

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Mestrado em Ciências Ambientais

Dissertação



**Adaptação Climática e Sustentabilidade: Um Olhar sobre as
Interconexões entre Governança, Inovação e Desenvolvimento Global**

Ianuska Ramos Oliveira

Pelotas, 2024.

Ianuska Ramos Oliveira

Adaptação Climática e Sustentabilidade: Um Olhar sobre as Interconexões
entre Governança, Inovação e Desenvolvimento Global

Dissertação de mestrado, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais

Orientador: Prof.º Dr.º Everton Anger Cavalheiro

Pelotas, 2024.

Ianuska Ramos Oliveira

Adaptação Climática e Sustentabilidade: Um Olhar sobre as Interconexões entre Governança, Inovação e Desenvolvimento Global

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pelo Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 13 de Dezembro de 2024.

Às 14 h.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Everton Anger Cavalheiro (Orientador)

Doutor em Administração pela Universidade Federal de Santa Maria .

Prof.^a Dr.^a. Diuliana Leandro (Titular)

Doutora em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná.

Prof. Dr. Leonardo Betemps Kontz (Externo)

Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa (Suplente)

Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pelotas (examinador suplente)

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

O48a Oliveira, Ianuska Ramos

Adaptação climática e sustentabilidade [recurso eletrônico] : um olhar sobre as interconexões entre governança, inovação e desenvolvimento global / Ianuska Ramos Oliveira ; Everton Anger Cavalheiro, orientador. — Pelotas, 2024.

161 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Resiliência. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Gestão pública. 4. D363.7 desigualdade social. 5. ODS. I. Cavalheiro, Everton Anger, orient. II. Título.

CDD 363.7

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação foi um processo desafiador, mas enriquecedor, e não teria sido possível sem o apoio e colaboração de diversas pessoas e instituições. Gostaria de expressar minha imensa gratidão a todos que foram parte fundamental na realização desta dissertação, especialmente nos momentos desafiadores que vivi ao longo dessa jornada.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Everton Cavalheiro, pela orientação, pelo apoio e compartilhamento acadêmico e pela confiança depositada em mim. Seu direcionamento foi essencial para que eu pudesse avançar com a pesquisa, mesmo diante das adversidades.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, a Prof^a Diuliana Leandro e o Prof^o Leonardo Kontz, cujas sugestões construtivas aprimoraram significativamente a qualidade deste estudo. Suas observações me desafiaram a aprofundar minhas ideias, suas contribuições acadêmicas e pessoais - “pensa no salário” - foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, para seguir em frente, mesmo quando as dificuldades pareciam insuperáveis.

Agradeço ao meu filho Bento pelos dias de paciência (mas não muita) nos momentos de “não podemos sair, a mãe precisa estudar”. Filho, a mãe te ama muito, o que fiz, fiz por nós, para o nosso melhor. Agradeço aos meus pais, Nilza e Edgar, que foram minha rede de apoio, cuidando do meu filho nos momentos em que precisei me dedicar ao trabalho e aos estudos acadêmicos. Sem a ajuda deles, teria sido impossível conciliar as exigências do mestrado com as responsabilidades de ser mãe solo. Seu amor e dedicação foram fundamentais nesse período levemente conturbado. Agradecer aos meus irmãos Iria, Gregory e Esther pelas trocas, apoio e auxílio nos “detalhes acadêmicos”, AMO VOCÊS.

Também quero agradecer as minhas amigas e amigos pelas risadas que me ajudaram a desopilar nos momentos de tensão, as escutas e as cervejas nos momentos de exaustão. Vocês também fazem parte da minha jornada.

Graças a minha determinação e ao apoio de todos ao meu redor, consegui superar, a trancos e barrancos, cada desafio. Agradeço a todos que, com gestos de carinho, apoio e compreensão, de alguma forma, me ajudaram a seguir firme nesse processo. Meu mais sincero agradecimento a cada um de vocês.

Resumo

Esta dissertação explora as interconexões entre vulnerabilidade climática, desigualdade social, inovação tecnológica, desenvolvimento econômico e governança pública, utilizando metodologias econométricas para avaliar dados de uma amostra global de países. O primeiro artigo analisa a relação entre desigualdade social, medida pelo índice de Gini, e vulnerabilidade climática, representada pelo índice ND-GAIN e seus subcomponentes. Os resultados indicam que, embora a relação agregada entre desigualdade e vulnerabilidade não seja significativa, aspectos específicos como segurança hídrica e alimentar desempenham papéis determinantes na redução da desigualdade em médio prazo, enquanto infraestrutura e saúde revelam impactos significativos no longo prazo. Isso reforça a necessidade de políticas públicas focadas em setores críticos para melhorar a capacidade adaptativa das populações mais vulneráveis. No segundo artigo, o foco recai sobre as dinâmicas entre inovação tecnológica, PIB per capita e vulnerabilidade climática. Utilizando modelos não lineares, os resultados evidenciam uma relação em formato de "N" entre desenvolvimento econômico e capacidade para adaptação às mudanças climáticas e "N" invertido entre inovação e vulnerabilidade climática. Esses achados destacam a importância de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), principalmente em economias emergentes, para mitigar os impactos climáticos. O terceiro artigo propõe um modelo estrutural explicativo baseado no tripé da sustentabilidade — econômico, social e ambiental — integrando governança pública e desenvolvimento econômico com a capacidade de adaptação às mudanças climáticas e à performance ambiental dos países. A análise revelou que a interação entre governança eficiente, crescimento econômico e social é essencial para fortalecer a resiliência climática e desempenh ambiental. A governança mostrou-se fundamental para potencializar os efeitos positivos do crescimento econômico e minimizar as desigualdades que agravam a vulnerabilidade climática. Em conjunto, os resultados dos três artigos demonstram que as interconexões entre vulnerabilidade climática, desigualdade social, inovação, governança pública e desenvolvimento econômico são complexas. A pesquisa enfatiza que estratégias adaptativas eficazes devem considerar as particularidades de cada país e integrar inovação tecnológica com políticas inclusivas e sustentáveis, oferecendo subsídios práticos para a formulação de políticas públicas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Palavras Chave: Resiliencia, Desenvolvimento sustentavel, gestão publica , desigualdade social, ODS

Abstract

This dissertation explores the interconnections between climate vulnerability, social inequality, technological innovation, economic development, and public governance, using econometric methodologies to analyze data from a global sample of countries. The first article examines the relationship between social inequality, measured by the Gini index, and climate vulnerability, represented by the ND-GAIN index and its subcomponents. The results indicate that while the aggregate relationship between inequality and vulnerability is not significant, specific aspects such as water and food security play decisive roles in reducing inequality in the medium term, while infrastructure and health have significant impacts in the long term. This underscores the need for public policies focused on critical sectors to improve the adaptive capacity of the most vulnerable populations. The second article focuses on the dynamics between technological innovation, GDP per capita, and climate vulnerability. Using nonlinear models, the findings reveal an "N-shaped" relationship between economic development and the capacity for climate change adaptation, and an "inverted N" relationship between innovation and climate vulnerability. These findings highlight the importance of investments in research and development (R&D), especially in emerging economies, to mitigate climate impacts. The third article proposes an explanatory structural model based on the sustainability tripod — economic, social, and environmental — integrating public governance and economic development with countries' adaptive capacity to climate change and environmental performance. The analysis revealed that the interaction between efficient governance, economic growth, and social development is essential for strengthening climate resilience and environmental performance. Governance proved fundamental in amplifying the positive effects of economic growth and minimizing inequalities that exacerbate climate vulnerability. Taken together, the results of the three articles demonstrate that the interconnections between climate vulnerability, social inequality, innovation, public governance, and economic development are complex. The research emphasizes that effective adaptive strategies must consider the specificities of each country and integrate technological innovation with inclusive and sustainable policies, providing practical insights for formulating public policies aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Resilience, Sustainable development, Public administration, Social inequality, Sustainable Development Goals (SDGs)

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1- Relação de países analisados na pesquisa | 56 |
| Figura 2 - Relação dos países analisados na pesquisa | 94 |
| Figura 3 - Modelo teórico | 129 |
| Figura 4 - Relação dos países analisados na pesquisa | 133 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - evidências teóricas e empíricas da relação entre mudanças climáticas e desigualdade social..... | 46 |
| Tabela 2 - estatística descritiva das variáveis utilizadas na pesquisa | 58 |
| Tabela 3 - Teste de raiz unitário para as variáveis utilizadas na pesquisa..... | 61 |
| Tabela 4 - Teste de Cointegração de Pedroni aplicado para as variáveis: GINI, ND-GAIN, Disponibilidade hídrica, Segurança Alimentar, Saúde, Ecossistema e Infraestrutura para o período de 2012 a 2021 | 63 |
| Tabela 5 - Teste de Causalidade de Granger aplicado às variáveis relacionadas ao índice GINI e ao ND-Gain index e seus subgrupos..... | 66 |
| Tabela 6 - Mínimo, máximo, média, mediana, assimetria e curtose das variáveis utilizadas na pesquisa | 95 |
| Tabela 7- Resultados das regressões cúbica, quadrática e linear, tendo como variável dependente o logaritmo do índice de Adaptação às Mudanças Climáticas e variável independente o PIB per capita | 96 |
| Tabela 8 - Resultados da regressão cúbica, tendo como variável dependente a Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas e variáveis independentes o PIB per capita e o índice de Inovação..... | 98 |
| Tabela 9 - evidências teóricas e empíricas da relação entre a Governança Pública e o Desenvolvimento Econômico | 116 |
| Tabela 10 - evidências teóricas e empíricas da relação entre Desenvolvimento Econômico e Desenvolvimento Social | 119 |
| Tabela 11- evidências teóricas e empíricas da relação entre Desenvolvimento Econômico e Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas..... | 122 |
| Tabela 12 - Evidências teóricas e empíricas da relação entre Desenvolvimento Econômico e Performance Ambiental | 126 |
| Tabela 13 - Mínimo, máximo, média, mediana, assimetria e curtose das variáveis utilizadas na pesquisa | 134 |
| Tabela 14 - Valores do índice de ajuste, autores e valores de referência | 136 |
| Tabela 15 - Cargas diretas estimadas (padronizadas) do modelo | 137 |

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| ADF | <i>Augmented Dickey-Fuller</i> |
| AIC | <i>Akaike Information Criterion</i> |
| BIC | <i>Bayesian Information Criterion</i> |
| BRICS | Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul |
| CFI | <i>Comparative Fit Index</i> |
| DE | Desenvolvimento Econômico |
| DS | Desenvolvimento Social |
| EPI | <i>Environment Performance Index</i> |
| EUA | Estados Unidos da América |
| EUROSTAT | <i>Statistical Office of the European Union</i> |
| GDP | <i>Gross Domestic Product</i> |
| GFI | <i>Goodness of Fit Index</i> |
| GINI | Índice de Gini |
| HQ | <i>Hannan Quinn</i> |
| IDH | <i>Índice Desenvolvimento Humano</i> |
| IED | Investimento Estrangeiro Direto |
| IFI | <i>Incremental Fit Index</i> |
| IGI | Índice de Global de Inovação |
| ILE | Índice de Limitação Ecosistêmica |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| KMO | Kaiser-Meyer-Olkin |
| MQO | Minimo Quadrado Ordinário |
| ND-GAIN | <i>Notre Dame Global Adaptation Initiative</i> |
| OCDE | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |

| | |
|------------------|---|
| OECD | <i>Organization for Economic Co-operation and Development</i> |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| RMSEA | <i>Root Mean Square Error of Approximation</i> |
| RMSR | <i>Root Mean Square Residual</i> |
| SEM | <i>Structural Equation Modeling</i> |
| SSE _R | <i>Sum of Squares for Error in the Restricted model</i> |
| SSE _C | <i>Sum of Squares for Error in the Complete model</i> |
| TLI | <i>Tucker-Lewis Index</i> |
| UNDP | <i>United Nations Development Programme</i> |

Sumário

| | |
|--|----|
| CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 13 |
| 1. Introdução | 13 |
| 2. Objetivos | 14 |
| 2.1. Objetivo geral | 14 |
| 2.2. Objetivos específicos | 14 |
| 3. Justificativa..... | 15 |
| 4. Limitações da pesquisa..... | 17 |
| 5. Referencial teórico | 18 |
| 5.1. Objetivo do desenvolvimento sustentável (ODS)..... | 19 |
| 5.2. Adaptação as mudanças climáticas, desenvolvimento econômico e inovação | 15 |
| 5.3. Vulnerabilidade Climática..... | 17 |
| 5.4. Desigualdade Social | 18 |
| 5.5. Saúde diante as mudanças climáticas | 20 |
| 5.6. Segurança alimentar em face das mudanças climáticas | 20 |
| 5.7. Ecossistema com relação as mudanças climáticas | 21 |
| 5.8. Disponibilidade hídrica em virtude das mudanças climáticas | 23 |
| 5.9. Infraestrutura no contexto das mudanças climáticas | 24 |
| 5.10. Inovação tecnológica e desenvolvimento econômico | 25 |
| 6. Metodologia..... | 26 |
| 6.1. Coleta de Dados | 28 |
| 6.2. Seleção da Amostra..... | 30 |
| 6.3. Análise Estatística..... | 31 |
| CAPÍTULO 1 | 14 |
| 1. Introdução | 43 |
| 2. Referencial Teórico | 44 |
| 2.1. Mudanças climáticas..... | 44 |
| 2.2. Mudanças climáticas e desigualdade social | 45 |
| 2.3. Vulnerabilidade e Prontidão Frente às Mudanças Climáticas | 47 |

| | |
|--|-----|
| 2.4. Desigualdade e Vulnerabilidade Climática: um olhar baseado nos setores de apoio à vida | 49 |
| 3. Metodologia..... | 53 |
| 3.1. Método de raiz unitária..... | 53 |
| 3.2. Método de Cointegração em painel | 55 |
| 3.3. Método de causalidade de Granger com dados em painel | 55 |
| 4. Resultados e Discussões | 56 |
| 4.1. Estatística descritiva | 58 |
| 4.2. Teste de raiz unitária | 60 |
| 4.3. Teste de Cointegração de Pedroni | 62 |
| 4.4. Teste de causalidade de Granger | 65 |
| 5. Considerações Finais..... | 71 |
| 6. Referências..... | 72 |
| CAPÍTULO 2 | 81 |
| 1. Introdução | 83 |
| 2. Referencial teórico | 85 |
| 2.1. Mudanças climáticas e Inovação Tecnológica | 85 |
| 2.2 Mudanças Climáticas e Produto Interno Bruto (PIB)..... | 86 |
| 2.3 Interrelação entre Adaptação as Mudanças Climáticas, Inovação e Desenvolvimento Econômico | 88 |
| 3. Metodologia..... | 90 |
| 4. Resultado..... | 93 |
| 5. Considerações finais..... | 101 |
| 6. Referências..... | 103 |
| CAPÍTULO 3 | 81 |
| 1. Introdução | 112 |
| 2. Referencial teórico | 113 |
| 2.1. Interconexões entre Governança Pública, Desenvolvimento Econômico e Sustentabilidade Global | 113 |
| 2.2. Interconexões entre Governança Pública e Desenvolvimento Econômico | 115 |

| | |
|---|-----|
| 2.3. Interconexões entre Desenvolvimento Econômico e Desenvolvimento Social | 118 |
| 2.4. Interconexões entre Desenvolvimento Econômico e Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | 121 |
| 2.5. Interconexões entre Desenvolvimento Econômico e Performance Ambiental | 125 |
| 3. Metodologia | 128 |
| 4. Resultados e Discussões | 133 |
| 5. Considerações finais | 142 |
| 6. Referências | 143 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS | 150 |
| REFERÊNCIAS GERAIS | 153 |

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. Introdução

As mudanças climáticas configuram-se como um dos maiores desafios globais contemporâneos, evidenciando a necessidade de estratégias integradas que combinem ciência, inovação tecnológica e governança pública para mitigar impactos e fortalecer a resiliência socioeconômica. Eventos extremos, como inundações, secas e elevações do nível do mar, afetam de maneira desigual os países, com impactos mais severos sobre aqueles que apresentam maior vulnerabilidade climática e desigualdades estruturais (Ambrizzi et al., 2021; IPCC, 2023).

Nesse cenário, a interseção entre desigualdade social, desenvolvimento econômico e capacidade adaptativa reforça a urgência de abordagens interdisciplinares que contemplem não apenas as dimensões ambientais, mas também as sociais e econômicas. Esta temática está alinhada com a linha de pesquisa "Gestão e Avaliação de Ambientes Naturais e Antrópicos" do PPGCAmb. Essa linha acolhe estudos que buscam compreender e enfrentar os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, especialmente em cenários de mudanças climáticas. Ao investigar como a desigualdade social amplifica os efeitos climáticos adversos e como a inovação tecnológica pode mitigar esses impactos, a pesquisa contribui para as possíveis soluções.

A vulnerabilidade climática, compreendida pela exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação de países ou regiões aos impactos ambientais, é amplamente influenciada por fatores como segurança alimentar, saúde pública e infraestrutura (Namdar Karami & Keshavarz, 2021). Estudos mostram que países mais vulneráveis enfrentam obstáculos relacionados à pobreza estrutural, acesso limitado à tecnologia e governança ineficaz, o que agrava os impactos das mudanças climáticas e retarda os processos de recuperação (Chen et al., 2023). Nessas condições, a desigualdade social intensifica os riscos, especialmente para comunidades marginalizadas que residem em áreas mais suscetíveis a desastres naturais e possuem recursos limitados para mitigação (Pérez-Peña et al., 2021).

A governança pública desempenha um papel crucial neste contexto,

sendo responsável por articular políticas que promovam a equidade social, o acesso à inovação tecnológica e o fortalecimento da capacidade adaptativa. Países com estruturas de governança mais robustas tendem a implementar políticas mais eficazes, integrando o desenvolvimento econômico às estratégias climáticas e reduzindo os efeitos das desigualdades sociais (Cevik & Jalles, 2023). No entanto, a falta de coordenação entre políticas climáticas e sociais e muitos países em desenvolvimento limita o alcance das iniciativas de adaptação, destacando a necessidade de sistemas de governança mais inclusivos e resilientes (IPCC, 2023).

Paralelamente, a inovação tecnológica se apresenta como um elemento essencial na mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Soluções como tecnologias agrícolas sustentáveis, sistemas de alerta precoce e energias limpas podem transformar a forma como os países enfrentam desafios ambientais, mas sua implementação é frequentemente limitada pela desigualdade no acesso e financiamento (Ambrizzi et al., 2021). Governos têm um papel determinante em facilitar o acesso a essas inovações, especialmente em contextos onde as desigualdades econômicas restringem a adoção de soluções tecnológicas (Chen et al., 2023).

Ao alinhar-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), este estudo propõe-se a explorar as interconexões entre mudanças climáticas, desigualdade social, inovação tecnológica, desenvolvimento econômico e governança pública. A pesquisa dialoga com o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), ao propor estratégias para aumentar a resiliência dos países, e com o ODS 10 (Redução das Desigualdades), ao analisar a relação entre vulnerabilidade climática e desigualdade social. Além disso, aborda o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), destacando o papel da inovação, e os ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao propor uma integração equilibrada entre economia e sustentabilidade ambiental.

Dessa forma, o estudo oferece subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas que sejam simultaneamente inclusivas e resilientes. A problemática central levantada é: quais são as interconexões entre a adaptação às mudanças climáticas, desigualdade social, inovação tecnológica, desenvolvimento econômico e a governança pública dos países

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Investigar as interconexões entre a adaptação as mudanças climática , explorando a relação entre desigualdade social, inovação tecnológica, desenvolvimento econômico e a governança pública dos países frente às mudanças climáticas.

2.2. Objetivos específicos

- a) Analisar as relações causais entre a desigualdade social, medida pelo índice de Gini, e a vulnerabilidade climática, representada pelo índice ND-GAIN (Notre Dame - Global Adaptation Initiative).
- b) Desagregar o índice ND-GAIN em seus subcomponentes (segurança alimentar, disponibilidade hídrica, saúde, infraestrutura, ecossistema) para identificar quais setores impactam diretamente a desigualdade social em diferentes contextos.
- c) Avaliar como a inovação tecnológica pode influenciar a resiliência climática, considerando o desenvolvimento econômico e as disparidades sociais entre países.
- d) Explorar a relação entre o desenvolvimento econômico (medido pelo PIB) e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, verificando a existência de padrões não lineares.
- e) Propor um modelo estrutural que integre as dimensões econômica, social e ambiental, bem como governança pública voltadas à redução da vulnerabilidade climática e da desigualdade social.

3. Justificativa

O crescente impacto das mudanças climáticas sobre sociedades ao redor do mundo tem sido enfoque de diversos pesquisadores (Birkmann, 2022; Awuni, 2023; Bollettino, 2020; Onbargi, 2022). Fenômenos como aumento da temperatura global, eventos climáticos extremos, elevação do nível do mar, secas prolongadas e a intensificação de desastres naturais colocam em risco tanto a estabilidade ambiental quanto o desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões (Newman, 2020; Deng et al., 2024). O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (2023) destaca que a adaptação às mudanças climáticas é uma prioridade global que deve ser integrada às políticas de desenvolvimento sustentável. Para muitos países, especialmente os com menor capacidade de resposta, as consequências climáticas estão prejudicando a qualidade de vida, acentuando a desigualdade e impedindo o desenvolvimento econômico.

