivíduo  $i$ .  $X_{it}$  é o vetor de variáveis independentes.  $u_{it}$  é o termo de erro (MUNDLAK, 1978).

### A.3.3 - System Generalized Method of Moments Estimator (SYS-GMM)

O Estimador de Método Generalizado dos Momentos Sistêmico (SYS-GMM) é uma técnica avançada de estimação utilizada para modelos dinâmicos de dados em painel, especialmente quando há preocupação com a endogeneidade das variáveis explicativas. Este método foi desenvolvido por Richard Blundell e Stephen Bond e é amplamente reconhecido por sua capacidade de tratar a endogeneidade de forma robusta e melhorar a eficiência das estimativas em comparação com métodos tradicionais, como o *Difference* GMM (DIF-GMM) (BLUNDELL; BOND, 1998)

No contexto de dados em painel, a endogeneidade surge frequentemente devido à presença de variáveis explicativas que estão correlacionadas com os erros passados e presentes. O SYS-GMM aborda este problema utilizando um conjunto mais amplo de instrumentos, combinando as equações em diferenças e em níveis (ARELLANO; BOVER, 1995). Esta combinação permite utilizar tanto as diferenças passadas das variáveis endógenas quanto seus níveis passados como instrumentos, aumentando assim a eficiência das estimativas.

Matematicamente, o SYS-GMM pode ser representado pela seguinte equação:

$$\hat{\beta}_{SYS\_GMM} = \left( \sum_{i=1}^N Z_i' \hat{\Omega}^{-1} Z_i \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^N Z_i' \hat{\Omega}^{-1} y_i \right)$$

onde  $Z_i$  é a matriz de instrumentos e  $\hat{\Omega}$  é a matriz de variância-covariância dos erros (BOND, 2002). Esta abordagem de dois estágios utiliza inicialmente o Método dos Momentos Generalizados (GMM) para estimar os parâmetros do modelo em diferenças, e depois aplica o mesmo procedimento para as equações em níveis, combinando os resultados para obter estimativas mais robustas.

Uma das principais vantagens do SYS-GMM é sua capacidade de lidar eficientemente com a endogeneidade. Ao utilizar variáveis internas como instrumentos, o método corrige vieses que surgem quando as variáveis explicativas estão correlacionadas com o termo de erro (BLUNDELL; BOND, 1998). Além disso, a combinação de equações em diferenças e em níveis

aumenta a eficiência das estimativas, especialmente em situações em que as variáveis apresentam alta persistência ao longo do tempo.

Outra vantagem significativa do SYS-GMM é a flexibilidade do método, que permite sua aplicação em uma ampla gama de modelos dinâmicos de dados em painel (ARELLANO; BOVER, 1995). Esta técnica é particularmente útil em estudos econômicos e financeiros, onde a endogeneidade é uma preocupação constante. Por exemplo, em análises de crescimento econômico, as variáveis como investimento e consumo são frequentemente endógenas, e o SYS-GMM oferece uma solução robusta para esse problema (WOOLDRIDGE, 1996).

No entanto, o SYS-GMM também apresenta algumas desvantagens. Primeiramente, é uma técnica computacionalmente intensiva, exigindo cálculos complexos e tempo significativo de processamento, especialmente com grandes conjuntos de dados (BOND, 2002). Além disso, a utilização de muitos instrumentos pode resultar em problemas de sobreidentificação, onde os instrumentos não são suficientemente informativos, comprometendo a validade das estimativas. Para garantir a validade dos instrumentos, é necessário realizar testes de sobreidentificação, como o teste de Hansen, que adicionam uma camada adicional de complexidade ao processo de estimação.

Outra desvantagem é que os resultados do SYS-GMM dependem fortemente da validade das suposições sobre a estrutura dos erros e instrumentos. Se essas suposições forem violadas, as estimativas podem ser viesadas e inconsistentes (BLUNDELL; BOND, 1998). Por isso, é crucial que os pesquisadores realizem diagnósticos rigorosos para validar os instrumentos e as suposições subjacentes ao modelo.

Aplicações práticas do SYS-GMM incluem estudos empíricos sobre crescimento econômico, onde é comum encontrar variáveis explicativas endógenas. Por exemplo, Blundell e Bond (1998) aplicaram o SYS-GMM para analisar os determinantes do crescimento econômico, demonstrando a eficácia do método em lidar com a endogeneidade e melhorar a precisão das estimativas. Estudos subsequentes, como os de Arellano e Bover (1995) e Bond (2002), expandiram a aplicação do SYS-GMM em diversos contextos empíricos, reforçando sua utilidade e robustez.

#### A.3.4 - *Feasible Generalized Least Squares* (FGLS)

O método *Feasible Generalized Least Squares* (FGLS) é uma extensão do MQO, projetada para lidar com problemas de heterocedasticidade e autocorrelação nos resíduos. Enquanto o MQO assume que os erros são homocedásticos e não correlacionados, o FGLS relaxa essas suposições, ajustando os estimadores de forma a obter estimativas mais eficientes.