Nesse contexto, a proposta desse projeto justifica-se pela necessidade de explorar as interconexões entre vulnerabilidade climática e os pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental). Utilizando o índice ND-GAIN, desenvolvido pela Universidade de Notre Dame, o estudo avalia a capacidade de adaptação dos países aos desafios climáticos. O ND-GAIN é um dos índices globais mais abrangentes para medir a vulnerabilidade climática, considerando fatores como segurança alimentar, disponibilidade hídrica, saúde e infraestrutura (Halkos, 2020; Verocai, 2018; Arshed, 2023). A análise desses componentes oferece uma visão detalhada de como diferentes setores são impactados pelas mudanças climáticas e como isso pode exacerbar desigualdades sociais e econômicas..

A desigualdade social, medida pelo índice de Gini, é um tema central nesta pesquisa. O Gini, amplamente utilizado para medir a disparidade na distribuição de renda, oferece uma ferramenta clara para observar como os impactos climáticos podem afetar desproporcionalmente diferentes grupos socioeconômicos (Kopitzke, 2021 e 2023). Países e comunidades com maior desigualdade tendem a ser mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, não apenas pela falta de infraestrutura e recursos, mas também pela menor capacidade de adaptação e recuperação (Nyiwul, 2021; Liu et al., 2024). Nesse sentido, este projeto busca entender como essas duas variáveis,

desigualdade e vulnerabilidade climática, interagem para formar um ciclo que perpetua a pobreza e a instabilidade social.

Além disso, a inovação tecnológica surge como um fator crucial na discussão sobre adaptação climática e desenvolvimento sustentável (Law & Law, 2022; Ayandibu, 2024; Kraetzig, 2024). Enquanto a inovação pode aumentar a resiliência dos países, proporcionando novas soluções tecnológicas para a mitigação dos impactos climáticos, ela também pode exacerbar desigualdades se não for distribuída de maneira equitativa (Lee et al., 2022). Em economias mais desenvolvidas, onde os recursos para inovação são abundantes, a capacidade de adaptação tende a ser maior (Nyiwul, 2021). Entretanto, em países de menor desenvolvimento, a lacuna tecnológica pode se tornar mais um obstáculo, reforçando as disparidades entre nações ricas e pobres (Abdelzaher et al., 2020). Assim, investigar a relação entre inovação, crescimento econômico e adaptação às mudanças climáticas é fundamental para compreender como políticas tecnológicas podem ser implementadas de maneira inclusiva, beneficiando todos os setores da sociedade.

Ademais, o tripé da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) é um conceito amplamente aceito como base para o desenvolvimento sustentável (Kumar et al., 2024; Türkeş, 2024). No entanto, encontrar um equilíbrio entre crescimento econômico, proteção ambiental e justiça social é um desafio, pois frequentemente o crescimento econômico é priorizado em detrimento do meio ambiente e das questões sociais. Este projeto visa explorar como políticas públicas podem integrar esses três pilares de forma harmônica, garantindo que a prosperidade econômica vá acompanhada de proteção ambiental e justiça social.

A relevância prática desta pesquisa está em apoiar a formulação de políticas públicas para adaptação às mudanças climáticas e redução das desigualdades sociais. Ao analisar como países com diferentes níveis de desenvolvimento enfrentam a vulnerabilidade climática, o estudo oferece subsídios para políticas que integrem mitigação dos impactos climáticos e desenvolvimento sustentável. Políticas voltadas para gestão de recursos hídricos, segurança alimentar e infraestrutura de saúde são essenciais para enfrentar os efeitos climáticos, contribuindo para um desenvolvimento mais justo e resiliente.

4. Limitações da pesquisa

As limitações desta dissertação refletem tanto os desafios metodológicos quanto os próprios escopos dos temas abordados nos três artigos que compõem o estudo. Primeiramente, a dependência de bases de dados secundárias restringe a abrangência das análises, uma vez que a qualidade e a consistência dos dados disponíveis podem variar significativamente entre os países analisados. Essa limitação afeta, sobretudo, a mensuração precisa de variáveis relacionadas à inovação tecnológica, vulnerabilidade climática e desigualdade social. Alguns países apresentam lacunas em registros históricos ou utilizam metodologias diferentes na coleta de informações, o que pode introduzir vieses na interpretação dos resultados. Além disso, a abordagem quantitativa adotada não permite capturar aspectos qualitativos importantes, como as dinâmicas sociais e culturais que influenciam a adaptação às mudanças climáticas. Questões como governança local, participação comunitária e percepções sociais sobre desigualdades climáticas e tecnológicas foram abordadas de maneira indireta.

Outro desafio decorrente da natureza complexa das inter-relações investigadas. Embora o modelo teórico tenha sido estruturado para integrar as dimensões de vulnerabilidade climática, inovação tecnológica e desenvolvimento econômico, as variáveis mediadoras, como políticas públicas e investimentos em infraestrutura, podem ser influenciadas por fatores externos que não foram considerados no escopo deste trabalho.

Por fim, a escolha da amostra de países analisados reflete um recorte específico, que, embora abrangente e representativo em diversos aspectos, não pode ser considerado como um reflexo completo da realidade global. Cada região ou país possui características sociais, econômicas, políticas e ambientais únicas, o que significa que os resultados obtidos podem não ser diretamente aplicáveis a todos os contextos. Isso é especialmente evidente no caso dos países do Sul Global, que enfrentam desafios estruturais distintos, como desigualdades históricas, limitações financeiras e dificuldades de acesso à tecnologia, que influenciam sua capacidade de implementar políticas de adaptação climática e desenvolvimento sustentável. Portanto, ao generalizar os dados, é necessário reconhecer que este recorte geográfico não captura integralmente a complexidade e diversidade global.

5. Referencial teórico

As Mudanças Climáticas abrangem processos naturais e fatores antropogênicos (Jaramillo, 2022), refere-se a mudanças de longo prazo nos padrões climáticos, significativamente influenciadas pelas emissões de gases de efeito estufa provenientes da combustão de combustíveis fósseis, agricultura e consumo excessivo de recursos (Saouter & Gibon, 2022). As atividades humanas, especialmente a industrialização e o desmatamento, intensificaram o efeito estufa, levando ao aquecimento global e eventos climáticos extremos (Reethiga et al., 2020).

Ademais, as consequências oriundas das mudanças climáticas incluem o aumento do nível do mar, secas prolongadas e aumento da frequência de condições climáticas extremas (Panda, 2023). Além disso, afetam significativamente a saúde humana, contribuindo para a propagação de doenças infecciosas e aumentando os riscos à saúde devido às mudanças ambientais (Reethiga et al., 2020). Não somente a saúde mas também exacerba as desigualdades sociais, pois as populações vulneráveis enfrentam maiores riscos e menos recursos para se adaptar (Chen, 2023).

Ao que se refere às mudanças de longo prazo que vem sendo observadas e projetadas em diversas variáveis climáticas, estas mudanças decorrem tanto de fatores antropogênicos quanto de fatores naturais e ocasionam uma ampla variedade de efeitos em diversos aspectos dos sistemas geofísicos, naturais e humanos (Ambrizzi et al, 2021). A compreensão das alterações climáticas e dos riscos associados está melhorando por meio de pesquisas contínuas, mas ainda há a necessidade de mais estudos sobre a interconexão entre mudanças climáticas, pobreza e desigualdade (Pérez-Peña et al., 2021).

Essas mudanças têm repercussões que geram grandes impactos na sociedade, na economia e no meio ambiente. A adaptação às mudanças climáticas envolve ações para avaliar e reduzir a vulnerabilidade aos impactos climáticos (Namdar, Karami & Keshavarz, 2021), como eventos extremos, desastres naturais, elevação do nível do mar, perda de biodiversidade e insegurança alimentar e hídrica (UNDP, 2023).

A adaptação às mudanças climáticas abrange uma série de ações

destinadas a se ajustar aos impactos das mudanças climáticas para mitigar os danos e aumentar a resiliência, envolve a modificação de práticas, processos e estruturas para reduzir a vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas (Dellmuth, 2024). É reconhecido como um pilar fundamental da ação climática, juntamente com os esforços de mitigação (Orlove, 2022). A urgência da adaptação é ressaltada pelo significativo custo humano e econômico dos desastres relacionados ao clima (Dellmuth, 2024).

O Relatório Técnico da Universidade de Notre Dame destaca que países enfrentam desafios de adaptação às mudanças climáticas em diferentes graus, devido a fatores geográficos e socioeconômicos (Chen et al, 2023). Segundo autores, o Índice Nacional da Notre Dame Global Adaptation Initiative (ND-GAIN) foi criado para medir a capacidade de adaptação de cada país, demonstrando sua vulnerabilidade às perturbações climáticas através de indicadores que avaliam vulnerabilidade e prontidão desde 1995. A adaptação às mudanças climáticas envolve uma série de desafios que exigem abordagens inovadoras e contextualizadas, Owen (2020) aponta que muitas iniciativas globais de adaptação carecem de métodos abrangentes de avaliação, além de falharem em integrar justiça e equidade. Castro & Sen (2022) contribuem com uma perspectiva focada no Sul Global, destacando adaptações incrementais no cotidiano das pessoas como elementos essenciais para mitigar os impactos climáticos.

Ademais, estudos de Abbass et al. (2022) alertam para a ameaça à segurança alimentar global, exacerbada pelas mudanças climáticas, e defendem políticas governamentais mais robustas para mitigar seus impactos. Por fim, Singh et al. (2022) propõem princípios que orientam a pesquisa e as práticas de adaptação, enfatizando a importância de respostas que sejam tanto incrementais quanto transformacionais, adaptadas ao contexto específico.

Ao que se refere a pratica de adaptação , associa-se a interconexão entre mudanças climáticas e desigualdade social destacada nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especificados na proxima sessão.

5.1. Objetivo do desenvolvimento sustentável (ODS)

A mudança climática afeta desproporcionalmente os países em desenvolvimento, particularmente onde os sistemas socioeconômicos já são frágeis (Afzal et al., 2024). Populações vulneráveis enfrentam injustiças sistêmicas que impedem estratégias de adaptação eficazes, muitas vezes levando a adaptações acidentais que falham em abordar as causas raiz (Teebken, 2024; Dagnet, 2024).

Nesse contexto, através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU - Organização das Nações Unidas em 2015, representam um marco global na busca por um desenvolvimento que equilibre crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental. Com um total de 17 metas ambiciosas da tabela 1, os ODS visam erradicar a pobreza, promover a igualdade e enfrentar as mudanças climáticas, oferecem um *framework* para mitigar impactos climáticos (ONU Brasil, 2024).

Tabela 1 – Lista dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

| ODS Nº | Objetivo | Descrição |
|---------------|--|--|
| 1 | Erradicação da Pobreza | Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares. |
| 2 | Fome Zero e Agricultura Sustentável | Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. |
| 3 | Saúde e Bem-Estar | Garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades. |
| 4 | Educação de Qualidade | Assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade, promovendo oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos. |
| 5 | Igualdade de Gênero | Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas. |
| 6 | Água Potável e Saneamento | Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos. |
| 7 | Energia Limpa e Acessível | Garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos. |
| 8 | Trabalho Decente e Crescimento Econômico | Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho decente para todos. |
| 9 | Indústria, Inovação e Infraestrutura | Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação. |
| 10 | Redução das Desigualdades | Reduzir as desigualdades dentro dos países e entre eles. |
| 11 | Cidades e Comunidades Sustentáveis | Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. |
| 12 | Consumo e Produção Responsáveis | Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis. |
| 13 | Ação Contra a Mudança Global do Clima | Tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos. |
| 14 | Vida na Água | Conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável. |
| 15 | Vida Terrestre | Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e a perda de biodiversidade. |
| 16 | Paz, Justiça e Instituições Eficazes | Promover sociedades pacíficas e inclusivas, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis. |
| 17 | Parcerias e Meios de Implementação | Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável. |

Para este artigo, destacam-se os ODS 10, 11 e 13 da tabela 1, onde exibem uma relação fundamentada na interconexão entre três dimensões do desenvolvimento sustentável e na relevância de integrá-las em análises que buscam compreender os principais desafios globais. Essa escolha reflete a necessidade de abordar as desigualdades sociais como um fator-chave para a vulnerabilidade climática, a importância para a adaptação e mitigação aos impactos climáticos.

O ODS 10 foca na redução das desigualdades, visando diminuir a desigualdade dentro dos países e entre eles; promover a inclusão social, econômica e política de todas as pessoas, independentemente de idade, gênero, deficiência, raça, etnia, origem, religião ou condição econômica; garantir igualdade de oportunidades e reduzir desigualdades, eliminando leis, políticas e práticas discriminatórias; adotar políticas fiscais, salariais e de proteção social para alcançar uma maior igualdade; e melhorar a regulamentação e monitoramento dos mercados e instituições financeiras globais (Faus, 2022).

Por fim, o objetivo 10 aborda especificamente as desigualdades, destacando barreiras como disparidades econômicas, exclusão social e acesso desigual à educação e à saúde (Bhandari, 2024). Complementando a isso, visa reduzir a desigualdade dentro e entre os países, enfatiza a importância de políticas fiscais e salariais e o alinhamento das normas financeiras internacionais para criar um sistema mais equitativo (ONU Brasil, 2024).

O ODS 11 enfatiza a necessidade de desenvolvimento urbano sustentável para acomodar populações em crescimento. Ele destaca a importância de planejar e gerenciar espaços urbanos para garantir que sejam habitáveis e ecologicamente corretos (Kumar et al., 2023). A análise da implementação do ODS 11 revela que, embora muitos países tenham apresentado boas práticas, um número significativo de nações em desenvolvimento não o fez. A maioria das submissões se concentra em preocupações imediatas, em vez de sustentabilidade de longo prazo, indicando a necessidade de melhores relatórios e considerações de equidade (Nabiyeva et al., 2023).

O progresso no ODS 11 está vinculado a outros ODS, como aqueles que abordam pobreza, saúde e ação climática, mostrando a natureza integrada da Agenda 2030 (Bağ, 2024; Abidi & Jamil, 2023). Assim, ODS 11 foca na criação de cidades e comunidades sustentáveis, buscando tornar esses ambientes mais

inclusivos, seguros e resilientes. Inclui a melhoria do planejamento urbano, a gestão participativa, a proteção do patrimônio cultural e natural, e a redução dos impactos de desastres naturais, alinhando-se com as diretrizes do ODS 13 sobre mudanças climáticas.

O ODS 13 tem como objetivo combater a mudança climática e seus impactos (KÜFEOĞLU, 2022). Ele busca fortalecer a resiliência e a capacidade adaptativa frente a riscos climáticos e desastres, utilizando indicadores para monitorar mortes e afetados, além de estratégias de redução de risco (Filho, 2023). O ODS também visa integrar a mudança climática nas políticas e planejamentos nacionais, destacando a importância da Política Nacional sobre Mudança do Clima no Brasil. Outro foco é melhorar a educação e a conscientização sobre mudanças climáticas, incluindo esses temas nos currículos e no fortalecimento das capacidades institucionais (ONU Brasil, 2024).

Além de tratar diretamente da ação contra a mudança global do clima, o ODS 13 é central para a promoção de um desenvolvimento que equilibre o tripé da sustentabilidade: o social, o econômico e o ambiental, pois visa enfrentar a mudança climática e seus impactos por meio de ações que promovem a resiliência, a adaptação e a integração das questões climáticas em políticas e estratégias nacionais (Kumar et al., 2024; Türkeş, 2024).

Os ODS defendem práticas sustentáveis que protejam o planeta, enfatizando a necessidade de avanços tecnológicos e inovações políticas para enfrentar os desafios ambientais (Ruhana et al., 2024). Para orientar essas ações, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente fornece definições e diretrizes essenciais, como a capacidade adaptativa, que são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação e adaptação climática.

5.2. Adaptação as mudanças climáticas, desenvolvimento econômico e inovação

Segundo o IPCC (2023), os impactos das mudanças climáticas provocadas por atividades humanas já são evidentes em padrões e extremos climáticos ao redor do mundo. Esses eventos representam uma ameaça

desproporcional às populações mais vulneráveis, exacerbando a pobreza, a insegurança alimentar e forçando deslocamentos. Como consequência, há um aumento de perdas e danos tanto aos ecossistemas quanto às populações humanas. A última avaliação divulgada pelo IPCC, conhecida como Sexto Relatório de Avaliação (AR6), reforça essa conexão entre mudança climática e disparidades sociais, destacando que as comunidades mais pobres e suscetíveis são as mais afetadas, justamente por carecerem de recursos suficientes para se adaptar e combater os efeitos de eventos climáticos extremos.

Complementando essa análise, estudos de Jakhar et al. (2022) discutem como os impactos das mudanças climáticas abrangem tanto fatores antropogênicos quanto naturais, afetando sistemas geofísicos, naturais e humanos. Ambrizzi et al. (2021) reforçam essa visão, ao demonstrar que essas alterações têm efeitos profundos em diversos aspectos da vida humana e ambiental. A adaptação a essas mudanças é, portanto, essencial para mitigar tais efeitos, conforme argumentado por Namdar, Karami & Keshavarz (2021).

O conceito de vulnerabilidade é central para essa discussão, definido como a incapacidade de um sistema de se recuperar de desastres ou choques naturais (Lewis, 2023; Cappelli, 2023). Radoine et al. (2024) ressaltam que o estudo da vulnerabilidade é fundamental para orientar processos de tomada de decisão, com o auxílio de diversos indicadores que tornam possível uma análise mais precisa e orientada para ações de mitigação e adaptação.

Nesse contexto, Chen et al. (2023) abordam o ND-GAIN, um indicador de vulnerabilidade climática a nível global desenvolvido pela *Notre Dame Global Adaptation Initiative*. O ND-GAIN é construído de modo que valores elevados indicam uma menor vulnerabilidade climática de um país em comparação com outros com pontuações mais baixas. Segundo o relatório técnico do ND-GAIN (2023), esse índice avalia a vulnerabilidade de uma nação considerando sua exposição e sensibilidade aos impactos climáticos, além da predisposição das sociedades a serem afetadas negativamente pelos riscos ambientais.

O índice engloba seis setores-chave para a vida: segurança alimentar, disponibilidade hídrica, saúde, serviços ecossistêmicos, habitat humano e infraestruturas. Na próxima subseção, serão apresentados em detalhes os indicadores que compõem o ND-GAIN, abordando questões como exposição a

riscos, sensibilidade a impactos e estratégias de adaptação, fornecendo uma visão abrangente da resiliência climática global.

5.3. Vulnerabilidade Climática

A exposição de um país às mudanças climáticas, sua sensibilidade aos impactos dessas mudanças e a propensão ou predisposição das sociedades humanas a serem negativamente afetadas pelos riscos climáticos definem o que chamamos de vulnerabilidade (Chen et al., 2023). A vulnerabilidade está profundamente relacionada a fatores sociais, econômicos e históricos, que moldam as condições das populações frente aos riscos climáticos (Birkmann et al., 2022).

Geralmente, países com alta vulnerabilidade são aqueles com alta exposição a eventos climáticos extremos e baixa capacidade de adaptação (Saeed et al., 2023). Regiões mais vulneráveis são desproporcionalmente afetados pelos riscos climáticos, com diferenças significativas nos resultados de desastres entre países vulneráveis e menos vulneráveis, em que países com maiores níveis de vulnerabilidade experimentam impactos mais severos e perdas humanas (Birkmann et al., 2022).

Nesse contexto, a vulnerabilidade climática não pode ser analisada de maneira isolada, mas deve considerar a exposição aos riscos, a sensibilidade dos sistemas impactados e a capacidade adaptativa das comunidades. Por exemplo, Rana et al. (2023) demonstram como a pobreza multidimensional em áreas rurais do Paquistão correlaciona-se com níveis mais altos de vulnerabilidade climática, especialmente em regiões propensas a inundações.

A análise desses autores enfatiza que a pobreza exacerba a incapacidade de adaptação, criando um ciclo de impactos negativos que afetam desproporcionalmente os mais vulneráveis. De forma semelhante, Gu & Liu (2024), ao estudarem ambientes urbanos de alta densidade em Hong Kong, destacam que a vulnerabilidade está diretamente ligada às condições de infraestrutura e à capacidade de planejamento urbano, o que reforça a importância de abordagens específicas e localizadas para mitigar os riscos.

Além disso, as vulnerabilidades nem sempre são evidentes,

especialmente em contextos urbanos de alta renda, onde fatores materiais e sociais podem criar riscos ocultos (Andersen et al., 2023). Esse achado sugere a necessidade de uma análise interseccional que considere as complexidades das vulnerabilidades.

A vulnerabilidade climática também reflete a interdependência entre sistemas globais e locais, as avaliações de vulnerabilidade que integram análises específicas e regionais são fundamentais para identificar áreas de maior risco e promover estratégias de adaptação mais eficazes Ajtai et al. (2023). Ou seja, a vulnerabilidade social e ambiental não pode ser dissociada de uma abordagem que considere as necessidades e capacidades locais, promovendo a resiliência de maneira integrada.

Outro aspecto central da vulnerabilidade climática é sua conexão com desigualdades socioeconômicas, a desigualdade social influencia diretamente as respostas de adaptação às mudanças climáticas, moldando as escolhas e capacidades dos indivíduos frente aos desafios impostos por desastres climáticos (Tan et al., 2015). Isso reforça a ideia de que a vulnerabilidade climática é, muitas vezes, um reflexo das disparidades sociais preexistentes, ampliando o impacto sobre aqueles que já enfrentam condições adversas.

5.4.Desigualdade Social

Estudos revelam que altos níveis de desigualdade social dificultam iniciativas eficazes de mitigação e adaptação climática (Nyiwul, 2021; Coveri, Zanfei & Paglialunga, 2020). O impacto de fatores socioeconômicos no bem-estar subjetivo, durante a pandemia no Reino Unido, mostra que condições médicas preexistentes e ocupações menos qualificadas estavam associadas à diminuição do bem-estar (Chen & Wang, 2021). Esses achados reforçam a urgência de intervenções voltadas para grupos socioeconômicos mais baixos.

Além disso, gastos sociais podem reduzir a criminalidade e promover um crescimento econômico mais inclusivo, reafirmando a relação intrínseca entre desigualdade, pobreza e segurança (Anser et al., 2020). Isso revela como desigualdades econômicas, como por exemplo na China, impactam negativamente a saúde dos idosos, destacando que fatores como renda e residência urbana são determinantes fundamentais para essas disparidades

(Sun, Lyu & Zhao, 2020).

A desigualdade social também permeia questões relacionadas à alimentação. Alao et al. (2021) demonstraram como a desnutrição infantil e a obesidade adulta estão diretamente relacionadas à desigualdade econômica, com padrões de saúde nutricional variando entre famílias de baixa e alta renda. Da mesma forma, Prasad et al. (2021) enfatizaram o papel crítico da educação materna e das condições econômicas na redução da desnutrição infantil na Índia. No Brasil, Crepaldi et al. (2022) identificaram um aumento na desigualdade no consumo de frutas e vegetais entre 2008 e 2019, enquanto o consumo de alimentos menos saudáveis, como refrigerantes, apresentou uma redução na desigualdade, indicando a necessidade de políticas públicas que promovam maior equidade no acesso a alimentos saudáveis.

No que tange aos ecossistemas, Sun et al. (2023) destacaram como a desigualdade de renda impacta negativamente o meio ambiente, ampliando a pegada ecológica e agravando disparidades sociais. Além disso, Khan & Yahong (2022) confirmaram que a desigualdade de renda contribui para a degradação ambiental em economias asiáticas em desenvolvimento, sugerindo a necessidade de regulamentações ambientais rigorosas para alcançar a sustentabilidade. Essas evidências convergem para a ideia de que reduzir as desigualdades de renda pode promover um maior uso de energia renovável e melhorar a qualidade ambiental.

A desigualdade social também afeta o habitat e o acesso a serviços urbanos essenciais. Pistón et al. (2022) observaram que moradores de bairros com menor Índice de Desenvolvimento Social no Rio de Janeiro percebem mais benefícios ecossistêmicos das árvores urbanas, enquanto bairros mais ricos tendem a valorizar apenas os aspectos estéticos. Essa disparidade reflete um acesso desigual aos serviços ambientais. Em um contexto mais amplo, Lunke (2022) identificou que áreas de baixa renda em Oslo enfrentam maiores tempos de deslocamento e menor acessibilidade ao transporte público, revelando como a desigualdade afeta diretamente a mobilidade e a qualidade de vida.

Por fim, questões relacionadas à água e ao saneamento ilustram outra dimensão da desigualdade social, destacando como a falta de acesso à água agrava a pobreza na África Subsaariana (Nwani & Osuji, 2020). Esses estudos sublinham a urgência de integrar políticas de governança e desenvolvimento

econômico para garantir um acesso equitativo a recursos básicos. Em síntese, a literatura aponta que a desigualdade social não apenas amplia disparidades econômicas, mas também afeta a saúde, a segurança alimentar, o meio ambiente e o acesso a serviços essenciais.

5.5. Saúde diante as mudanças climáticas

As mudanças climáticas representam uma ameaça crescente à saúde pública no século XXI, influenciando tanto fatores ambientais quanto sociais. Campbell-Lendrum et al. (2023) destacam a urgência de descarbonizar as economias e aumentar a resiliência para mitigar seus impactos. Baumgart (2022) reforça essa perspectiva, alertando que a falta de adaptação dos sistemas de saúde agrava a vulnerabilidade das populações. Além disso, os efeitos na saúde mental são preocupantes, como observam Palinkas & Wong (2020), que associam desastres naturais e deslocamentos forçados ao aumento de transtornos como ansiedade e depressão. Da mesma forma, Rocque et al. (2021) sublinham a necessidade de mais pesquisas e estratégias de adaptação, enquanto Fox et al. (2019) enfatizam o papel central da saúde pública no planejamento climático e na proteção das populações vulneráveis.

No entanto, Alcayna, O'Donnell & Chandaria (2023) observam que o financiamento para adaptação climática raramente é direcionado à saúde, sugerindo maior foco em intervenções locais e melhorias no monitoramento de projetos. A vulnerabilidade climática torna-se ainda mais complexa quando fatores socioeconômicos são considerados. Em suma, esses estudos convergem para a ideia de que a vulnerabilidade climática está entrelaçada com desigualdades socioeconômicas e desafios de saúde pública.

5.6. Segurança alimentar em face das mudanças climáticas

A questão da vulnerabilidade climática e sua relação com a segurança alimentar é amplamente discutida na literatura atual, Hadida et al. (2022) revelam que na Gâmbia, a coexistência de desnutrição e sobrecarga nutricional é uma preocupação crescente. A produtividade de cultivos essenciais, como frutas, vegetais e leguminosas, pode ser reduzida pelas mudanças climáticas, a

menos que haja um aumento na resiliência agrícola.

Por outro lado, Molotoks, Smith & Dawson (2021) observam que a fome global está crescendo novamente, atingindo níveis semelhantes aos de uma década atrás. As mudanças climáticas, juntamente com o crescimento populacional e as mudanças no uso da terra, estão exacerbando crises alimentares severas com os efeitos diretos das mudanças climáticas.

Gomez-Zavaglia, Mejuto & Simal-Gandara (2020) abordam como as mudanças climáticas afetam profundamente a agricultura e a pesca, alterando a disponibilidade de nutrientes, água e condições de desempenho crítico. Além, a lacuna entre intenções e ações climáticas reais na agricultura é enfatizada por Vyas et al. (2022), que apontam que, apesar dos compromissos assumidos após o Acordo de Paris, há uma desconexão significativa entre as intenções dos países e suas ações efetivas, especialmente em países em desenvolvimento.

Pesquisas de Roosevelt, Raile & Anderson (2023) exploram o conceito de resiliência nos sistemas alimentares, destacando a importância de integrar essa resiliência nas práticas e pesquisas alimentares. Contudo, Trentinaglia, Baldi & Peri (2023) investigam o impacto da assistência oficial ao desenvolvimento na agricultura de países em desenvolvimento e concluem que a ajuda internacional pode melhorar a produtividade agrícola. No entanto, países com maior prontidão climática se beneficiam mais dessa assistência, estudos sobre desigualdade econômica e desnutrição, como os de Alao et al. (2021) e Prasad et al. (2021), mostram que essa desigualdade afeta diretamente a prevalência de desnutrição no núcleo familiar. Em resumo, a interseção entre vulnerabilidade climática e segurança alimentar revela a complexidade dos desafios enfrentados por diferentes regiões.

5.7. Ecossistema com relação as mudanças climáticas

As mudanças climáticas e os desastres naturais impõem um impacto significativo não apenas sobre os ecossistemas, mas também sobre os serviços ecossistêmicos que sustentam a vida e a economia. Walz et al. (2021) destacam que eventos climáticos extremos como secas, inundações e tempestades resultam em perdas humanas e econômicas consideráveis, embora as perdas ambientais frequentemente recebam menos atenção. Ademais, Prakash (2021)

ressalta os impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas aquáticos e a biodiversidade, observando que o aumento das temperaturas e do nível do mar, devido às emissões de gases de efeito estufa, ameaça a biodiversidade aquática e os recursos naturais.

Por outro lado, a interseção entre a perda de biodiversidade e os impactos econômicos é abordada por Giglio et al. (2024), que desenvolvem um modelo para capturar como as interações entre espécies afetam a produção econômica através dos serviços ecossistêmicos, sublinhando a necessidade de estimativas empíricas precisas para quantificar esses impactos.

Estudos realizados por Ma et al. (2021) investigam os impactos das mudanças climáticas e da cobertura vegetal no Planalto Qinghai-Tibete, identificando os limites de impacto sobre a produção de água e a conservação do solo, oferecendo insights valiosos para a gestão sustentável dos ecossistemas. Da mesma forma, a análise das limitações de energia e água dos ecossistemas em resposta às mudanças climáticas é realizada por Denissen et al. (2022), que utilizam o Índice de Limitação de Ecossistemas (ILE) para revelar uma tendência crescente de limitação de água, especialmente em regiões com grande cobertura arbórea.

A vulnerabilidade climática é um conceito multifacetado que abrange a interação complexa entre mudanças ambientais e seus diferentes impactos no ecossistema, no entanto, como apontado por Esperon et al. (2022), o aumento das temperaturas e os eventos climáticos extremos estão ameaçando a resiliência desses ecossistemas, aumentando a mortalidade das árvores e comprometendo sua capacidade de mitigar os efeitos climáticos.

Além, as mudanças climáticas têm impactos abrangentes, afetando a biodiversidade e o bem-estar humano de maneiras significativas. Shivanna (2022) ressalta que as mudanças climáticas podem prejudicar a produtividade agrícola e aumentar a frequência de desastres naturais, tornando a adaptação e a mitigação essenciais para proteger espécies e ecossistemas vulneráveis.

A relação entre mudanças climáticas e biodiversidade é também complexa. Williams & Newbold (2020) discutem como as mudanças climáticas locais, influenciadas pelo uso da terra, afetam as respostas da biodiversidade. Adicionalmente, Baisero et al. (2020) projetam uma perda global significativa de habitat de mamíferos devido ao uso da terra e às mudanças climáticas,

destacando a urgência de estratégias de conservação e desenvolvimento sustentável.

Esses estudos demonstram que a vulnerabilidade climática é interconectada com a saúde dos ecossistemas, sublinhando a necessidade de uma abordagem integrada que considere tanto as dimensões ambientais quanto sociais para promover um desenvolvimento sustentável e resiliente às mudanças climáticas.

5.8. Disponibilidade hídrica em virtude das mudanças climáticas

As mudanças climáticas impactam profundamente os recursos hídricos, afetando a qualidade e disponibilidade da água subterrânea. Barbieri et al. (2023) apontam que alterações nos padrões de precipitação e temperatura modificam a composição química das águas. Al Atawneh, Cartwright & Bertone (2021) reforçam a necessidade de modelos preditivos precisos para avaliar a recarga hídrica frente às incertezas climáticas, enquanto Javadinejad, Dara e Jafary (2020) observam que essas mudanças aumentam a variabilidade hidrológica, como na bacia do rio Zayandeh-rud.

A relação entre insegurança hídrica e pobreza também é central. Nwani e Osuji (2020) analisam como o acesso à água e saneamento afeta a pobreza na África Subsaariana, destacando a relevância do desenvolvimento econômico e do consumo de energia. Young et al. (2022) examinam as desigualdades hídricas em países de baixa e média renda durante a pandemia de COVID-19, enquanto Nkiaka (2022) propõe um Índice de Segurança Hídrica, observando o impacto da governança, PIB e educação feminina em regiões em desenvolvimento.

No campo dos recursos energéticos, García et al. (2024) analisam as injustiças no acesso à energia em áreas hidrelétricas no Brasil. Palagi et al. (2022) discutem como anomalias de precipitação exacerbam a desigualdade de renda, especialmente em países agrícolas. Gourevitch et al. (2022) investigam as desigualdades no risco de inundação nos Estados Unidos, e Mao et al. (2022) utilizam a Curva de Kuznets para explicar a desigualdade na segurança hídrica, ressaltando a importância de reduzir essas disparidades para o desenvolvimento sustentável.

5.9. Infraestrutura no contexto das mudanças climáticas

A pesquisa sobre vulnerabilidade climática e infraestrutura crítica revela uma interconexão complexa que demanda estratégias eficazes de mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Kumar et al. (2021) destacam os riscos crescentes para infraestruturas críticas, especialmente na Índia, devido a eventos climáticos extremos como inundações e secas.

No Oriente Médio, Salimi & Al-Ghamdi (2020) focam na vulnerabilidade das infraestruturas urbanas às ondas de calor e temperaturas elevadas, exacerbadas pela urbanização rápida e padrões de precipitação variáveis, sugerindo a necessidade de infraestruturas resilientes. Chester, Underwood & Samaras (2020) reforçam que a infraestrutura deve ser adaptável a condições climáticas incertas.

Na Nova Zelândia, Lawrence, Blackett & Cradock-Henry (2020) abordam os impactos em cascata entre sistemas naturais e socioeconômicos. Além disso, Buchanan et al. (2020) e McMichael et al. (2020) exploram como a relação entre infraestrutura, desenvolvimento econômico e desigualdade social exacerba a vulnerabilidade, com Buchanan et al. (2020) chamando atenção para o aumento do nível do mar e suas consequências para moradias acessíveis nos EUA.

Os indicadores do ND-GAIN mencionados acima, medem a vulnerabilidade climática e a capacidade de adaptação de um país, relaciona-se com o PIB e a inovação de formas que podem refletir a complexidade das interações entre esses fatores. A forma como o desenvolvimento econômico influencia a capacidade adaptativa e como a inovação pode impactar tanto a resiliência quanto a vulnerabilidade climática destaca uma dinâmica onde o papel de cada fator pode variar em diferentes contextos e condições. Essas interações podem sugerir padrões não lineares que requerem uma análise detalhada para explorar como PIB, inovação e mudanças climáticas estão interligados.

Estudos mostram que um PIB mais elevado frequentemente se associa a melhores condições de infraestrutura e maiores recursos para a adaptação climática, refletindo uma capacidade aprimorada para gerenciar riscos climáticos (Rassier, 2011; Alimiya, 2012). No entanto, a relação entre PIB e ND-GAIN não

é linear, os efeitos adversos das mudanças climáticas sobre o PIB apresentam características complexas e não lineares, conforme discutido por Zenios (2022). Isso sugere que o crescimento econômico pode inicialmente aliviar a vulnerabilidade climática até um ponto em que a relação entre o PIB e a resiliência se torna menos previsível.

Simultaneamente, a relação entre o ND-GAIN e a inovação também exhibe um padrão não linear, Law e Law (2022) indicam que a inovação pode aumentar a resiliência e a sustentabilidade, mas seu impacto pode se tornar negativo se ultrapassar certos limites. O desenvolvimento financeiro, que favorece a inovação, depende da qualidade institucional e das condições socioeconômicas (Law et al., 2018). Assim, a inovação não é uma solução universal e seu impacto pode ser modulado por fatores contextuais, como desigualdade de renda e força das instituições. A pesquisa de Voeykova (2023) sugere que modelos não lineares são essenciais para entender a complexidade entre inovação e adaptação climática, enquanto Zou et al. (2024) mostram que um nível ótimo de desigualdade pode estimular a inovação verde, destacando a complexidade das interações socioeconômicas.

As pesquisas existentes, no entanto, não capturam totalmente essas dinâmicas não lineares, evidenciando a necessidade de abordagens metodológicas mais sofisticadas para compreender a relação entre desenvolvimento econômico, inovação e resiliência climática de maneira mais abrangente.

5.10. Inovação tecnológica e desenvolvimento econômico

Um estudo realizado na América Latina encontrou relações bidirecionais entre inovação, desenvolvimento financeiro e crescimento econômico, destacando a importância de políticas que protejam a propriedade intelectual e promovam a educação (Bobek et al., 2024). Isso sugere que políticas voltadas para a promoção da inovação podem gerar benefícios econômicos mais amplos, fortalecendo a interconexão entre esses fatores.

Diferentes estudos mostram que progresso tecnológico e inovação são essenciais para o crescimento econômico sustentável, melhorando a eficiência produtiva e as habilidades laborais (Aleksandrov, 2024). Aleksandrov destaca a

relação histórica entre progresso tecnológico e desenvolvimento econômico, conforme teorias que evidenciam a inovação como chave para o desenvolvimento sustentável.

Evidências empíricas confirmam o impacto positivo significativo da inovação no crescimento econômico, fortalecendo a tese de que a promoção da inovação é crucial para aumentar a competitividade empresarial (Say & Affès, 2024). Um estudo que analisou 16 países da OCDE entre 2005 e 2015 revelou que maiores investimentos em P&D, assim como um aumento nos pedidos de patentes, resultaram em crescimento expressivo do PIB (Akça, 2023).

Além disso, foi demonstrado que a inovação tecnológica gera impactos de longo prazo no crescimento econômico sustentável, ressaltando a necessidade de políticas que incentivem o investimento contínuo em P&D (Mohamed et al., 2022). A inovação tecnológica, portanto, surge como o principal motor do crescimento econômico, como evidenciado por estudos que mostram seu efeito positivo sobre o PIB em diversos contextos, incluindo a Tunísia e outros países em desenvolvimento (Say & Affès, 2024; Mohamed et al., 2022).

De fato, pesquisas indicam que o aumento dos investimentos em P&D e o crescimento no número de pedidos de patentes estão correlacionados ao aumento do PIB, demonstrando como a inovação influencia diretamente o desempenho econômico (Akça, 2023). A inovação aumenta a eficiência e a produção, promovendo a expansão econômica. Por exemplo, gastos com educação e P&D foram associados a melhores condições econômicas em países em desenvolvimento (Mohamed et al., 2022).

Essa relação é bidirecional: enquanto a inovação impulsiona o PIB, o crescimento econômico, por sua vez, facilita ainda mais a inovação ao proporcionar maiores investimentos e recursos (Mohamed et al., 2022). No entanto, a eficácia da inovação depende frequentemente da infraestrutura econômica existente e da capacidade das instituições de se adaptarem às novas tecnologias (Kutovyi, 2023).

6. Metodologia

A pesquisa proposta é exploratória e caracteriza-se como um estudo aplicados aos casos que foram analisados, voltado para a compreensão e a

resolução de questões práticas relacionadas à vulnerabilidade climática, à inovação tecnológica e ao desenvolvimento econômico. O objetivo é gerar conhecimento que possa fundamentar a formulação de políticas públicas e práticas de gestão eficazes para enfrentar desafios concretos. A investigação foca na interrelação entre vulnerabilidade climática e desigualdade social, bem como no papel da inovação tecnológica na melhoria das condições econômicas e sociais em diferentes países. Os resultados visam não apenas contribuir para o entendimento teórico, mas também oferecer aplicações diretas em contextos reais, especialmente no desenvolvimento de estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

A dissertação será composta por três artigos científicos, cada um desenvolvido para abordar de forma integrada os objetivos específicos da pesquisa. Essa divisão em artigos permite uma análise aprofundada de diferentes aspectos da interconexão entre vulnerabilidade climática, desigualdade social, inovação tecnológica e desenvolvimento econômico.

O primeiro artigo será dedicado ao objetivo específico (a), que visa explorar as relações causais entre desigualdade social, medida pelo índice de Gini, e vulnerabilidade climática, representada pelo índice ND-GAIN. A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, utilizando análises estatísticas e econométricas para examinar dados de uma amostra de países entre 2012 e 2021. O foco é demonstrar como as disparidades na distribuição de renda impactam a capacidade dos países de enfrentar os desafios das mudanças climáticas. Serão realizadas análises de correlação e regressão, que permitirão identificar e explicar as dinâmicas entre desigualdade social e vulnerabilidade climática, estabelecendo uma base empírica sólida para os estudos subsequentes.

No segundo artigo, abordaremos o objetivo específico (b), que consiste em desagregar o índice ND-GAIN em seus subcomponentes (segurança alimentar, disponibilidade hídrica, saúde, infraestrutura e serviços ecossistêmicos). A partir dessa decomposição, será possível identificar quais setores exercem impacto direto sobre a desigualdade social. Este artigo terá um caráter exploratório e analítico, utilizando técnicas de decomposição para avaliar como cada componente do ND-GAIN afeta a desigualdade social em diversos contextos. A análise dos dados permitirá identificar quais áreas são mais críticas

em diferentes países.

O terceiro artigo focará nos objetivos específicos (c) e (d), avaliando a influência da inovação tecnológica na resiliência climática, com ênfase no desenvolvimento econômico e nas disparidades sociais entre países. Será realizada uma análise detalhada de como o Produto Interno Bruto (PIB) e os níveis de investimento em inovação tecnológica impactam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas. Serão aplicados modelos econométricos avançados para identificar padrões não lineares para verificar a relação entre desenvolvimento econômico, inovação e adaptação, destacando barreiras e oportunidades para um crescimento sustentável.

6.1. Coleta de Dados

A coleta de dados ocorrerá em três etapas, cada uma focando em diferentes aspectos das interconexões entre vulnerabilidade climática, inovação tecnológica e desenvolvimento econômico.