O estimador FGLS é dado pela fórmula:

$$\hat{\beta}_{FGLS} = (X' \hat{\Omega}^{-1} X)^{-1} X' \hat{\Omega}^{-1} y$$

em que  $\hat{\Omega}$  é a matriz de covariância dos erros estimada. O processo envolve duas etapas principais: primeiro, estima-se os parâmetros do modelo usando MQO; em seguida, usa-se os resíduos dessa primeira etapa para estimar  $\Omega$  e recalculam os parâmetros usando FGLS.

O FGLS produz estimativas mais eficientes do que o MQO na presença de heterocedasticidade ou autocorrelação. Essa técnica é amplamente aplicada em econometria e finanças, onde tais problemas são comuns (AITKEN, 1936; WOOLDRIDGE, 1996)

#### A.3.5 - Efeito Fixo com a abordagem de erros padrão Driscoll e Kraay (DK)

A abordagem de Driscoll e Kraay (DK) ajusta os erros padrão em modelos de dados em painel, lidando com dependência temporal e seccional. Esta técnica é particularmente útil para amostras longas no tempo, onde a dependência entre observações pode distorcer as inferências estatísticas se não for tratada adequadamente.

A fórmula para os erros padrão ajustados de Driscoll e Kraay é dada por:

$$\hat{\Sigma}_{DK} = \sum_{t=1}^T \hat{u}_t \hat{u}_t' + \sum_{l=1}^L \left(1 - \frac{l}{L+1}\right) \left( \sum_{t=l+1}^T (\hat{u}_t \hat{u}_{t-l}' + \hat{u}_{t-l} \hat{u}_t') \right)$$

onde  $\hat{u}_t$  é o vetor de resíduos no tempo  $t$ .

Os erros padrão de Driscoll e Kraay são consistentes em presença de dependência temporal e seccional, tornando-os adequados para modelos de dados em painel com grande número de períodos. Esta abordagem é frequentemente usada em econometria aplicada para garantir inferências robustas.

#### A.3.6 – Diferentes especificações dos Modelos SUR Espacial

- Modelo SUR sem efeitos espaciais

$$y_{tg} = \beta_g X_{tg} + u_{tg}$$

- Modelo SUR com defasagens espaciais dos regressores

$$y_{tg} = \beta_g X_{tg} + W X_{tg} \theta_g + u_{tg}$$

- Modelo SUR com defasagens espaciais

$$y_{tg} = \rho W y_{tg} + \beta_g X_{tg} + u_{tg}$$

- Modelo SUR com erros espaciais

$$y_{tg} = \beta_g X_{tg} + u_{tg}$$

$$u_{tg} = \lambda_g W u_{tg} + \varepsilon_{tg}$$

- Modelo SUR com defasagens espaciais da variável endógena e dos regressores ou modelo Spatial Durbin

$$y_{tg} = \rho W y_{tg} + \beta_g X_{tg} + W X_{tg} \theta_g + u_{tg}$$

- Modelo SUR com erros espaciais e defasagens espaciais da variável endógena e dos regressores

$$y_{tg} = \beta_g X_{tg} + W X_{tg} \theta_g + u_{tg}$$

$$u_{tg} = \lambda_g W u_{tg} + \varepsilon_{tg}$$

- Modelo de defasagem espacial com erros espaciais

$$y_{tg} = \rho W y_{tg} + \beta_g X_{tg} + u_{tg}$$

$$u_{tg} = \lambda_g W u_{tg} + \varepsilon_{tg}$$

- Modelo SUR com defasagens espaciais das variáveis explicadas, regressores e erros espaciais

$$y_{tg} = \rho W y_{tg} + \beta_g X_{tg} + W X_{tg} \theta_g + u_{tg}$$

$$u_{tg} = \lambda_g W u_{tg} + \varepsilon_{tg}$$

onde  $g$ -ésima equação no período  $t$ . Assim,  $y_{tg}$  é o vetor de respostas (variáveis dependentes),  $X_{tg}$  é a matriz de variáveis explicativas (independentes),  $\beta_g$  é o vetor de coeficientes e  $u_i$  é o vetor de resíduos. Nos resíduos  $\lambda_g$  é o parâmetro de autocorrelação espacial para a  $g$ -ésima equação,  $W$  é a matriz de pesos espaciais que define a estrutura de vizinhança entre as observações e  $\varepsilon_{tg}$  é o termo de erro aleatório não correlacionado espacialmente. A matriz de pesos espaciais  $W$  é crucial, pois ela define como as observações estão conectadas espacialmente, influenciando os resíduos. Os termos de erro  $\varepsilon_{tg}$  são correlacionados temporalmente, ou seja, existe uma covariância constante entre erros para diferentes períodos para a mesma unidade espacial. Essa formulação permite capturar tanto a correlação entre os resíduos das diferentes equações quanto a dependência espacial dentro dos resíduos de cada equação (ANSELIN, 2013; BALTAGI; BALTAGI, 2008; LESAGE; PACE, 2009).