Dados do Índice ND-GAIN serão utilizados para avaliar a vulnerabilidade climática de 50 países. Esses dados, disponíveis no site da Universidade de Notre Dame, abrangem informações coletadas anualmente entre 2012 e 2021, permitindo uma análise comparativa abrangente. Este índice integra uma série de indicadores essenciais que medem a capacidade adaptativa dos países. Entre esses indicadores, destacam-se a segurança alimentar, que avalia o acesso das populações a alimentos suficientes e nutritivos; a disponibilidade hídrica, que verifica a quantidade de água disponível para consumo e agricultura; e a saúde, que considera as condições de saúde da população e o acesso a serviços de saúde. Além disso, o ND-GAIN examina os serviços ecossistêmicos, ressaltando como os ecossistemas, como florestas e rios, contribuem para a qualidade de vida, e analisa o habitat humano, levando em conta as condições de moradia e o ambiente em que as pessoas vivem. Por fim, a infraestrutura é avaliada em relação à qualidade das construções e serviços públicos, essenciais para o desenvolvimento econômico e social. A combinação desses indicadores permite uma análise comparativa robusta da vulnerabilidade climática.

A análise da inovação tecnológica, utilizando o Índice Global de Inovação (IGI) em conjunto com dados do Produto Interno Bruto (PIB) per capita. Os dados

do IGI são disponibilizados anualmente pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), que realiza um processo sistemático de coleta de informações a partir de diversas fontes, incluindo estatísticas nacionais, relatórios institucionais e pesquisas. Após a coleta, esses dados são analisados e organizados para avaliar o desempenho dos países em múltiplos indicadores de inovação, resultando em um relatório que oferece uma visão abrangente sobre as tendências de inovação global. Para a obtenção dos dados do PIB per capita, que é uma métrica crucial que reflete o valor total da produção de bens e serviços de um país dividido pelo número de habitantes, utilizaremos informações disponíveis no Banco Mundial, conhecido por sua ampla gama de indicadores econômicos. O PIB per capita é fundamental para indicar o nível de riqueza média da população e para refletir o desenvolvimento econômico, servindo como um indicador-chave para avaliar a saúde econômica e o potencial de crescimento de um país. Os dados do IGI e do PIB per capita poderão ser baixados em formatos acessíveis, como Excel, o que facilitará análises posteriores. Por meio da aplicação de modelos econométricos, investigaremos os padrões e relações entre inovação, desenvolvimento econômico e adaptação climática. Essa abordagem permitirá explorar de forma detalhada como a inovação tecnológica se relaciona com o desenvolvimento econômico e a capacidade de adaptação dos países às mudanças climáticas, destacando a interdependência desses fatores em contextos variados.

Para a análise do tripé da sustentabilidade — econômica, social e ambiental — correlacionando esses aspectos com indicadores de vulnerabilidade climática, serão coletados dados sobre investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), expectativa de vida escolar e Produto Interno Bruto (PIB) per capita de diversos países, buscando entender de que maneira o desenvolvimento econômico e a inovação tecnológica podem mitigar os efeitos da vulnerabilidade climática ao longo do tempo. O investimento em P&D, que representa o total de recursos financeiros alocados para atividades de pesquisa e inovação, é crucial para o desenvolvimento de tecnologias e estratégias que podem ajudar a minimizar os impactos das mudanças climáticas. A expectativa de vida escolar, por sua vez, é um indicador social que mensura a média de anos que uma criança pode esperar frequentar a escola ao longo de sua vida, refletindo a importância da educação na capacitação das populações

para enfrentar desafios, incluindo aqueles relacionados ao clima. O PIB per capita, que indica o valor total dos bens e serviços produzidos em um país dividido pelo número de habitantes, serve como um reflexo da riqueza média de uma nação e de sua capacidade de investimento em infraestrutura e serviços que podem reduzir a vulnerabilidade climática. Os dados necessários para a análise serão obtidos de fontes confiáveis, como o Banco Mundial, que disponibiliza uma ampla gama de informações econômicas, a UNESCO, que fornece dados sobre a expectativa de vida escolar, e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que oferece dados sobre inovação e P&D.

A extração dos dados será realizada em formatos como Excel ou CSV, facilitando a manipulação e análise. Após a extração, os dados serão organizados em planilhas, categorizadas por país, ano e variável (P&D, expectativa de vida escolar e PIB per capita).

6.2. Seleção da Amostra

A seleção da amostra irá variar de acordo com os estudos realizados, levando em consideração a disponibilidade de dados e a relevância geográfica.

No primeiro estudo, uma amostra de 50 países foi selecionada com base na disponibilidade de dados confiáveis para o período de 2012 a 2021. A amostra foi escolhida para representar uma diversidade geográfica, incluindo países da América do Sul, Europa, América do Norte, Ásia e Oceania, com uma atenção especial para a representatividade dos países mais vulneráveis às mudanças climáticas.

No segundo estudo, será utilizada uma amostra de 192 países, com foco na inovação tecnológica, desenvolvimento econômico e sua relação com a vulnerabilidade climática. Os dados de inovação serão obtidos de bases internacionais como o World Bank, focando em nações que possuíam dados consistentes para os anos estudados.

Já no terceiro estudo, a amostra será limitada à disponibilidade dos dados específicos sobre o tripé da sustentabilidade e sua relação com a vulnerabilidade climática.

6.3. Análise Estatística

No primeiro estudo, uma análise de dados em painel foi realizada para investigar as relações entre vulnerabilidade climática, desenvolvimento econômico e inovação. A seguir, os principais testes estatísticos utilizados:

a) Teste de Raiz Unitária (Dickey-Fuller Aumentado - ADF): foi aplicado para verificar se as séries temporais de vulnerabilidade climática (ND-GAIN), inovação tecnológica e PIB per capita eram ou não estacionárias. Foram testados três modelos: sem tendência e sem intercepto, com intercepto, e com intercepto e tendência.

b) Teste de Cointegração de Pedroni: este teste foi utilizado para verificar a existência de uma relação de longo prazo entre as variáveis estudadas, buscando identificar cointegração entre a vulnerabilidade climática e as variáveis de desenvolvimento econômico e inovação.

c) Teste de Causalidade de Granger: este teste foi empregado para examinar a relação de causalidade entre vulnerabilidade climática, PIB e inovação. Utilizou-se a estatística F para testar a hipótese de causalidade conjunta, permitindo determinar se a inovação tecnológica e o desenvolvimento econômico têm impacto preditivo sobre a vulnerabilidade climática.

No segundo estudo, serão realizadas regressões lineares com o desejo de examinar a relação entre desenvolvimento econômico e a vulnerabilidade climática e a inovação, investigando se o aumento do PIB per capita inicialmente agrava a vulnerabilidade climática até certo ponto, a partir do qual o crescimento econômico favorece a inovação e a mitigação dos impactos climáticos. Para tal, foram utilizados modelos de equações quadráticas e cúbicas.

Já no terceiro estudo, uma análise de equações estruturais (*Structural Equation Modeling* - SEM) será aplicada para validar o modelo proposto, que relaciona vulnerabilidade climática, inovação e o tripé da sustentabilidade. A unidimensionalidade dos construtos foi verificada por meio do alfa de *Cronbach* e do índice de confiabilidade Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). A significância dos coeficientes foi avaliada individualmente para verificar o impacto de cada variável no modelo. Além disso, foram utilizados testes de adequação do modelo, como a razão Qui-quadrado, GFI (*Goodness of Fit Index*), CFI (*Comparative Fit Index*), TLI (*Tucker-Lewis Index*), IFI (*Incremental Fit Index*) e RMSEA (*Root Mean*

Square Error of Approximation), conforme recomendação de autores de referência.

Essa abordagem permitirá uma análise abrangente e detalhada sobre como vulnerabilidade climática, inovação e desenvolvimento econômico estão inter-relacionados, destacando as limitações e potencialidades desses fatores para a adaptação às mudanças climáticas.

CAPÍTULO 1

Artigo 1: Análise da Causalidade entre Desigualdade Social e Vulnerabilidade Climática: uma abordagem utilizando dados em painéis

Resumo: Este estudo analisa a relação entre desigualdade social, medida pelo índice de Gini, e vulnerabilidade climática, representada pelo índice ND-GAIN e seus subgrupos, com base em uma amostra de 50 países entre 2012 e 2021. Os testes de causalidade de Granger mostram que, em termos agregados, o índice ND-GAIN não tem impacto preditivo claro sobre a desigualdade social, nem o contrário. Contudo, ao desagregar o ND-GAIN, foram identificados padrões significativos. A disponibilidade hídrica se mostrou uma influência importante na desigualdade social, com intervenções em gestão hídrica resultando em efeitos imediatos e de médio prazo na redução da desigualdade. Melhorias na segurança alimentar também levaram a reduções na desigualdade social a médio prazo. A análise da saúde revelou que, embora não haja impacto direto imediato, a desigualdade de renda pode resultar em desigualdades no acesso à saúde a médio e longo prazo. A infraestrutura desempenhou um papel relevante, com mudanças impactando a desigualdade social de forma significativa a médio e longo prazo. Os resultados ressaltam a importância de políticas públicas voltadas para gestão hídrica e segurança alimentar para efeitos imediatos na desigualdade social, e estratégias para saúde e infraestrutura para impactos a longo prazo.

Palavras chaves: GINI, ND_GAIN, índices, impactos, alterações climáticas.

Abstract: This study examines the relationship between social inequality, measured by the Gini index, and climate vulnerability, represented by the ND-GAIN index and its subgroups, using a sample of 50 countries from 2012 to 2021. Granger causality tests reveal that, when considered in aggregate, the ND-GAIN index does not have a clear predictive impact on social inequality, nor vice versa. However, disaggregating the ND-GAIN index into its subgroups reveals significant patterns. Water availability emerged as a crucial factor influencing social inequality, with water management interventions showing immediate and medium-term effects in reducing inequality. Food security also had significant impacts, with improvements leading to reductions in social inequality over the medium term. Health analysis showed no immediate direct impact, but income inequality can result in disparities in healthcare access over the medium and long term. Infrastructure played a significant role, with changes affecting social inequality notably in the medium and long term. The findings highlight the importance of public policies targeting water management and food security for immediate effects on social inequality, while strategies addressing health and infrastructure are crucial for long-term impacts.

Keywords: GINI, ND_GAIN, indexes, impacts, climate change.

1. Introdução

O termo Mudanças Climáticas tem sido amplamente discutido nas últimas décadas, com impactos significativos em diversas áreas, representando uma das maiores ameaças globais e desafios enfrentados pela humanidade no século XXI (Camargo, 2020). Essas mudanças têm repercussões profundas, pois os desastres climáticos geram grandes impactos na sociedade, na economia e no meio ambiente (Pourzand, 2022). Nossa compreensão das alterações climáticas e dos riscos associados está melhorando por meio de pesquisas contínuas, mas ainda há a necessidade de mais estudos sobre a interconexão entre mudanças climáticas, pobreza e desigualdade social (Pérez-Peña *et al.*, 2021).

A exposição de um país às mudanças climáticas, sua sensibilidade aos impactos dessas mudanças e a propensão ou predisposição das sociedades humanas a serem negativamente afetadas pelos riscos climáticos definem o que chamamos de vulnerabilidade (Chen *et al.*, 2023). Geralmente, países com alta vulnerabilidade são aqueles com alta exposição a eventos climáticos extremos e baixa capacidade de adaptação (Saeed *et al.*, 2023). A vulnerabilidade, em seu sentido mais amplo, avalia a exposição a um determinado impacto e sua sensibilidade a esses impactos.

A vulnerabilidade às mudanças climáticas afeta significativamente a desigualdade de renda nos países em desenvolvimento em comparação com as economias avançadas, devido às capacidades variáveis de resiliência (Jalles, 2024). Regiões e países mais vulneráveis são desproporcionalmente afetados pelos riscos climáticos, com diferenças significativas nos resultados de desastres entre países vulneráveis e menos vulneráveis, em que países com maiores níveis de vulnerabilidade experimentam impactos mais severos e perdas humanas (Birkmann *et al.*, 2022).

Portanto, este artigo busca responder à seguinte questão central: qual é a relação entre vulnerabilidade climática e desigualdade social? Explorar essa conexão é fundamental para a possível formulação de políticas e estratégias que não apenas mitiguem as desigualdades existentes, mas também fortaleçam a resiliência das populações mais vulneráveis diante dos crescentes desafios impostos pelas mudanças climáticas?

2. Referencial Teórico

2.1. Mudanças climáticas

A crescente preocupação com os efeitos das mudanças climáticas tem impulsionado a investigação sobre suas consequências multifacetadas. As mudanças climáticas são decorrentes de fatores antropogênicos e naturais, resultando em impactos significativos em diversas variáveis climáticas (Ambrizzi et al, 2021; Jakhar et al, 2022). Esses impactos afetam profundamente os sistemas geofísicos, naturais e humanos, gerando desastres climáticos com grandes repercussões na sociedade, economia e meio ambiente. Tais mudanças pressionam os sistemas agrícolas, a biodiversidade e a segurança alimentar (Federal, 2015).

A busca por melhores formas para a adaptação às mudanças climáticas visa reduzir a vulnerabilidade a impactos como eventos extremos, desastres naturais e insegurança alimentar e hídrica (Namdar, Karami & Keshavarz, 2021; UNDP, 2023). Nesse sentido, pesquisas contínuas melhoram a compreensão das alterações climáticas e dos riscos, embora sejam necessários mais estudos sobre a interconexão entre mudanças climáticas, pobreza e desigualdade social e econômica (Pérez-Peña et al., 2021).

No que tange a vulnerabilidades da população, o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destaca que as mudanças climáticas agravam as disparidades sociais, afetando desproporcionalmente as comunidades mais pobres e suscetíveis, que carecem de recursos para se adaptar e enfrentar eventos climáticos extremos. As disparidades sociais também intensificam os impactos das mudanças climáticas, populações habitam regiões propensas a calamidades naturais e enfrentam dificuldades no acesso à infraestrutura de proteção e serviços de saúde (IPCC, 2023).

Em sentido semelhante a Oxfam, uma federação mundial que combate a pobreza e a injustiça social, enfatiza a necessidade de enfrentar a crise climática e a desigualdade social de maneira integrada para alcançar um futuro sustentável e equitativo. A organização identifica a emergência climática como uma causa e consequência dos desequilíbrios sociais e econômicos (Oxfam,

2021). Em sentido similar o Relatório do Banco Mundial corrobora essa visão, apresentando um cenário global desafiador com crescimento lento, aumento da desigualdade e riscos climáticos crescentes. O relatório sublinha a importância de políticas públicas para promover uma recuperação econômica justa e inclusiva, combater as mudanças climáticas e proteger os mais vulneráveis (Relatório do Banco Mundial, 2023).

Segundo o relatório técnico de Iniciativa de Adaptação Global da Universidade de NotreDame- ND-GAIN (2023), a vulnerabilidade, em seu sentido mais amplo, avalia a exposição de um país às mudanças climáticas, sua sensibilidade aos impactos dessas mudanças e a propensão ou predisposição das sociedades humanas a serem negativamente afetadas pelos riscos climáticos. Regiões e países mais vulneráveis são desproporcionalmente afetados pelos riscos climáticos, com diferenças significativas nos resultados de desastres entre países vulneráveis e menos vulneráveis (Birkmann *et al.*, 2022). Diversos estudos recentes evidenciam a relação entre as mudanças climáticas e como elas afetam desproporcionalmente as populações mais vulneráveis e exacerbam as desigualdades e sociais, a próxima seção trata dessa relação.

2.2. Mudanças climáticas e desigualdade social

A relação entre mudanças climáticas e desigualdade social tem se tornado um conceito cada vez mais importante, defendido por especialistas em desigualdade e sustentabilidade, bem como por organizações internacionais como as Nações Unidas (Onbargi, 2022). Cevik & Jalles (2023) examinam como a vulnerabilidade às mudanças climáticas intensifica a desigualdade de renda, especialmente em países em desenvolvimento. Eles destacam que a capacidade de mitigar e adaptar-se aos impactos climáticos varia amplamente entre esses países, o que contribui para o aumento das disparidades socioeconômicas e agrava a distribuição de renda. Neste sentido, a interseção entre mudanças climáticas e desigualdade econômica tem sido objeto de estudo intensivo na literatura acadêmica, refletindo uma preocupação global com os impactos desproporcionais que as comunidades mais vulneráveis enfrentam. Conforme pode ser observado na Tabela 1, estudos recentes têm demonstrado como as mudanças climáticas exacerbam a desigualdade econômica.

Tabela 1 - evidências teóricas e empíricas da relação entre mudanças climáticas e desigualdade social

| Autor e Ano | Metodologia | Principais Resultados |
|--|---|---|
| Paglialunga, Coveri & Zanfei (2020) | Metodologia de painel e análise de frequência de mudanças climáticas em áreas específicas. Revisão da literatura e modelos | As mudanças climáticas exacerbam a desigualdade de renda dentro dos países, especialmente nas áreas rurais e nos setores agrícolas. A participação nas cadeias de valor globais modula os impactos econômicos e distributivos das mudanças climáticas. |
| Coveri Zanfei & Paglialunga (2020) Cappelli, Costantini, & Consoli (2021) Pérez-Peña et al. (2021) | estatísticos para analisar a relação entre mudanças climáticas, desigualdade e fatores mediadores. Abordagem de equações simultâneas em um painel de 149 países. Revisão sistemática | Desenvolvimento econômico atua como um mediador entre mudanças climáticas e desigualdade, influenciando a vulnerabilidade e a adaptabilidade das populações aos impactos climáticos. A desigualdade de renda intensifica os danos causados por desastres naturais, ampliando o número de pessoas afetadas, em um ciclo vicioso de desigualdade e desastres ambientais. Mudanças climáticas intensificam a pobreza e a desigualdade, destacando a necessidade de mais pesquisas e ações alinhadas com a Agenda 2030. |
| Chang et al. (2021) | Framework Social-Ecológico-Tecnológico (SETS) para avaliação da vulnerabilidade a inundações urbanas. | Identificação de padrões de vulnerabilidade social, ecológica e tecnológica em cidades dos EUA, destacando a necessidade de abordagens holísticas na gestão de riscos urbanos. |
| Paglialunga et al. (2022) Cevik & Jalles (2023) | Metodologia de painel global cobrindo mais de 150 países de 2003 a 2017. Análise de dados em painel, modelagem de regressão vetorial, método de Momentos Generalizados (GMM). | Mudanças climáticas aumentam a desigualdade de renda dentro dos países, com impactos mais fortes em economias dependentes da agricultura. Investimentos estrangeiros diretos e diversificação econômica podem mitigar esses efeitos. A vulnerabilidade às mudanças climáticas aumenta a desigualdade de renda em países em desenvolvimento mais do que em economias avançadas, devido às diferentes capacidades de adaptação. |
| Tang, Duan & Yu (2023) | Análise de cenários de aquecimento global, funções de danos econômicos e custos de mitigação sob o Acordo de Paris. Dados de painel de 89 países de 2010 a 2020, análise de efeitos moderadores e assimetria na alocação de fundos de ajuda climática. | Metas de aquecimento global sob o Acordo de Paris podem reduzir a desigualdade econômica global a longo prazo, mas exigem ação imediata e eficaz para evitar impactos desproporcionais sobre os países em desenvolvimento. |
| Liu, Dong & Nepal (2024) | Método de análise multicritério baseado em indicadores para avaliar risco de inundação em áreas costeiras, considerando mudanças climáticas. | Países mais vulneráveis ao clima recebem mais fundos de mitigação e adaptação, com qualidade governamental e tecnologias de baixo carbono influenciando significativamente a distribuição desses fundos. |
| Shah & Wang (2024) | Método de análise multicritério baseado em indicadores para avaliar risco de inundação em áreas costeiras, considerando mudanças climáticas. | Identificação de áreas costeiras vulneráveis a inundações e a importância de considerar fatores sociais e ecológicos na gestão de riscos. |

Fonte: elaboração própria (2024)

Conforme pode ser observado na Tabela 1 a literatura acadêmica tem intensificado o estudo da interseção entre mudanças climáticas e desigualdade econômica, evidenciando os impactos desproporcionais nas comunidades mais vulneráveis. Paglialonga, Coveri & Zanfei (2022) mostram que mudanças climáticas, como elevação de temperaturas e anomalias de precipitação, aumentam a disparidade de renda, especialmente em áreas rurais e setores agrícolas. Países com maior dependência agrícola são mais vulneráveis, afetando diretamente a distribuição de renda e a segurança alimentar. Cappelli, Costantini & Consoli (2021) acrescentam que desastres naturais agravam a desigualdade econômica, causando mais danos em regiões já economicamente fragilizadas e perpetuando um ciclo de vulnerabilidade e pobreza.

Os estudos sobre a interseção entre mudanças climáticas e desigualdade econômica mostram que a vulnerabilidade climática agrava a disparidade de renda, especialmente em países em desenvolvimento, devido à variação na capacidade de mitigar e adaptar-se aos efeitos climáticos (Cevik & Jalles, 2023). Pérez-Peña et al. (2021) confirmam que as mudanças climáticas intensificam a pobreza e a desigualdade, especialmente em contextos de segurança alimentar e energética precária, ressaltando a necessidade de políticas e pesquisas para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Chang et al. (2021) destacam a vulnerabilidade urbana a inundações nos EUA, evidenciando a correlação entre vulnerabilidade social, ecológica e tecnológica e a importância de abordagens integradas para gerenciar riscos climáticos urbanos. Coveri, Zanfei & Paglialonga (2020) exploram como o desenvolvimento econômico pode mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas, sugerindo que políticas de crescimento econômico inclusivo são essenciais para enfrentar esses desafios.

Em síntese, a literatura revisada destaca a natureza multifacetada da relação entre mudanças climáticas e desigualdade econômica. Desde os impactos diretos sobre setores econômicos vulneráveis até a ampliação das disparidades socioeconômicas, as conclusões sugerem a necessidade urgente de políticas integradas que promovam resiliência climática e equidade econômica globalmente.

2.3. Vulnerabilidade e Prontidão Frente às Mudanças Climáticas

O Relatório Técnico da Universidade de Notre Dame destaca que países enfrentam desafios de adaptação às mudanças climáticas em diferentes graus, devido a fatores geográficos e socioeconômicos (Chen et al, 2023). Segundo autores, o Índice Nacional da Notre Dame - *Global Adaptation Initiative* (ND-GAIN) foi criado para medir a capacidade de adaptação de cada país, demonstrando sua vulnerabilidade às perturbações climáticas através de mais de 40 indicadores que avaliam vulnerabilidade e prontidão desde 1995.

O índice ND-GAIN mensura a vulnerabilidade climática considerando exposição, sensibilidade, capacidade adaptativa e prontidão em setores econômicos, governamentais e sociais (Chen et al, 2023). Usando esse indicador, Verocai & Li (2018) analisaram a América Latina, destacando que desigualdade e falta de infraestrutura são determinantes cruciais da vulnerabilidade, com desastres climáticos afetando significativamente a saúde pública e o bem-estar em regiões subdesenvolvidas. Namdar, Karami & Keshavarz (2021) identificaram a escassez de hídrica como um problema crítico na África do Norte e Oriente Médio, revelando variações significativas na vulnerabilidade regional.

Alpino et al. (2022) destacaram os impactos negativos das mudanças climáticas sobre a segurança alimentar, afetando acesso, produção e preços dos alimentos. Hillayová et al. (2023) apontaram que as mudanças climáticas desafiam a silvicultura sustentável na Eurásia. Pérez-Peña et al. (2021) confirmaram que mudanças climáticas intensificam pobreza e desigualdade em contextos de insegurança alimentar e energética, enquanto Chang et al. (2021) sublinharam a importância de abordagens integradas para gerenciar a vulnerabilidade a inundações urbanas nos EUA. Silva & Kawazaki (2018) mostraram que países pobres são mais afetados pelas mudanças climáticas devido à alta dependência de recursos naturais e capacidade adaptativa limitada. Arshed et al. (2023) e Halkos et al. (2020) reforçaram que características macroeconômicas influenciam a vulnerabilidade climática, com países menos desenvolvidos apresentando maior vulnerabilidade.

Neste sentido, Paglialunga, Coveri & Zanfei (2022) afirmam que as alterações climáticas afetam as disparidades de rendimento através de canais setoriais específicos, necessitando de análises detalhadas dos mecanismos envolvidos. Dang, Nguyen & Trinh (2023) e Kopitzke (2021, 2023) exploraram

como mudanças na temperatura global influenciam a pobreza e a desigualdade, destacando a importância de políticas climáticas adequadas.

Cappelli, Costantini & Consoli (2021) e Coveri, Zanfei & Paglialunga (2020) discutiram que desastres naturais exacerbam desigualdades econômicas, perpetuando um ciclo de vulnerabilidade e pobreza. Taconet, Méjean & Guivarch (2020) indicam que os custos de mitigação das mudanças climáticas podem desacelerar a recuperação econômica em países de baixa renda, aumentando as desigualdades entre nações. Nyiwul (2021) analisou a correlação entre desigualdade social e variabilidade climática na África, concluindo que altos níveis de desigualdade dificultam iniciativas eficazes de mitigação e adaptação climática.

Esses estudos destacam as complexas interações entre mudanças climáticas e desigualdade econômica, com impactos variando conforme a região devido a diferentes níveis de vulnerabilidade e capacidade de adaptação, conforme medido pelo ND-GAIN. A América Latina enfrenta desafios significativos devido à desigualdade e infraestrutura precária, enquanto a escassez hídrica é crítica na África do Norte e Oriente Médio. Segurança alimentar e silvicultura sustentável são severamente afetadas em diversas regiões, e os países mais pobres, com alta dependência de recursos naturais, mostram-se mais vulneráveis. Estudos indicam que características macroeconômicas e políticas climáticas adequadas são essenciais para mitigar esses impactos, com necessidade de análises detalhadas dos mecanismos envolvidos para promover uma adaptação eficaz e justa às mudanças climáticas.

2.4. Desigualdade e Vulnerabilidade Climática: um olhar baseado nos setores de apoio à vida

Segundo Chen et al. (2023), o ND-GAIN é um indicador da vulnerabilidade climática a nível de país, em que um valor elevado indica menor vulnerabilidade às alterações climáticas. Este indicador avalia a vulnerabilidade considerando seis setores de apoio à vida: segurança alimentar, disponibilidade hídrica, saúde, serviços ecossistêmicos, habitat humano e infra-estrutura (Chen et al., 2023). A vulnerabilidade, entendida como a incapacidade de um sistema territorial de se recuperar de um desastre natural, é fundamental para a tomada de decisões

orientadas por indicadores (Radoine et al., 2024). Esta seção contextualiza a relação entre vulnerabilidade e desigualdade social, abordando separadamente os setores de vulnerabilidade do ND-GAIN e o Índice Gini, que mede a desigualdade na distribuição de recursos finitos, como renda ou riqueza, e avalia bem-estar social, pobreza e desenvolvimento econômico (Kopitzke, 2023).

Neste sentido, diversos estudos abordam como fatores socioeconômicos influenciam a saúde e o bem-estar. Chen e Wang (2021) investigaram o impacto de fatores de saúde e desigualdade social no bem-estar durante a pandemia no Reino Unido, revelando que condições médicas preexistentes, ocupações menos qualificadas e tamanho da família diminuem o bem-estar subjetivo. Knifton & Inglis (2020) exploraram a relação entre pobreza e saúde mental em Glasgow, evidenciando que a pobreza e o estigma espacial afetam significativamente a saúde mental.

Pesquisas de Anser et al. (2020) confirmam a importância de políticas de inclusão para reduzir a criminalidade e promover o crescimento econômico. Sun, Lyu & Zhao (2020) destacaram a renda familiar como fator predominante nas desigualdades em saúde física e mental dos idosos na China. Tibber et al. (2022) associaram maior desigualdade de renda a piores resultados de saúde mental, enfatizando a necessidade de políticas mitigadoras.

Por outro lado, a desigualdade econômica influencia diretamente a desnutrição e a segurança alimentar. Alao et al. (2021) mostram que desnutrição é mais comum em famílias de baixa renda, enquanto sobrepeso e obesidade prevalecem em famílias ricas. Em linha à estes pesquisadores, Prasad et al. (2021) destacam que na Índia, crianças de famílias pobres e mães com baixo índice de massa corporal estão em maior risco de desnutrição. De forma análoga, Curi-Quinto et al. (2020) observa que no Peru, desnutrição é mais prevalente em grupos de baixo status socioeconômico, enquanto o excesso de peso é mais comum em grupos de maior status e educação. Awad (2023) e Debebe & Zekarias (2020) destacam a pobreza e a desigualdade de renda como determinantes críticos da insegurança alimentar.

A interseção entre desigualdade de renda, desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental tem sido amplamente investigada. Sun et al. (2023) exploram o impacto da desigualdade de renda, recursos naturais, desenvolvimento humano e qualidade institucional na pegada ecológica em

países de 1990 a 2018, revelando que a desigualdade de renda tem um efeito negativo significativo sobre o ecossistema e amplia as disparidades sociais, exacerbando a pegada ecológica.

Khan & Yahong (2022) investigam a relação entre desigualdade de renda, emissões de carbono e pegada ecológica em economias asiáticas em desenvolvimento, confirmando que a desigualdade de renda contribui para a degradação ambiental e sugerindo que políticas para reduzir a desigualdade são cruciais para a sustentabilidade ambiental. Idrees & Majeed (2022) analisam a relação entre desigualdade de renda e desenvolvimento financeiro no Paquistão, encontrando uma relação não linear entre crescimento econômico e qualidade ambiental. Khan et al. (2022) e Uzar (2020) estudam como pobreza e desigualdade de renda afetam a pegada ecológica em economias asiáticas em desenvolvimento, e investigam o impacto da desigualdade de renda no consumo de energia renovável, respectivamente. Ambos os estudos revelam que a desigualdade de renda e a pobreza contribuem para a degradação ambiental, influenciando, inclusive, na disponibilidade hídrica.

Diversos estudos têm investigado as problemáticas do acesso à disponibilidade hídrica, energia e saneamento. Nwani & Osuji (2020) destacam que o desenvolvimento econômico e o consumo de energia per capita são fundamentais para a redução da pobreza na África Subsaariana, enquanto a falta de acesso à recursos hídricos agrava a pobreza.

Neste sentido, Young et al. (2022) e Nkiaka (2022) exploram a insegurança hídrica, com Young et al. examinando disparidades durante a pandemia de Covid-19 em países de baixa e média renda, e Nkiaka desenvolvendo um Índice de Segurança Hídrica que considera governança, PIB per capita e educação feminina. Em linha a estes autores, Mao et al. (2022) propõem a Curva de Kuznets para explicar a desigualdade na disponibilidade hídrica, encontrando uma relação linear significativa entre a desigualdade hídrica e o status socioeconômico em 22 países.

No Brasil, García et al. (2024) analisam o impacto das hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio, revelando que muitas famílias ainda dependem de geradores a diesel e enfrentam aumentos nos preços da eletricidade, evidenciando injustiças no acesso à energia. Elisa Palagi et al. (2022) investigam como anomalias de precipitação influenciam a desigualdade de renda,

mostrando que tanto chuvas excessivas quanto insuficientes exacerbam a desigualdade de infraestrutura, especialmente em países agrícolas.

A infraestrutura é crucial para o desenvolvimento econômico e a mitigação das desigualdades sociais. Buchanan et al. (2020) destacam a ameaça do aumento do nível do mar e das inundações costeiras às moradias acessíveis nos EUA, especialmente em Nova Jersey, Nova York e Massachusetts. Nugraha et al. (2020) analisam na Indonésia o impacto da infraestrutura no crescimento econômico e na desigualdade de renda, concluindo que estradas são vitais para o crescimento, mas a falta de empregos aumenta a desigualdade. De forma análoga, Sarkodie & Adams (2020) examinam na África do Sul como o acesso à eletricidade, a desigualdade de renda e a corrupção afetam o desenvolvimento humano, revelando que a desigualdade de renda inesperadamente melhora o acesso à eletricidade, enquanto a corrupção o prejudica.

Nesta mesma linha, Sinha et al. (2022) analisam a desigualdade global de acesso à energia, destacando um aumento significativo de 1990 a 2019. De forma análoga, Acheampong et al. (2021) investigam em 166 países a relação entre acesso à energia e desigualdade de renda, descobrindo que o acesso à eletricidade reduz a desigualdade globalmente, enquanto o acesso à energia moderna e limpa a aumenta. Esses estudos mostram a complexa interação entre infraestrutura, desenvolvimento econômico, desigualdade de renda e vulnerabilidade ambiental.

Estas evidências demonstram que as mudanças climáticas agravam desigualdades econômicas e sociais globalmente, com impactos variando conforme a região devido a diferentes níveis de vulnerabilidade e capacidade de adaptação, conforme medido pelo ND-GAIN. A América Latina enfrenta desafios significativos devido à desigualdade e infraestrutura precária, enquanto a escassez hídrica é crítica na África do Norte e Oriente Médio. Segurança alimentar e silvicultura sustentável são severamente afetadas em diversas regiões, e os países mais pobres, com alta dependência de recursos naturais, mostram-se mais vulneráveis. Estudos indicam que características macroeconômicas e políticas climáticas adequadas são essenciais para mitigar esses impactos, com necessidade de análises detalhadas dos mecanismos envolvidos para promover uma adaptação eficaz e justa às mudanças climáticas.

3. Metodologia

Este estudo investiga a relação entre desigualdade social e vulnerabilidade climática em 50 países ao longo de 10 anos, utilizando dados do World Data Bank (2024) e da Universidade de Notre Dame (2024). A escolha do período e do número de países se deu em razão da disponibilidade dos dados, buscando um equilíbrio entre o número de anos e de painéis (países).

A metodologia aplicada classifica-se como uma análise causal de dados de painel, utilizando a análise de causalidade de Granger, um conceito estatístico que determina se uma série temporal pode prever outra, permitindo informar cenários futuros relacionados ao meio ambiente.

Foram consideradas duas variáveis principais: o Índice GINI e o Índice ND-GAIN. O Índice GINI mede a desigualdade na distribuição de recursos finitos, como renda ou riqueza, avaliando o bem-estar social, a pobreza e o desenvolvimento econômico. O ND-GAIN, por sua vez, é um indicador da vulnerabilidade climática a nível de país, onde um valor elevado indica menor vulnerabilidade às alterações climáticas. Este índice avalia a vulnerabilidade considerando seis setores de apoio à vida: segurança alimentar, disponibilidade hídrica, saúde, serviços ecossistêmicos, habitat humano e infraestruturas.

O estudo também analisou os subgrupos do ND-GAIN para compreender de forma mais detalhada como cada setor se relaciona com a desigualdade social. O primeiro passo da análise envolveu a estatística descritiva, que permitiu compreender a distribuição dos dados. Em seguida, foi realizado o teste de raiz unitária para verificar a estacionariedade das séries temporais das variáveis estudadas, assegurando que os dados fossem adequados para análise de painel. Posteriormente, aplicou-se o teste de cointegração de Pedroni para identificar dependências de longo prazo entre as variáveis, indicando se há uma relação de equilíbrio entre elas. Por fim, foi utilizado o teste de causalidade de Granger, que permite concluir a causalidade e a direção da influência entre as variáveis estudadas, determinando se uma variável pode ser usada para prever outra.

3.1. Método de raiz unitária

Testes de causalidade operam sob o pressuposto de que as séries temporais sob escrutínio exibem estacionariedade, portanto, as avaliações de estacionariedade devem vir antes dos exames de causalidade. Em um sentido geral, um processo estocástico é considerado estacionário quando sua média e dispersão permanecem consistentes com o tempo, e a correlação entre dois segmentos de tempo depende apenas da lacuna temporal entre eles, a saber:

$$\begin{aligned}
 \text{Média: } E(y_{i,t}) &= \mu_i \\
 \text{Variância: } \text{var}(y_{i,t}) &= E(y_{i,t} - \mu_i)^2 = \sigma_i^2 \\
 \text{Covariância: } \gamma_{i,k} &= E(y_{i,t} - \mu_i)(y_{i,t+k} - \mu_i)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Os processos estocásticos estacionários a serem testados pelo teste de raiz unitária são descritos na Equação (2, 3 e 4):

$$y_{i,t} = \alpha_i y_{i,t-1} + \mu_{i,t} \tag{2}$$

$$y_{i,t} = \delta_i + \alpha_i y_{i,t-1} + \mu_{i,t} \tag{3}$$

$$y_{i,t} = \delta_i + \phi_i T + \alpha_i y_{i,t-1} + \mu_{i,t} \tag{4}$$

A equação (2) introduz o conceito de um processo estocástico, enquanto a equação (3) estende isso para incluir o deslocamento, e a equação (4) incorpora ainda mais um componente de tendência. Pesquisas recentes indicam que o emprego de dados em painel para testes de raiz unitária gera maior poder estatístico em comparação com o uso de dados de séries temporais individuais (EVWIES, 2017). Neste estudo, foi empregado o teste de raiz unitária proposto por Levin, Lin e Chu (2002), conforme descrito na Equação (5).

$$\Delta y_{i,t} = \alpha y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{\rho_i} \beta_{i,t-j} + X'_{i,t} \delta + \varepsilon_{i,t} \tag{5}$$

em que Δy denota o operador em primeira diferença da variável endógena e ρ_i é o lag máximo. Assume-se um comum $\alpha = \rho - 1$, mas permite-se que a ordem de atraso para os termos de diferença, ρ_i , varie entre as seções transversais, X' é a variável exógena do modelo e ε é o erro do modelo. As hipóteses nula e alternativa para os testes são descritas na equação (6 e 7):

$$H_0 : \alpha = 0 \quad (6)$$

$$H_1 : \alpha < 0 \quad (7)$$

As equações (6) e (7) apresentam as hipóteses nula e alternativa para os testes de raiz unitária.

3.2. Método de Cointegração em painel

Após a identificação dos componentes de tendência em cada variável, a realização de uma análise de cointegração torna-se imperativa para explorar a associação entre variáveis não estacionárias. A cointegração ocorre quando uma combinação linear de séries não estacionárias resulta em uma série estacionária (Alexander, 2001). Duas variáveis são consideradas cointegradas quando um equilíbrio de longo prazo é estabelecido entre elas, conforme destacado por Gujarati e Porter (2011). A metodologia de cointegração de Pedroni (2004) foi utilizada para detectar relações duradouras entre variáveis. O teste de cointegração de Pedroni é formulado na Equação.

$$y_{i,t} = \alpha_i + \delta_i t + \sum_{m=1}^M \beta_{m,i} X_{m,i,t} + e_{i,t} \quad (8)$$

Onde α_i , $\delta_i t$ e m denotam a interceptação específica do país, o componente de tendência determinística e o número de regressores, respectivamente.

3.3. Método de causalidade de Granger com dados em painel

No contexto de um sistema bivariado de séries temporais, representado como $x_{i,t}$ e $y_{i,t}$, conjuntamente estacionário, a relação entre as variáveis x e y é avaliada. A causalidade de Granger é estabelecida quando os valores defasados de x fornecem poder preditivo significativo para y , mesmo após considerar os valores anteriores de y entre as variáveis explicativas, conforme descrito nas Equações (9) e (10).

$$y_{i,t} = \alpha_{0,i} + \alpha_{1,i} y_{i,t-1} + \dots + \alpha_{i,i} y_{i,t-1} + \beta_{1,i} x_{i,t-1} + \dots + \beta_{i,i} x_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

$$x_{i,t} = \alpha_{0,i} + \alpha_{1,i} x_{i,t-1} + \dots + \alpha_{i,i} x_{i,t-1} + \beta_{1,i} y_{i,t-1} + \dots + \beta_{i,i} y_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

grande parte, na América do Sul e Europa, com menor proporção na América do Norte e uma pequena parte dos países investigados está localizada na Ásia e Oceania. A amostra de 50 países abrange, aproximadamente, 1,7 bilhões de pessoas. Analisar essas regiões justifica-se devido às suas diferentes características e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas.

Na América do Sul, por exemplo, a dimensão continental do Brasil com suas características regionais dos biomas e a desigualdade socioeconômica são fatores determinantes dos impactos dos eventos extremos. As mudanças climáticas afetam de maneira desigual as grandes regiões brasileiras, influenciadas pela densidade populacional (Perez, 2020).

Nos Estados Unidos, uma das maiores potências das Américas, estudos têm sido realizados visando a aquisição estratégica de terras em áreas propensas a inundações. Tais ações podem proporcionar benefícios econômicos significativos, distribuição equitativa de benefícios e redução da exposição da população aos riscos de inundação, destacando o potencial de adaptação às inundações em todo o país (Zhang, 2023).

A Ásia é uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas, com grandes variações nos impactos devido à sua diversidade geográfica. O aumento da desigualdade de renda é identificado como um fator prejudicial que afeta o meio ambiente nos países asiáticos em desenvolvimento. Estudos investigam empiricamente a relação entre pobreza, desigualdade de renda e ecossistema (Khan, 2022). Além disso, pesquisas realizadas por Nugraha et al. (2020) concluíram que o desenvolvimento de infraestrutura, especialmente básica e de transporte, pode reduzir a desigualdade de renda na Indonésia.

Na Europa, a União Europeia (UE) reconheceu a importância da sustentabilidade do solo, incentivando práticas agrícolas ecologicamente corretas. O papel abrangente dos solos na humanidade e seu profundo impacto no ecossistema, nas mudanças climáticas, na sustentabilidade, na produção de alimentos e em nossos hábitos alimentares ressaltam a natureza interconectada dos sistemas globais (Gama, 2023).

A análise em parte destas nações é essencial para compreender as diferentes maneiras pelas quais as mudanças climáticas afetam distintas partes do mundo. Cada continente possui características únicas em termos de densidade populacional, desenvolvimento socioeconômico e infraestrutural,

biomas e políticas ambientais, o que resulta em impactos variados e desiguais.

4.1. Estatística descritiva

A seguir, apresentamos a Tabela 2, que descreve as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na pesquisa, incluindo medidas de tendência central (média e mediana), dispersão (mínimo, máximo e desvio padrão), e as distribuições das variáveis (assimetria e curtose). Esses dados fornecem uma visão geral das características das variáveis analisadas, como o índice de Gini, ND-GAIN, e outros indicadores relacionados à vulnerabilidade climática e desigualdade social.