#### A.4– Resultados dos modelos OLS, FGLS, FE e DK para amostra de 118 países

	OLS	FGLS	FE	DK
<i>Lag lnNDGAIN</i>	0.992*** (0.00364)	0.997*** (0.00214)	0.900*** (0.00861)	0.900*** (0.0428)
<i>lnECI</i>	0.115 (0.0881)	0.0219 (0.0503)	0.0899 (0.173)	0.0899 (0.200)
<i>lndesemp</i>	0.0000797 (0.000386)	-0.000220 (0.000289)	-0.00259** (0.00113)	-0.00259 (0.00167)
<i>lnfin</i>	-0.000136 (0.000248)	-0.0000644 (0.000173)	-0.000199 (0.000419)	-0.000199 (0.000422)
<i>lnmanuf_x</i>	0.0000579 (0.000443)	0.000259 (0.000319)	-0.00173* (0.000934)	-0.00173** (0.000732)
<i>lnfem_hiv</i>	-0.00203*** (0.000667)	-0.00118** (0.000486)	-0.00252 (0.00283)	-0.00252 (0.00483)
<i>lndens_pop</i>	-0.000176 (0.000274)	-0.000106 (0.000191)	0.00957*** (0.00341)	0.00957* (0.00529)
Constante	-0.490 (0.392)	-0.0819 (0.225)	-0.0421 (0.792)	-0.0421 (1.011)
Nº Observações	2409	2409	2409	2409
Nº Grupos	118	118	118	118
R <sup>2</sup>		0.842		

Nível de significância \*\*\* p <0,01, \*\* p <0,05 e \* p <0,1.

### A.5 – Efeitos Marginais do modelo SUR Espacial

LeSage e Pace (2009) adaptam a noção clássica de multiplicador econômico para medir o impacto espacial de uma mudança unitária no valor de um regressor sobre a variável explicada. Devido à estrutura espacial do modelo, os impactos dessa mudança não são uniformes no espaço; em vez disso, a reação da variável explicada depende de sua localização relativa ao ponto de intervenção. Para simplificar a análise dos impactos espaciais, LeSage e Pace propõem o cálculo de multiplicadores agregados para cada regressor. Isso envolve calcular a média dos impactos  $N^2$  que resultam da intervenção do valor de cada regressor em cada um dos  $N$  pontos do espaço sobre a variável explicada, também medida em cada um dos  $N$  pontos. Essa média agregada é chamada de "Efeito Total".

No pacote estatístico do software R utilizado no teste empírico deste capítulo, o *spsur*, Mínguez, López e Mur (2022) utilizam a notação clássica de LeSage e Pace (2009), para obter os impactos dos regressores, do  $t$ -ésimo período de um modelo SUR-SLM:

$$y_t = \begin{bmatrix} y_{t1} \\ y_{t2} \\ \dots \\ y_{tN} \end{bmatrix} = \sum_{h=1}^p \begin{bmatrix} S_t^h W_{11} & S_t^h W_{12} & \dots & S_t^h W_{1N} \\ S_t^h W_{21} & S_t^h W_{22} & \dots & S_t^h W_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_t^h W_{N1} & S_t^h W_{N2} & \dots & S_t^h W_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{th1} \\ x_{th2} \\ \dots \\ x_{thN} \end{bmatrix} + A^{-1} \begin{bmatrix} u_{t1} \\ u_{t2} \\ \dots \\ u_{tN} \end{bmatrix} \quad (\text{A.6.1})$$

Na equação (A.6.1) assume-se que cada equação tem o mesmo  $p$  regressor.  $S_t^h W_{ij}$  é (ij) elemento da matriz  $N \times N$ .  $S_t^h(W)$  é obtido como  $S_t^h(W) = \beta_h A_t^{-1}$ , em que  $\beta_h$  é o  $h$ -ésimo parâmetro  $\beta$ , e  $x_{thn}$  refere-se ao regressor  $h$  no período  $t$  na região  $n$ , enquanto  $y_m$  é o valor observado da variável explicada no período  $t$  e região  $n$ . Note que, a menos que haja alterações nos parâmetros  $\beta$  ou nas matrizes de ponderação  $W$ , as matrizes multiplicadoras  $S_t^h(W)$  permanecem constantes ao longo do tempo.

A expressão (A.6.1) é crucial porque permite mapear a cadeia de efeitos de *feedback* inerentes à especificação. Por exemplo, o impacto de uma mudança marginal no regressor  $h$  ( $h = 1, \dots, p$ ) na região  $n$  na variável explicada localizada na região  $s$  é o elemento  $(n, s)$  desta matriz,

$$\frac{\partial y_{ts}}{\partial x_{thn}} = S_t^h W_{ns}$$

A literatura aplicada distingue três tipos de impactos: O chamado impacto direto, onde todas as alterações ocorrem na mesma região e coincidem com a média dos termos na diagonal

principal da matriz multiplicadora de (4.6), impacto indireto que mede o efeito transbordamento, avaliados como a média dos termos fora da diagonal de  $S_t^h(W)$ , e o impacto total, como a soma dos dois efeitos.