Tabela 2 - estatística descritiva das variáveis utilizadas na pesquisa

| Variáveis | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão | Assimetria | Curtose * |
|--------------------------------|-------|---------|--------|--------|---------------|------------|-----------|
| GINI | 0,36 | 0,35 | 0,23 | 0,55 | 0,07 | 0,60 | -0,31 |
| ND-GAIN | 0,58 | 0,58 | 0,41 | 0,75 | 0,08 | 0,12 | -0,91 |
| Disponibilidade hídrica | 0,33 | 0,33 | 0,18 | 0,53 | 0,08 | 0,35 | -0,01 |
| Ecosistema Segurança alimentar | 0,39 | 0,40 | 0,22 | 0,56 | 0,08 | -0,11 | -0,79 |
| Saúde | 0,34 | 0,35 | 0,11 | 0,57 | 0,10 | -0,30 | -0,53 |
| Infraestrutura | 0,32 | 0,31 | 0,15 | 0,53 | 0,09 | 0,28 | -1,07 |
| | 0,27 | 0,26 | 0,15 | 0,58 | 0,09 | 0,87 | 0,40 |

Legenda: * Excesso de curtose. Fonte: Elaboração própria (2024)

A seleção da amostra foi realizada após a integração dos dados disponíveis nos relatórios, demonstrando que a média e a mediana do Índice de Gini são bastante próximas, indicando uma distribuição relativamente simétrica, embora a assimetria positiva sugira uma leve concentração de países com desigualdade acima da média. A curtose negativa indica que a distribuição é mais plana que a normal, ou seja, os valores extremos (tanto altos quanto baixos) não são tão comuns.

O ND-GAIN, tem uma distribuição próxima da simetria, como indicado pela baixa assimetria (0,12). O excesso de curtose negativa (-0.91) sugere que a maioria dos países não está nos extremos da vulnerabilidade ou prontidão, mas sim no meio da distribuição. A variação nos valores (desvio padrão) é relativamente baixa, indicando que a maioria dos países tem um índice ND-GAIN similar.

Para os subgrupos do ND-GAIN, têm-se variável "Disponibilidade hídrica", que valia a disponibilidade, acessibilidade e qualidade da água, além da infraestrutura hídrica existente. Esse subgrupo mede a exposição a estresse hídrico, a variabilidade na precipitação, e a dependência de fontes de água externas. Tal variável apresentou uma média de 0,33 e mediana igual, com valores mínimos e máximos de 0,18 e 0,53, respectivamente mostra que a oferta hídrica é relativamente baixa e uniforme entre as regiões estudadas. A baixa variabilidade, com desvio padrão de 0,08, indica que a situação hídrica não varia muito. A assimetria de 0,35 e a curtose de -0.01 sugerem uma distribuição levemente inclinada à direita e quase mesocúrtica, ou seja, algumas regiões podem estar enfrentando uma disponibilidade hídrica mais crítica, enquanto a curtose próxima de zero (-0,01) indica uma distribuição quase normal, sem extremos significativos.

A variável "Ecossistema" tem como objetivo medir a capacidade dos ecossistemas de fornecer serviços essenciais, como a regulação do clima, a provisão de recursos naturais, e a biodiversidade. Esse subgrupo que avalia a degradação ambiental e a pressão sobre os recursos naturais apresentou média e mediana próximas (0,39 e 0,40, respectivamente), mostra que estão em um estado geral razoável, mas com algumas variações regionais. com uma amplitude de 0,22 a 0,56, e uma assimetria ligeiramente negativa (-0,11) e curtose de -0.79, com uma distribuição platicúrtica e levemente inclinada à esquerda, indicando que a maioria dos ecossistemas pode estar enfrentando níveis mais baixos de estresse ambiental.

O subgrupo "Segurança Alimentar" avalia a capacidade de um país de garantir a segurança alimentar para sua população. Considera, por exemplo, a dependência de importação de alimentos, a produção agrícola, a estabilidade dos preços dos alimentos, e o acesso a uma dieta nutritiva. Neste sentido, a variável "Segurança Alimentar" possui uma média de 0,34 e mediana de 0,35, com valores variando de 0,11 a 0,57 indicam uma situação relativamente estável, mas com alguma variabilidade. A distribuição é levemente assimétrica para a esquerda (-0.30) e platicúrtica (-0.53) sugerindo que algumas regiões podem estar enfrentando maiores desafios alimentares, enquanto a curtose de -0,53 indica uma distribuição um pouco achatada, com menos extremos severos na segurança alimentar.

A variável "saúde" busca avaliar a saúde pública, incluindo a prevalência de doenças sensíveis ao clima (como malária e dengue, por exemplo), a capacidade dos sistemas de saúde, e a vulnerabilidade a ondas de calor e outros impactos climáticos. Em outras palavras, mede os resultados que as mudanças climáticas tem na saúde humana. Esse subgrupo apresenta uma média de 0,32 e mediana de 0,31, com valores entre 0,15 e 0,53, indicam uma situação de saúde geral que pode estar um pouco abaixo da média, assimetria positiva de 0,28 e curtose negativa de -1,07, indicando uma distribuição achatada e levemente inclinada à direita, indicando que algumas regiões enfrentam problemas de saúde mais graves, enquanto a curtose mais acentuada de -1,07 reflete uma distribuição mais achatada, com menos casos extremos.

Por fim, a variável "infraestrutura" avalia a robustez das infraestruturas essenciais, como transportes, energia, comunicações e saneamento. Esse subgrupo avalia a exposição a eventos extremos e a capacidade de recuperação das infraestruturas. Na amostra selecionada, observou-se média igual a 0,27 e mediana de 0,26, variando entre 0,15 e 0,58 (mínimo e máximo). Esses resultados apresentam um panorama de infraestrutura relativamente baixa, mas consistente, com a maior assimetria positiva (0,87) e a única curtose positiva (0,40) entre as variáveis analisadas, sugerindo uma distribuição mais alongada e inclinada à direita indicando que a infraestrutura em algumas áreas pode estar enfrentando desafios significativos devido a eventos climáticos extremos e aumento da demanda.

De modo geral, a análise das variáveis revela uma predominância de distribuições platicúrticas, indicando uma possível variabilidade nos dados e menor probabilidade de valores extremos. Essa métrica estatística não auxilia diretamente no teste de raiz unitária, mas pode fornecer informações preliminares úteis para interpretar os resultados de outros testes, como observa-se no teste de raiz unitária, na tabela 3.

4.2. Teste de raiz unitária

A interpretação dos resultados do teste de raiz unitária, apresentados na tabela 3, envolve a análise dos valores de estatísticas e sua significância para determinar se as séries temporais são estacionárias ou não. A hipótese nula (H_0)

no teste representa uma raiz unitária, ou seja, a série é não estacionária. Se a hipótese nula é rejeitada, podemos concluir que a série é estacionária.

Tabela 3 - Teste de raiz unitário para as variáveis utilizadas na pesquisa

| Variável | Lag | Trend | Const | None |
|-------------------------|-----|------------|------------|-------------|
| GINI | 0 | 100,954 | 102,893 | 155,258 *** |
| | 1 | 165,832*** | 194,152*** | 533,352*** |
| ND-GAIN | 0 | 298,992*** | 251,294*** | 44,155 |
| | 1 | 187,232*** | 311,886*** | 474,708*** |
| Disponibilidade hídrica | 0 | 120,095** | 171,197*** | 146,934*** |
| | 1 | 138,383*** | 161,663*** | 282,367*** |
| Ecossistema | 0 | 257,917*** | 297,856*** | 74,305 |
| | 1 | 196,505*** | 280,774*** | 407,705*** |
| Segurança Alimentar | 0 | 126,631** | 114,901* | 109,732 |
| | 1 | 148,372*** | 215,660*** | 354,995*** |
| Saúde | 0 | 82,418 | 98,524 | 158,885*** |
| | 1 | 103,695* | 122,418* | 208,867*** |
| Infraestrutura | 0 | 113,862* | 123,208** | 104,752 |
| | 1 | 151,070*** | 178,459*** | 306,664*** |

Legenda: * significância de 10%; ** significância de 5%; *** significância de 1%; None: Modelo determinístico sem tendência e sem intercepto; Const: Modelo determinístico com intercepto, mas sem tendência; Trend: Modelo determinístico que inclui tanto o intercepto quanto uma tendência. Fonte: Elaboração Própria (2024)

A Tabela 3 apresenta os resultados para diferentes especificações do modelo de teste de raiz unitária, que é utilizado para verificar a presença de raiz unitária nas séries temporais analisadas. Foram testados três modelos: com tendência e intercepto (Trend – indicando que a série retorna ao seu nível de tendência ao longo do tempo), com apenas intercepto (Const – sugerindo que a série retorna a um nível constante, sem tendência), e sem tendência nem intercepto (None – indicando que a série flutua ao redor de zero, sem uma tendência definida). A hipótese nula do teste de raiz unitária considera que a série possui uma raiz unitária, ou seja, que ela não é estacionária. Para esta análise, foram considerados dois níveis de defasagem: lag 0 (variável em nível) e lag 1 (primeira diferença).

A Tabela 3 apresenta os resultados dos testes de raiz unitária para diversas variáveis, utilizando diferentes especificações do modelo (Trend, Const, e None) e dois níveis de defasagem (lag 0 e lag 1). O número de asteriscos (*) indica o nível de significância estatística dos resultados. Um asterisco (*) indica uma significância de 10%, dois asteriscos (**) indicam uma significância de 5%, e três asteriscos (***) indicam uma significância de 1%. Estes testes ajudam a

determinar a estacionariedade das séries temporais e são essenciais para avaliar a presença de raiz unitária.

Para a variável GINI, os resultados mostram que, enquanto a série não é estacionária no lag 0 para nenhum dos modelos, ela se torna estacionária no lag 1, com evidências significativas de raiz unitária especialmente nos modelos Trend e Const. Isso sugere que a série é estacionária somente após a transformação na forma de primeira diferença.

A variável ND-GAIN também não apresenta estacionariedade no lag 0, mas se torna estacionária no lag 1 para todos os modelos, com resultados altamente significativos, indicando que a série exige a transformação para atingir a estacionariedade.

Para Disponibilidade hídrica, no lag 0 (dados em nível) a série rejeitou a hipótese nula do teste de raiz unitária denotando que a série é estacionária, não havendo necessidade de transformação. A variável Ecossistema demonstra uma situação oposta: é não estacionária no lag 0, mas se torna estacionária no lag 1 (primeira diferença), com resultados significativos em todos os modelos.

A Segurança Alimentar mostra evidências de estacionariedade em alguns modelos no lag 0, mas a transformação para lag 1 revela uma maior robustez da estacionariedade, especialmente nos modelos Trend e Const. Para a variável Saúde, a série não é estacionária no lag 0, exceto no modelo None, mas se torna estacionária no lag 1, com evidências significativas, sugerindo que a primeira diferença é necessária para alcançar a estacionariedade.

Finalmente, a variável Infraestrutura também não apresenta estacionariedade no lag 0, mas mostra evidências de estacionariedade no lag 1, com significância elevada em todos os modelos, especialmente nos modelos Trend e Const. Esses resultados indicam que para várias variáveis, a transformação na forma de primeira diferença (lag 1) é crucial para alcançar a estacionariedade, evidenciando a necessidade de aplicar essas transformações para análises subsequentes.

4.3. Teste de Cointegração de Pedroni

Observa-se na Tabela 4 que o Teste de Cointegração de Pedroni foi aplicado para investigar a relação de longo prazo entre o Índice de Gini (GINI) e

o índice ND-GAIN e seus sub-grupos (Disponibilidade Hídrica, Segurança Alimentar, Saúde, Ecossistema e Infraestrutura), no período de 2012 a 2021.

Tabela 4 - Teste de Cointegração de Pedroni aplicado para as variáveis: GINI, ND-GAIN, Disponibilidade hídrica, Segurança Alimentar, Saúde, Ecossistema e Infraestrutura para o período de 2012 a 2021

| | | Trend | Const | None |
|---|-----|------------|------------|-----------|
| GINI cointegrada a ND-GAIN | r<1 | -8,444*** | -2,140*** | -3,954*** |
| | r<2 | -6,036*** | -1,320* | -4,718*** |
| | r<3 | -2,061*** | -0,395 | -1,526* |
| | r<4 | -10,180*** | -4,535*** | -4,338*** |
| GINI cointegrada Disponibilidade hídrica | r<1 | -10,513*** | -6,254*** | -4,592*** |
| | r<2 | -5,773*** | -3,844*** | -3,766*** |
| | r<3 | -3,121*** | -3,254*** | -3,055*** |
| | r<4 | -9,358*** | -19,173*** | -9,981*** |
| GINI cointegrada Segurança Alimentar | r<1 | -9,611*** | -3,949*** | -4,275*** |
| | r<2 | -8,595*** | -3,154*** | -3,748*** |
| | r<3 | -1,342* | -3,090*** | -6,137*** |
| | r<4 | -2,131*** | -4,534*** | -5,054*** |
| GINI cointegrada Saúde | r<1 | -11,290*** | -8,657*** | -7,070*** |
| | r<2 | -6,410*** | -5,484*** | -4,956*** |
| | r<3 | -1,077* | -4,217*** | -4,209*** |
| | r<4 | -8,114*** | -6,812*** | -6,080*** |
| GINI cointegrada Ecossistema | r<1 | -9,731*** | -0,210 | -2,089*** |
| | r<2 | -7,788*** | -0,132 | -2,798*** |
| | r<3 | -1,865** | 1,76 | -3,430*** |
| | r<4 | -1,115* | -2,392*** | -6,743*** |
| GINI cointegrada Infraestrutura | r<1 | -10,151*** | -3,634*** | -2,353*** |
| | r<2 | -8,303*** | -3,207*** | -3,286*** |
| | r<3 | -1,194* | -1,128* | -3,087*** |
| | r<4 | -9,502*** | -3,743*** | -9,532*** |

Legenda: * significância de 10%; ** significância de 5%; *** significância de 1%; None: sem tendência e sem intercepto; Const: com intercepto; Trend: com intercepto e com tendência. Fonte: Elaboração Própria (2024).

O teste foi conduzido em três especificações: sem tendência e sem intercepto (None), com intercepto (Const), e com intercepto e tendência (Trend). A hipótese nula do teste é que as séries temporais não são cointegradas, enquanto a hipótese alternativa é que as séries temporais são cointegradas. Rejeitar a hipótese nula indica que existe uma relação de longo prazo estável entre as variáveis analisadas.

A tabela 4 demonstra a rejeição da hipótese nula, denotando a existência de uma relação robusta e de longo prazo entre o Índice Gini e o ND-GAIN, com evidências consistentes de cointegração em todas as especificações. No modelo com tendência e intercepto (Trend), a hipótese nula de ausência de cointegração é rejeitada em todos os ranks (r<1, r<2, r<3 e r<4) com significância a 1%. Nos

modelos com intercepto (Const) e sem tendência e intercepto (None), a rejeição ocorre em $r < 1$ e $r < 2$, e $r < 1$ e $r < 4$, respectivamente. Isso sugere uma conexão significativa entre desigualdade socioeconômica e vulnerabilidade climática, reforçada por estudos de Cevik e Jalles (2023), Tan-Soo et al. (2023), Sheng et al. (2023), Taconet et al. (2020), Pérez-Peña et al. (2021), e o IPCC (2023). Esses estudos indicam que a desigualdade socioeconômica amplifica a vulnerabilidade das populações mais pobres aos impactos das mudanças climáticas, agravando as disparidades sociais e econômicas, especialmente em países em desenvolvimento.

A mesma tabela demonstra uma cointegração robusta entre o Índice Gini e o subgrupo de Disponibilidade Hídrica, com a hipótese nula sendo rejeitada em todas as especificações e ranks com significância a 1%. Isso indica uma relação de longo prazo significativa entre desigualdade e acesso aos recursos hídricos. O resultado reforça a conexão discutida por Namdar, Karami & Keshavarz (2021), que apontam como a escassez de água, especialmente em regiões como o Norte da África e o Oriente Médio, agrava a desigualdade e a vulnerabilidade climática.

A evidência de cointegração entre o Índice Gini e a variável Segurança Alimentar é encontrada em algumas especificações e ranks, mas não de forma consistente. No modelo com tendência e intercepto, a hipótese nula é rejeitada para $r < 1$, $r < 2$ e $r < 4$, com significância variando de 1% a 5%. Nos modelos com intercepto e sem tendência e intercepto, a rejeição é mais irregular. Isso sugere uma relação de longo prazo entre desigualdade e segurança alimentar que pode ser menos estável. A irregularidade indica uma relação mais complexa e variável, conforme discutido por Alpino et al. (2022) e Prasad et al. (2021), refletindo a influência da desigualdade de renda na segurança alimentar e a variação dessa relação segundo as condições regionais específicas

A análise mostra evidências robustas de cointegração entre o Índice Gini e o subgrupo Saúde em todas as especificações e ranks. No modelo com tendência e intercepto, a hipótese nula é rejeitada para $r < 1$, $r < 2$ e $r < 4$ com significância a 1%. Nos modelos com intercepto e sem tendência e intercepto, a rejeição é consistente para todos os ranks, indicando uma relação de longo prazo estável. Isso confirma que a desigualdade de saúde é fortemente influenciada pelas condições socioeconômicas adversas agravadas pelas mudanças

climáticas, como discutido por Chen & Wang (2021) e Knifton & Inglis (2020).

A evidência de cointegração entre o Índice Gini e a variável Ecosistema é mais fraca. No modelo com tendência e intercepto, a hipótese nula é rejeitada apenas para $r < 2$ e $r < 3$, com significância a 5% e 1%, respectivamente. No modelo com intercepto, a rejeição ocorre apenas para $r < 2$, e no modelo sem tendência e intercepto, não há rejeição significativa. Isso sugere uma relação menos estável entre desigualdade e ecossistemas. Estudos de Khan & Yahong (2022) e Sun et al. (2023) indicam que, embora desigualdade de renda e degradação ambiental estejam interligadas, os efeitos variam com as características regionais e políticas de gestão ambiental.

A evidência de cointegração entre o Índice Gini e Infraestrutura é consistente e robusta, com a hipótese nula sendo rejeitada em todas as especificações e ranks com significância a 1%. Isso indica uma relação de longo prazo sólida entre desigualdade de renda e qualidade da infraestrutura. Estudos de Buchanan et al. (2020) e Nugraha et al. (2020) confirmam que a desigualdade é fortemente influenciada pela infraestrutura disponível, que pode mitigar desigualdades e melhorar a adaptação às mudanças climáticas..

A análise do teste de cointegração de Pedroni revela uma relação de longo prazo entre o Índice Gini e a maioria das variáveis estudadas, exceto Segurança Alimentar e Ecosistema, onde a evidência é menos consistente. A cointegração é mais robusta com ND-GAIN, Disponibilidade Hídrica, Saúde e Infraestrutura, indicando inter-relações significativas ao longo do tempo. Em nível de análise, o Índice Gini cointegra com todas as variáveis e modelos, mostrando valores altamente significativos e rejeitando a hipótese nula de ausência de cointegração, sugerindo a possibilidade de causalidade, embora a cointegração não seja necessária para a causalidade. Esses resultados têm implicações para modelagens econômicas e políticas sobre desigualdade e desenvolvimento, sugerindo possíveis fluxos causais entre as variáveis, como indicado no teste de Causalidade de Granger na Tabela 5.

4.4. Teste de causalidade de Granger

Teste de causalidade de Granger é uma técnica estatística usada para determinar se uma série temporal pode prever outra série temporal. Não se trata

de causalidade no sentido estrito, mas sim de uma precedência temporal e de capacidade preditiva. O teste de causalidade de Granger (Tabela 5) foi aplicado para investigar a relação entre o índice de Gini (uma medida de desigualdade econômica) e os setores de vulnerabilidade do índice ND-GAIN (*Notre Dame Global Adaptation Initiative*) que mede a vulnerabilidade e prontidão para a adaptação às mudanças climáticas.

Tabela 5 - Teste de Causalidade de Granger aplicado às variáveis relacionadas ao índice GINI e ao ND-Gain index e seus subgrupos

| | Δ ND- GAIN | Δ GINI | Disp o nibilidade hídri ca | Δ GINI | Δ Segu rança Alime n tar | Δ GINI | Δ saúd e | Δ GINI | Δ Infra estr tura | Δ GINI | Δ eco sist e ma | Δ GINI |
|---------|-------------------------|-------------------------|--|--|--|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | → | → | → | → | → | → | → | → | → | → | → | → |
| | | Δ ND- GAIN | | Disp o nibilidade hídri ca | Δ Segu rança Alim e n tar | Δ GINI | Δ GINI | Δ saúd e | Δ GINI | Δ Infra estr tura | Δ GINI | Δ eco sist e ma |
| La g | Δ GINI | Δ ND- GAIN | Δ GINI | Δ GINI | Δ GINI | Δ GINI | Δ GINI | Δ saúd e | Δ GINI | Δ GINI | Δ GINI | Δ GINI |
| 1 | 0,42 | 0,00 | 7,34 *** | 1,03 | 0,17 | 0,05 | 1,76 | 0,00 | 0,14 | 0,14 | 0,05 | 0,12 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0,03 | 1,78 | 4,34 ** | 0,01 | 0,59 | 2,38 * | 0,92 | 1,49 | 0,17 | 0,41 | 1,13 | 1,12 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,22 | 0,82 | 1,54 | 0,05 | 1,29 | 1,86 | 0,55 | 1,18 | 1,45 | 0,38 | 0,76 | 0,47 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0,45 | 1,43 | 1,14 | 0,06 | 2,53 ** | 2,28 * | 0,54 | 1,84 | 1,94 | 1,49 | 0,93 | 0,71 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1,00 | 1,11 | 1,86 | 0,39 | 2,48 ** | 1,63 | 0,64 | 1,36 | 1,61 | 0,76 | 1,53 | 0,78 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1,04 | 0,60 | 2,25 ** | 0,89 | 2,61 ** | 1,16 | 1,62 | 2,22 ** | 2,30 ** | 1,08 | 1,67 | 0,84 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0,81 | 1,15 | 0,65 | 1,72 | 1,73 | 1,31 | 1,36 | 1,07 | 1,81 * | 1,24 | 1,18 | 0,53 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 1,23 | 0,99 | 1,28 | 3,79 | 1,81 | 0,93 | 1,07 | 3,30 *** | 1,12 | 1,98 * | 1,19 | 0,62 |
| Sig. | | | | | | | | | | | | |

Legenda: * significância de 10%; ** significância de 5%; *** significância de 1%; Δ : primeira diferença; →: Não Causa Granger. Fonte Elaboração Própria (2024).

Observa-se na Tabela 5 que a hipótese nula de não existência de causalidade entre o Índice GINI, que mede a desigualdade de renda, e o Índice ND-GAIN, que avalia a capacidade de adaptação de cada país às mudanças climáticas, não foi rejeitada. Essa ausência de causalidade direta pode ser explicada pela natureza multifacetada do ND-GAIN, que é composto por diversos indicadores relacionados a diferentes dimensões, como segurança alimentar,

disponibilidade hídrica, infraestrutura, saúde, e ecossistemas.

Conforme pode ser observado, cada um desses subindicadores apresenta diferentes padrões de causalidade em lags distintos em relação ao Índice GINI, conforme ilustrado na tabela. Por exemplo, a segurança alimentar e a disponibilidade hídrica mostram sinais de causalidade em lags mais curtos, enquanto a infraestrutura e a saúde apresentam relações em lags mais longos. Essa variação sugere que o impacto da desigualdade de renda sobre a capacidade de adaptação às mudanças climáticas pode se manifestar de forma indireta e fragmentada, através de diferentes subdimensões do ND-GAIN, em vez de uma relação direta e imediata entre os índices agregados.

Além disso, o fato de o ND-GAIN captar aspectos muito específicos e variados da adaptação climática pode diluir o impacto direto da desigualdade de renda, refletido no Índice GINI, tornando difícil observar uma causalidade clara e consistente em uma análise agregada. Portanto, para uma compreensão mais aprofundada dessas relações, seria necessário analisar individualmente os subindicadores do ND-GAIN em diferentes lags, ao invés de apenas considerar o índice de forma agregada.

Neste sentido, observa-se que se rejeitou a hipótese nula de inexistência de causalidade do tipo Granger entre a Disponibilidade Hídrica e o Índice GINI (lags 1, 2 e 6). Esses resultados são consistentes com a análise de Verocai & Li (2018), que destacam a importância da disponibilidade hídrica como um determinante crítico da vulnerabilidade econômica e desigualdade, especialmente em regiões com escassez de recursos hídricos, como a África do Norte e o Oriente Médio. Estudos como o de Nwani & Osuji (2020) sustentam essa análise ao apontar que a falta de acesso à recursos hídricos agrava a pobreza, impactando diretamente a capacidade de um país em lidar com mudanças climáticas.

Os atrasos temporais (lags) identificados nas relações entre a Disponibilidade Hídrica e o Índice GINI indicam que os efeitos das mudanças na disponibilidade hídrica sobre a desigualdade de renda podem não ser imediatos. Em vez disso, esses efeitos podem se manifestar ao longo do tempo, à medida que a escassez ou a abundância de recursos hídricos influenciam a capacidade das economias em responder a desafios socioeconômicos, como a pobreza e a desigualdade. O lag 1 e 2, por exemplo, sugerem que a causalidade se manifesta

rapidamente, enquanto o lag 6 indica que o impacto pode se prolongar, refletindo a natureza complexa e demorada das interações entre recursos naturais e desigualdade econômica.

Os fluxos causais nos lags 1 e 2 sugerem que a causalidade se manifesta rapidamente. Isso ocorre porque mudanças na disponibilidade hídrica podem impactar diretamente setores como a agricultura e o fornecimento de água para uso doméstico e industrial, que são fundamentais para a economia e a subsistência das populações mais vulneráveis. A resposta rápida pode refletir a sensibilidade econômica imediata às flutuações hídricas, onde a redução na oferta de água leva rapidamente ao aumento dos preços dos alimentos e à perda de empregos, ampliando a desigualdade de renda.

Por outro lado, o lag 6 indica que o impacto pode se prolongar, refletindo a natureza complexa e demorada das interações entre recursos naturais e desigualdade econômica. Esse atraso maior sugere que alguns efeitos das mudanças na disponibilidade hídrica podem acumular ao longo do tempo, à medida que as estratégias de adaptação e mitigação se esgotam, ou à medida que os efeitos ambientais e sociais mais amplos, como a degradação dos ecossistemas ou a migração forçada, começam a impactar a desigualdade de forma mais pronunciada.

A Segurança Alimentar também apresentou a rejeição da hipótese nula de não causalidade sobre o Índice GINI em vários lags (4, 5 e 6), denotando que variações na segurança alimentar podem prever mudanças na desigualdade de renda. Esses achados estão alinhados com os estudos de Pérez-Peña et al. (2021) e Awad (2023), que confirmam que a insegurança alimentar intensifica a desigualdade econômica e a pobreza, com efeitos que se manifestam ao longo do tempo. A pesquisa de Alao et al. (2021) e Prasad et al. (2021) corrobora essa ideia ao destacar como a desigualdade pode afetar a nutrição e a segurança alimentar, demonstrando que a influência da desigualdade pode se manifestar de forma prolongada.

Os lags 4, 5 e 6 sugerem que o impacto da segurança alimentar sobre a desigualdade de renda é mais complexo e demorado. Diferentemente de outras variáveis que podem ter efeitos imediatos, a relação entre segurança alimentar e desigualdade pode envolver processos sociais e econômicos que levam tempo para se desenrolar. Por exemplo, a insegurança alimentar pode inicialmente ser

contida por redes de suporte social, programas governamentais ou intervenções de ajuda humanitária. No entanto, à medida que esses mecanismos se esgotam ou se mostram insuficientes, os efeitos mais profundos sobre a desigualdade de renda começam a emergir, muitas vezes em períodos subsequentes.

Esses atrasos (lags) refletem a maneira como a insegurança alimentar pode criar ciclos viciosos de pobreza e desigualdade. Em lags 4, 5 e 6, os impactos se tornam mais visíveis, possivelmente porque as famílias mais pobres enfrentam crescentes dificuldades para acessar alimentos de qualidade, resultando em desnutrição, perda de produtividade e, eventualmente, uma maior desigualdade de renda. A pesquisa de Alao et al. (2021) e Prasad et al. (2021) corrobora essa ideia ao destacar como a desigualdade pode afetar a nutrição e a segurança alimentar, demonstrando que a influência da desigualdade pode se manifestar de forma prolongada. Esses estudos sugerem que, embora as mudanças na segurança alimentar possam não ter um impacto imediato, elas gradualmente intensificam as disparidades econômicas, o que é capturado pelos lags mais longos observados na análise.

Por outra via, se observou a existência de um fluxo causal do Índice GINI sobre o subindicador Saúde (lag 6 com significância a 5%), o que indica que as mudanças na desigualdade de renda podem ter um impacto prolongado sobre a saúde da população. Esse achado é consistente com o trabalho de Chen & Wang (2021), que explora como a desigualdade social e as condições de saúde afetam o bem-estar ao longo do tempo, mostrando que a desigualdade econômica pode agravar problemas de saúde, mas que esses efeitos tendem a se manifestar gradualmente.

A pesquisa de Anser et al. (2020) e Sun, Lyu & Zhao (2020) apoia essa visão ao destacar que a desigualdade pode afetar a saúde e a segurança alimentar, sugerindo que o efeito da desigualdade econômica nas condições ambientais e na saúde é gradual e não imediato. Esse efeito retardado capturado pelo lag 6 pode ser explicado pela forma como a desigualdade econômica leva a condições de vida precárias, falta de acesso a cuidados de saúde e aumento do estresse, que, com o tempo, resultam em piores resultados de saúde para as populações mais vulneráveis.

Além disso, essa relação pode ser entendida no contexto de como a desigualdade de renda influencia determinantes sociais da saúde, como

educação, emprego, e habitação, que, por sua vez, afetam a saúde ao longo do tempo. As desigualdades persistentes em acesso a recursos críticos e serviços essenciais criam uma pressão cumulativa que se traduz em deterioração da saúde pública, especialmente em comunidades desfavorecidas. Em resumo, o lag 6 revela que o impacto da desigualdade sobre a saúde é um processo demorado, refletindo as complexas interações entre fatores econômicos, sociais e de saúde, onde os efeitos adversos da desigualdade econômica emergem gradualmente, afetando negativamente o bem-estar geral da população.

A infraestrutura apresenta causalidade significativa com o Índice GINI nos lags 6 e 7. Esses resultados indicam que variações na infraestrutura têm um efeito significativo e duradouro sobre a desigualdade de renda, sugerindo que as melhorias ou deteriorações na infraestrutura impactam a distribuição de renda ao longo do tempo, e não de forma imediata.

Esses atrasos temporais podem refletir a maneira como os investimentos ou a falta deles em infraestrutura, como transporte, energia e saneamento, afetam as oportunidades econômicas, especialmente em regiões mais pobres. Quando a infraestrutura é deficiente, o acesso a mercados, empregos, e serviços básicos se torna limitado, o que acentua as desigualdades econômicas. Esse efeito tende a se manifestar após um período, à medida que as dificuldades causadas pela falta de infraestrutura se acumulam e resultam em maiores disparidades de renda.

Esses achados são apoiados pelos estudos de Nugraha et al. (2020) e Buchanan et al. (2020), que destacam a importância da infraestrutura para o desenvolvimento econômico e a redução das desigualdades. Eles indicam que melhorias na infraestrutura podem levar a uma distribuição mais equitativa de recursos e oportunidades, reduzindo as disparidades ao longo do tempo. Por outro lado, a falta de investimentos em infraestrutura pode exacerbar a desigualdade, afetando especialmente as populações mais vulneráveis.

Além disso, os resultados indicam que os impactos da desigualdade são mais evidentes em várias áreas com um período mais longo, corroborando os achados de estudos como os de Sun et al. (2023) e Khan & Yahong (2022), que mostram que a desigualdade pode contribuir para problemas ambientais e de infraestrutura. A deterioração da infraestrutura pode, portanto, ser tanto uma causa quanto uma consequência da desigualdade, criando um ciclo vicioso onde

a falta de acesso a serviços básicos impede o desenvolvimento econômico e perpetua a pobreza.

Por fim, para o indicador de Ecossistemas, não foram encontrados resultados significativos em qualquer dos lags. Isso sugere que, apesar de ser um fator importante para a resiliência climática, as variações nos ecossistemas não têm um impacto direto e imediato sobre a desigualdade de renda. Este resultado pode indicar que a influência dos ecossistemas sobre a desigualdade econômica é mediada por outros fatores ou manifesta-se de forma mais indireta.

5. Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo analisar a relação de causalidade entre o Índice de Desigualdade Social (GINI) e as Vulnerabilidades Climáticas (ND-GAIN) em 50 países, ao longo do período de 2012 a 2021. A análise revelou uma amostra predominantemente situada na América do Sul e Europa, com menor representação na América do Norte e uma presença reduzida na Ásia e Oceania. Essa distribuição geográfica proporciona uma visão abrangente das diferentes características e vulnerabilidades climáticas que afetam as regiões analisadas.

O Teste de Cointegração de Pedroni revelou uma relação robusta e de longo prazo entre o Índice GINI e a maioria dos subgrupos do ND-GAIN, com exceção de Segurança Alimentar e Ecossistema, sugerindo uma conexão significativa entre desigualdade socioeconômica e vulnerabilidade climática, especialmente em relação a Disponibilidade Hídrica, Saúde e Infraestrutura.

Os resultados do Teste de Causalidade de Granger indicam que a desigualdade de renda pode impactar a capacidade de adaptação às mudanças climáticas de forma indireta e fragmentada através de subdimensões específicas do ND-GAIN, como segurança alimentar e disponibilidade hídrica. A ausência de uma causalidade direta entre o Índice GINI e o ND-GAIN, como um índice agregado, ressalta a complexidade dessas interações e sugere que a desigualdade de renda pode afetar a adaptação climática através de diferentes mecanismos e em diversos horizontes temporais.

Neste sentido, a disponibilidade hídrica apresentou ser uma forte influência na desigualdade social, com intervenções na gestão hídrica demonstrando

efeitos tanto imediatos quanto de médio prazo na redução da desigualdade social. A segurança alimentar também mostrou que intervenções que melhoram a segurança alimentar têm impactos significativos na redução da desigualdade social em médio prazo. Quanto à análise das condições de saúde, observou-se que não há um impacto direto imediato na desigualdade social, mas a distribuição desigual de renda pode levar a desigualdades no acesso à saúde a médio e longo prazo. A infraestrutura teve um papel significativo, com mudanças na infraestrutura causando impactos notáveis sobre a desigualdade social a médio e longo prazo.

Essas descobertas têm implicações significativas para o desenvolvimento de políticas públicas. A identificação de relações robustas entre desigualdade e vulnerabilidade climática sugere que políticas direcionadas à redução da desigualdade socioeconômica podem melhorar a resiliência climática. Investimentos em infraestrutura, saúde e segurança alimentar são particularmente cruciais. Além disso, a necessidade de uma análise mais detalhada dos subindicadores do ND-GAIN pode orientar políticas mais específicas e eficazes para abordar as vulnerabilidades climáticas de maneira mais focalizada. A integração de estratégias que abordem tanto a desigualdade quanto as vulnerabilidades climáticas pode promover um desenvolvimento mais equitativo e sustentável, contribuindo para uma maior adaptação e resiliência frente às mudanças climáticas.

6. Referências

ACHEAMPONG, A. O.; DZATOR, J.; SHAHBAZ, M. Empowering the powerless: does access to energy improve income inequality? **Energy Economics**, v. 99, p. 105288, 2021.

ALAO, R. et al. Economic inequality in malnutrition: a global systematic review and meta-analysis. **BMJ Global Health**, v. 6, n. 12, p. e006906, 2021.

AMBRIZZI, T. et al. **Mudanças climáticas e a sociedade**. São Paulo: IAG, 2021.

AMJAD, M. A. Moderating the role of social progress with greenhouse gases to determine the health vulnerability in developing countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 40, p. 92123-92134, 2023.

ANSER, M. K. et al. Dynamic linkages between poverty, inequality, crime, and social expenditures in a panel of 16 countries: two-step GMM estimates. **Journal of Economic Structures**, v. 9, p. 1-25, 2020.

ARSHED, N. et al. National strategy for climate change adaptability: a case study of extreme climate-vulnerable countries. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-18, 2023.

AWAD, A. The determinants of food insecurity among developing countries: Are there any differences? **Scientific African**, v. 19, p. e01512, 2023.

BABEL, M. S. et al. Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. **Environmental Research**, v. 185, p. 109400, 2020.

BAISERO, D. et al. Projected global loss of mammal habitat due to land-use and climate change. **One Earth**, v. 2, n. 6, p. 578-585, 2020.

BANCO MUNDIAL. World Bank Open Data. Disponível em: <https://data.worldbank.org/>. Acesso em: 01 jun, 2024.

BAUMGART, N. **Climate change impact, individual countries' vulnerability, and the preparedness of the health systems**: how is the world adapting? 2022.

BERISHA, E.; CAPRIOLI, C.; COTELLA, G. Unpacking SDG target 11. a: What is it about and how to measure its progress? **City and Environment Interactions**, v. 14, p. 100080, 2022.

BIRKMANN, J. et al. Understanding human vulnerability to climate change: A global perspective on index validation for adaptation planning. **Science of The Total Environment**, v. 803, p. 150065, 2022.

BUCHANAN, M. K. et al. Sea level rise and coastal flooding threaten affordable housing. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 12, p. 124020, 2020.

BUCTION, B. G. B. et al. Impacts of climate and land use change on groundwater recharge under shared socioeconomic pathways: A case of Siem Reap, Cambodia. **Environmental Research**, v. 211, p. 113070, 2022.

CAMARGO, A. L. de B. **Desenvolvimento sustentável: dimensões e desafios**. Papirus Editora, 2020.

CAMPBELL-LENDRUM, D. et al. Climate change and health: three grand

challenges. **Nature medicine**, v. 29, n. 7, p. 1631-1638, 2023.

CAPPELLI, F.; COSTANTINI, V.; CONSOLI, D. The trap of climate change-induced “natural” disasters and inequality. **Global Environmental Change**, v. 70, p. 102329, 2021.

CEVIK, S.; JALLES, J. T. For whom the bell tolls: Climate change and income inequality. **Energy Policy**, v. 174, p. 113475, 2023.

CHEN, C. et al. **University of Notre Dame global adaptation initiative-country index technical report**. 2024.

CHEN, D. T.; WANG, Y. Inequality-related health and social factors and their impact on well-being during the COVID-19 pandemic: findings from a national survey in the UK. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 3, p. 1014, 2021.

COVERI, A. et al. The climate change-inequality nexus and the role of mediating factors. **Emerging Economies**, n. 17, p. 10-16, 2020.

CREPALDI, B. V. C. et al. Social inequality in food consumption between 2008 and 2019 in Brazil. **Public Health Nutrition**, v. 25, n. 2, p. 214-224, 2022.

CURI-QUINTO, K.; ORTIZ-PANOZO, E.; DE ROMAÑA, D. L. Malnutrition in all its forms and socio-economic disparities in children under 5 years of age and women of reproductive age in Peru. **Public Health Nutrition**, v. 23, n. S1, p. s89-s100, 2020.

DANG, H. H.; NGUYEN, M.C.; TRINH, T. -. Does Hotter temperature increase poverty and inequality? **Global evidence from subnational data analysis**, 2023.

DEBEBE, S.; ZEKARIAS, E. Analysis of poverty, income inequality and their effects on food insecurity in southern Ethiopia. **Agriculture & Food Security**, v. 9, p. 1-12, 2020.

EVWIES. **EViews 10 User’s Guide, Advanced Single Equation Analysis, Version 10, HIS Global, Inc., Irvine, CA, USA**. Economics Letters. 2017. Disponível em: <https://www3.nd.edu/~nmark/FinancialEconometrics/EViews10_Manuals/EViews%2010%20Users%20Guide%20II.pdf>. Acesso em: 16 Jun. 2024.

FAUS, A.O. The climate change–inequality nexus: towards environmental and socio-ecological inequalities with a focus on human capabilities. **Journal of Integrative Environmental Sciences**, v. 19, n. 1, p. 163-170, 2022.

FEDERAL, Governo. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima–PNMC–Brasil. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM)**, Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima (Gex), 2015. Disponível em <<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents/Parties/Brazil/Brazil%20PNA_%20Volume%202.pdf>> .

FOX, M. et al. Integrating public health into climate change policy and planning: state of practice update. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 18, p. 3232, 2019.

GARCÍA, M. A. et al. Spatial injustice to energy access in the shadow of hydropower in Brazil. **World Development**, v. 178, p. 106570, 2024.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HALKOS, G. et al. A hierarchical multilevel approach in assessing factors explaining country-level climate change vulnerability. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4438, 2020.

HILLAYOVÁ, M. K. et al. Ongoing climatic change increases the risk of wildfires. Case study: Carpathian spruce forests. **Journal of environmental management**, v. 337, p. 117620, 2023.

HUA, T. et al. Sensitivity and future exposure of ecosystem services to climate change on the Tibetan Plateau of China. **Landscape Ecology**, v. 36, n. 12, p. 3451-3471, 2021.

IDREES, M.; MAJEED, M. T. Income inequality, financial development, and ecological footprint: fresh evidence from an asymmetric analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 19, p. 27924-27938, 2022.

JAKHAR, R. et al. A Comprehensive Study of Climate Change and their Corresponding Impacts on Environment and Lives. **International Journal**, v. 10, n. 4, 2022.

JALLES, J. T. Financial crises and climate change. **Comparative Economic**

Studies, v. 66, n. 1, p. 166-190, 2024.

KHAN, S.; YAHONG, W. Income inequality, ecological footprint, and carbon dioxide emissions in Asian developing economies: what effects what and how? **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 17, p. 24660-24671, 2022.

KNIFTON, L.; INGLIS, G. Poverty and mental health: policy, practice and research implications. **BJPsych Bulletin**, v. 44, n. 5, p. 193-196, 2020.

KOPITZKE, G. **The Gini index in the representation theory of the general linear group**. arXiv preprint arXiv:2303.08079, 2023.

LANGNEL, Z. et al. Income inequality, human capital, natural resource abundance, and ecological footprint in ECOWAS member countries. **Resources Policy**, v. 74, p. 102255, 2021.

LI, Z. et al. Impacts of projected climate change on runoff in upper reach of Heihe River basin using climate elasticity method and GCMs. **Science of the total Environment**, v. 716, p. 137072, 2020.

LIU, Y.; DONG, K.; NEPAL, R. How does climate vulnerability affect the just allocation of climate aid funds? **International Review of Economics & Finance**, v. 93, p. 298-317, 2024.

LUKWA, A. Tafadzwa et al. Socioeconomic inequalities in food insecurity and malnutrition among under-five children: within and between-group inequalities in Zimbabwe. **BMC Public Health**, v. 20, p. 1-11, 2020.

MAO, F. et al. Inequality of household water security follows a Development Kuznets Curve. **Nature communications**, v. 13, n. 1, p. 4525, 2022.

NAMDAR, R.; KARAMI, E.; KESHAVARZ, M. Climate change and vulnerability: the case of MENA countries. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 11, p. 794, 2021.

NKIAKA, E. Exploring the socioeconomic determinants of water security in developing regions. **Water Policy**, v. 24, n. 4, p. 608-625, 2022.

NUGRAHA, A. T. et al. The Role Of Infrastructure In Economic Growth And Income Inequality In Indonesia. **Economics & Sociology**, v. 13, n. 1, p. 102-115,

2020.

NWANI, S. E.; OSUJI, E. Poverty in Sub-Saharan Africa: The dynamics of population, energy consumption and misery index. **International Journal of Management, Economics and Social Sciences (IJMESS)**, v. 9, n. 4, p. 247-270, 2020.

NYIWUL, L. Climate change adaptation and inequality in Africa: Case of water, energy and food insecurity. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123393, 2021.

ORLOVE, B. The concept of adaptation. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 47, n. 1, p. 535-581, 2022.

OXFAM (2021) disponível em <<<https://www.oxfam.org/en/research/inequality-virus>>>

PAGLIALUNGA, E. et al. Climate change and inequality in a global context: Exploring climate induced disparities and the reaction of economic systems. **Univesità degli studi di Urbino" Carlo Bo"**, Facoltà di economia, 2020.

PAGLIALUNGA, E.; COVERI, A.; ZANFEI, A. Climate change and within-country inequality: New evidence from a global perspective. **World Development**, v. 159, p. 106030, 2022.

PALAGI, E. et al. Climate change and the nonlinear impact of precipitation anomalies on income inequality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 43, p. e2203595119, 2022.

PALINKAS, L. A.; WONG, M. Global climate change and mental health. **Current opinion in psychology**, v. 32, p. 12-16, 2020.

PEREZ, L. P. et al. Mudanças climáticas e desastres: análise das desigualdades regionais no Brasil. **Sustainability in Debate**, v. 11, n. 3, p. 278-296, 2020.

PÉREZ-PEÑA, M. del C. et al. Analysis of research on the SDGs: the relationship between climate change, poverty and inequality. **Applied Sciences**, v. 11, n. 19, p. 8947, 2021.

PETPONGPAN, C.; EKKAWATPANIT, C.; KOSITGITTIWONG, D. Climate change impact on surface water and groundwater recharge in Northern Thailand.

Water, v. 12, n. 4, p. 1029, 2020.

POURZAND, F.; NOY, I. Catastrophic droughts and their economic consequences. In: Oxford Research Encyclopedia of Environmental **Science**, 2022.

PRASAD, J. B.; PEZHAN, A.; PATIL, S. H. Effect of wealth, social inequality, Mother's BMI, and education level on child malnutrition in India. **Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews**, v. 15, n. 6, p. 102304, 2021.

RADOINE, H. et al. Measuring, Mapping and Simulating a Composite Territorial Vulnerability Index: Using an R Script To Support Decision-Making For Cities. **Available at SSRN 4724320, 2024.**

RELATÓRIO DO BANCO MUNDIAL (2023): Disponível em <<[https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/Climat e%20and%20Poverty%20Conference/D1S1_Hallegatte_CCandPov_9Fev_v6.p df](https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/Climat e%20and%20Poverty%20Conference/D1S1_Hallegatte_CCandPov_9Fev_v6.pdf)>>

RELATÓRIO do IPCC (2022): Disponível em <<<https://www.ipcc.ch>>>

ROCQUE, R. J. et al. Health effects of climate change: an overview of systematic reviews. **BMJ open**, v. 11, n. 6, p. e046333, 2021.

SAEED, S. et al. Climate change vulnerability, adaptation, and feedback hypothesis: a comparison of lower-middle, upper-middle, and high-income countries. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 4145, 2023.

SARKODIE, S. A.; ADAMS, S. Electricity access and income inequality in South Africa: evidence from Bayesian and NARDL analyses. **Energy Strategy Reviews**, v. 29, p. 100480, 2020.

SARKODIE, S. A.; ADAMS, S. Electricity access, human development index, governance and income inequality in Sub-Saharan Africa. **Energy Reports**, v. 6, p. 455-466, 2020.

SAOUTER, E.; GIBON, T. All You Need to Know about the Next Energy Revolution: Solutions for a Truly Sustainable Future. **Springer Nature**, 2024.

SHAH, M. A. R.; WANG, X. Assessing social-ecological vulnerability and risk to coastal flooding: A case study for Prince Edward Island, Canada. *International*

Journal of Disaster Risk Reduction, v. 106, p. 104450, 2024.

SHENG, X.; CHISADZA, C.; GUPTA, R.; PIERDZIOCH, C. Climate risk shocks and wealth inequality: Evidence from the United Kingdom. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 112, p. 102656, 2023.

DE SILVA, M. M. G. T.; KAWASAKI, A. Socioeconomic vulnerability to disaster risk: a case study of flood and drought impact in a rural Sri Lankan community. **Ecological Economics**, v. 152, p. 131-140, 2018.

SINHA, A. et al. Analyzing global inequality in access to energy: Developing policy framework by inequality decomposition. **Journal of Environmental Management**, v. 304, p. 114299, 2022.

SUN, Y. et al. How do natural resources, urbanization, and institutional quality meet with ecological footprints in the presence of income inequality and human capital in the next eleven countries? **Resources Policy**, v. 85, p. 104007, 2023.

TACONET, N.; MÉJEAN, A.; GUIVARCH, C. Influence of climate change impacts and mitigation costs on inequality between countries. **Climatic Change**, v. 160, n. 1, p. 15-34, 2020.

TANG, Y.; DUAN, H.; YU, S. Mitigating climate change to alleviate economic inequality under the Paris Agreement. **Iscience**, v. 26, n. 1, 2023.

TAN-SOO, J.; ZHANG, X.; SELIN, N. E. Temperature anomalies and subjective well-being: Evidence of climate inequality in China. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 1, p. 015009, 2023.

TELO DA GAMA, J. The role of soils in sustainability, climate change, and ecosystem services: Challenges and opportunities. **Ecologies**, v. 4, n. 3, p. 552-567, 2023.

TIBBER, M. S. et al. The association between income inequality and adult mental health at the subnational level—a systematic review. **Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology**, p. 1-24, 2022.

UNIVERSIDADE DE NOTRE DAME. Notre Dame. Disponível em: <https://www.nd.edu/>. Acesso em: 01 Jun. 2024.

UZAR, U. Is income inequality a driver for renewable energy consumption?

Journal of Cleaner Production, v. 255, p. 120287, 2020.

NAGY, G. J. et al. An assessment of the relationships between extreme weather events, vulnerability, and the impacts on human wellbeing in Latin America. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 9, p. 1802, 2018.

WALLER, R. et al. Lifelong education, social inequality and the COVID-19 health pandemic. **International Journal of Lifelong Education**, v. 39, n. 3, p. 243-246, 2020.

YOUNG, S. L. et al. Estimating national, demographic, and socioeconomic disparities in water insecurity experiences in low-income and middle-income countries in 2020–21: a cross-sectional, observational study using nationally representative survey data. **The Lancet Planetary Health**, v. 6, n. 11, p. e880-e891, 2022.

ZHANG, J. et al. Strategic land acquisition for efficient and equitable flood risk reduction in the United States. **Climate Risk Management**, v. 42, p. 100554, 2023.

ZOLFAGHARI, M.; KABIRI, M.; SAADATMANESH, H. Impact of socio-economic infrastructure investments on income inequality in Iran. **Journal of Policy Modeling**, v. 42, n. 5, p. 1146-1168, 2020

CAPÍTULO 2

Artigo 2: Inovação e Crescimento Econômico no Contexto da Vulnerabilidade Climática

Resumo: Este estudo analisa a relação entre PIB per capita, inovação e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, utilizando o índice ND-GAIN como indicador de resiliência climática. A partir de uma amostra composta por 112 países em 2021, foram aplicados modelos estatísticos não lineares para explorar as interações entre essas variáveis. Os resultados apontam que tanto o PIB quanto a inovação seguem padrões não lineares, representados por curvas em formato de "N" e "N invertido", respectivamente. Inicialmente, ambas as variáveis apresentam impactos positivos na capacidade de adaptação, seguidos de efeitos negativos em níveis intermediários e, novamente, positivos em estágios mais avançados. O modelo cúbico destacou-se pela maior capacidade explicativa, evidenciando que as relações entre crescimento econômico, inovação e resiliência climática são altamente influenciadas por contextos socioeconômicos específicos. Esses achados reforçam a necessidade de políticas públicas adaptadas às diferentes etapas de desenvolvimento, com foco em estratégias sustentáveis e direcionadas.

Palavras-chave: PIB per capita, inovação, mudanças climáticas, ND-GAIN, resiliência climática, desenvolvimento sustentável, políticas públicas.

Abstract: This study analyzes the relationship between GDP per capita, innovation, and climate change adaptation capacity, using the ND-GAIN index as a measure of climate resilience. Drawing from a sample of 112 countries in 2021, nonlinear statistical models were applied to explore the interactions between these variables. The findings reveal that both GDP and innovation exhibit nonlinear patterns, represented by "N" and "inverted N" curves, respectively. Initially, both variables positively influence adaptation capacity, followed by negative effects at intermediate levels and positive impacts again at advanced stages. The cubic model demonstrated the highest explanatory power, highlighting that the relationships between economic growth, innovation, and climate resilience are significantly shaped by specific socioeconomic contexts. These results underscore the importance of public policies tailored to different stages of development, emphasizing sustainable and targeted strategies.

Keywords: GDP per capita, innovation, climate change, ND-GAIN, climate resilience, sustainable development, public policies.

1. Introdução

As mudanças climáticas se tornaram um dos principais desafios globais, afetando de forma profunda e abrangendo diferentes regiões e setores econômicos (Rawat, 2024; Vijai, 2023). O aumento da vulnerabilidade climática, especialmente em países em desenvolvimento, impõe desafios substanciais à resiliência econômica e à capacidade de inovação tecnológica (Fuller, 2021; Xiao e Fei, 2024). Estudos recentes ressaltam a importância crítica de integrar estratégias de mitigação e adaptação nas políticas públicas e práticas corporativas para enfrentar esses desafios de forma eficaz (Newman, 2020).

Da mesma forma as empresas em países vulneráveis tendem a se concentrar mais em tecnologias de mitigação de mudanças climáticas (CCMTs) e colaborações globais, indicando uma mudança no foco da inovação em vez de uma diminuição na inovação geral (Li, 2022). Os esforços colaborativos entre empresas, governos e comunidades são cruciais para o desenvolvimento de infra-estruturas resilientes e o aprimoramento das capacidades adaptativas (Kalogiannidis et al., 2024).

Entretanto as empresas estão reconhecendo cada vez mais a necessidade de inovações sustentáveis para mitigar os riscos climáticos, mas os altos custos de implementação e as incertezas regulatórias representam desafios significativos (Kraetzig et al., 2024). Países com gastos robustos em P&D e qualidade regulatória mostram menor vulnerabilidade às mudanças climáticas, sugerindo que a inovação pode servir como um amortecedor contra os riscos climáticos (Abdelzaher et al., 2019).

Por outro lado, a vulnerabilidade climática está ligada à redução do investimento em P&D e inovação devido à morosidade na capacidade de resposta (Li, 2023). Atribuindo a isso, a inovação verde corporativa é afetada negativamente pela vulnerabilidade climática, pois as empresas lutam para inovar sob elevados riscos ambientais (Liu et al., 2024).

Ademais compreender como a vulnerabilidade climática influencia o desenvolvimento econômico e a inovação é crucial para a formulação de políticas que promovam a sustentabilidade e o crescimento em um cenário de mudanças climáticas cada vez mais intensas (Fuller, 2021; Xiao & Fei, 2024). No entanto, integrar a resiliência climática às práticas agrícolas, por exemplo, pode aumentar

a sustentabilidade e a produtividade, promovendo o crescimento econômico e, ao mesmo tempo, enfrentando os desafios climáticos (Deori et al., 2024).

Portanto, estratégias econômicas inovadoras são cruciais para mitigar os efeitos adversos da vulnerabilidade climática no desenvolvimento e na inovação (Fagbemi & Oke, 2024), a colaboração e o compartilhamento de conhecimentos são essenciais para promover soluções sustentáveis que possam ser implementadas em diferentes contextos, garantindo que as comunidades tenham acesso a recursos e tecnologias necessárias para se adaptarem às novas realidades climáticas.

Assim sendo, a vulnerabilidade climática em setores econômicos, governamentais e sociais (Chen et al, 2023), representados pelo índice ND-GAIN, mensura o impacto negativo sobre a capacidade de inovação, especialmente em setores essenciais como energia, água e infra-estrutura (Nyiwul, 2021; Wen et al., 2023). No entanto, esse impacto não é uniforme, variando de acordo com o contexto socioeconômico, a governança corporativa e a estabilidade financeira das empresas (Deng et al., 2024; Alam et al., 2022).

Contudo, o maior PIB e as complexidades econômicas se correlacionam positivamente com a intensidade da inovação, o que, por sua vez, impacta negativamente as crises de mudança climática (Adedoyin et al., 2022). Assim destaca-se o Produto Interno Bruto (PIB) como um indicador econômico que mede a produção total de bens e serviços de um país, mas que não captura diretamente aspectos de sustentabilidade ou resiliência climática, essenciais para o ND-GAIN.

A inovação, por outro lado, pode ser impulsionada tanto por fatores econômicos quanto por necessidades sociais ou ambientais, mas nem toda inovação contribui positivamente para a sustentabilidade ou a resiliência (Sarkodie, 2023). Aquém, o ND-GAIN se concentra na vulnerabilidade e adaptação de um país para enfrentar mudanças climáticas (Chen et al, 2023), e, embora o PIB elevado possa fornecer recursos para inovação e adaptação, ele também pode mascarar desigualdades internas que afetam a capacidade de resposta de diferentes populações. Considerando essa problemática, levanta-se o seguinte problema de pesquisa: em que medida as variáveis PIB e inovação interagem para fortalecer ou enfraquecer a capacidade dos países de lidar com os impactos das mudanças climáticas?

2. Referencial teórico

2.1. Mudanças climáticas e Inovação Tecnológica

A inovação desempenha um papel fundamental na promoção do desenvolvimento sustentável e na mitigação dos impactos climáticos, sendo frequentemente associada à pesquisa e desenvolvimento (P&D) e à adoção de novas tecnologias (Ayandibu, 2024; Kraetzig, 2024). No entanto, essa relação é marcada por complexidades e não linearidades que desafiam abordagens tradicionais (Wangmo, 2023; Kraetzig et al., 2024). A inovação, portanto, vai além da simples pesquisa e desenvolvimento ou da adoção de novas tecnologias, como aponta Machado (2024). Ela abrange tanto aprimoramentos incrementais em produtos ou processos já estabelecidos quanto mudanças radicais e disruptivas que causam transformações significativas (OECD/EUROSTAT, 2018).

Nesse sentido, o desenvolvimento e a adaptação de tecnologias emergem como elementos cruciais para enfrentar os impactos climáticos e implementar estratégias adaptativas para o desenvolvimento sustentável, como ressaltam Singh et al. (2023) e Abbass et al. (2022). Estudos recentes têm enfatizado a complexidade e a não linearidade das interações entre inovação, mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável (Martinez-Garcia, 2022). Silva (2024) destaca que essas relações não podem ser simplificadas em modelos lineares, uma vez que os impactos climáticos sobre as economias são influenciados por fatores espaciais e temporais.

A pesquisa de Lee et al. (2022) ilustra essa complexidade ao demonstrar que a inovação em tecnologia de energia renovável na China apresenta impactos variáveis na pobreza energética, dependendo do nível de risco climático. Em regiões de menor risco, a inovação se mostra mais eficaz na redução da pobreza, enquanto em áreas de alto risco, os efeitos podem ser adversos, sugerindo que políticas energéticas precisam ser sensíveis ao contexto climático para otimizar seus benefícios.

Wang et al. (2024) também examinam essa não linearidade ao investigar os efeitos dos riscos de transição climática sobre o desempenho de ações verdes na China, mostrando que as relações entre riscos climáticos e retornos das ações variam com o tempo e as condições de mercado. A não linearidade e a

contextualidade são elementos centrais nas discussões sobre mudanças climáticas e inovação.

Como destacam Burch et al. (2014), pequenas alterações podem desencadear grandes transformações, especialmente em sistemas sociotécnicos. Hewitt, Ellis & Thrush (2016) corroboram essa perspectiva ao examinar os impactos climáticos em ecossistemas marinhos, revelando que as respostas ecológicas ocorrem de maneira abrupta em certos limiares, o que enfatiza a interconectividade das variáveis ambientais.

Finalmente, a eficácia das inovações tecnológicas, como a energia renovável, depende do contexto, sendo influenciada por fatores como a estrutura energética e as condições econômicas, conforme demonstram Lin & Zhu (2019) e Oyebanji et al. (2022). Bettencourt, Trancik & Kaur (2013) reforçam essa ideia ao mostrar que o crescimento do mercado e o financiamento público de P&D interagem de maneira não linear, impulsionando a inovação de forma persistente ao longo do tempo.

Diante das evidências apresentadas, é visto que a relação entre inovação, mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável é complexa e marcada por não linearidades e dependências contextuais. A inovação, embora essencial para mitigar os impactos climáticos e promover a sustentabilidade, não opera de forma uniforme, sendo seus resultados altamente influenciados por fatores econômicos, sociais e ambientais. Estudos como os de Lee et al. (2022) e Wang et al. (2024) destacam que as condições climáticas e de mercado moldam os efeitos das inovações tecnológicas, enquanto Burch et al. (2014) e Hewitt, Ellis & Thrush (2016) ressaltam a interconectividade entre sistemas ambientais e sociais, evidenciando o potencial de mudanças abruptas e transformadoras.

2.2 Mudanças Climáticas e Produto Interno Bruto (PIB)

A relação entre adaptação climática e desenvolvimento econômico é complexa, refletindo como a variabilidade climática pode impactar negativamente setores essenciais da economia, especialmente a agricultura. Estudos recentes, como os de Abbass et al. (2022) e Singh et al. (2022), ressaltam que medidas sustentáveis são cruciais para não apenas mitigar os impactos climáticos, mas também para garantir a resiliência e o crescimento econômico sustentável.

A adaptação climática emerge como uma estratégia essencial para manter a sustentabilidade econômica frente às ameaças climáticas (Friedman, 2023; Day et al., 2024). Esse aspecto é amplamente explorado em diversos estudos que investigam a complexidade das relações entre mudanças climáticas e suas consequências econômicas e sociais. Alehile (2023), Dong et al. (2023), Age (2020) e Kolstad & Moore (2020) destacam a natureza não linear dessas interações, oferecendo uma visão mais detalhada de como variáveis climáticas podem afetar os resultados econômicos.

Alehile (2023), por exemplo, examina a influência da variabilidade climática sobre o emprego no setor agrícola da Nigéria. Seus achados indicam que as mudanças nas precipitações e temperaturas têm efeitos tanto positivos quanto negativos sobre o emprego, dependendo do contexto. Inicialmente, uma redução nas chuvas pode aumentar a demanda por trabalho, mas secas prolongadas acabam resultando em perdas significativas de emprego, evidenciando uma relação não linear entre variáveis climáticas e resultados econômicos.

De forma semelhante, Dong et al. (2023) exploram a relação não linear entre condições climáticas e crescimento econômico. Eles mostram que aumentos na temperatura afetam negativamente o crescimento do PIB per capita de maneira mais pronunciada do que o seu nível absoluto. Além disso, a precipitação tem efeitos adversos sobre o crescimento da renda em regiões úmidas, sublinhando a complexidade das interações climáticas com indicadores econômicos.

O estudo de Age (2020), por sua vez, reexamina os impactos das mudanças climáticas durante a Pequena Idade do Gelo. Utilizando metodologias econométricas avançadas, o autor revela que, embora haja uma relação robusta entre o clima e a produção agrícola, a conexão entre clima e PIB não é tão clara, sugerindo que os efeitos das mudanças climáticas sobre a economia podem não seguir uma trajetória linear.

Kolstad & Moore (2020) adicionam à discussão ao abordar os desafios de quantificar os impactos econômicos das mudanças climáticas. Eles destacam a dificuldade de prever os custos de adaptação devido à não linearidade das relações entre variáveis climáticas e econômicas, e a necessidade de abordagens empíricas que considerem a complexidade e a variabilidade das

respostas econômicas ao longo do tempo e do espaço.

Nesse contexto, a relação entre adaptação climática e desenvolvimento econômico revela-se intrinsecamente complexa e marcada por não linearidades, refletindo como a variabilidade climática pode gerar efeitos diversificados em diferentes setores e contextos. Estudos como os de Alehile (2023) e Dong et al. (2023) ilustram que fatores como temperatura e precipitação podem impactar de maneira positiva ou negativa o emprego agrícola e o crescimento econômico, dependendo das condições específicas. Da mesma forma, as análises de Age (2020) e Kolstad & Moore (2020) reforçam que os impactos climáticos sobre a economia não seguem padrões lineares ou facilmente previsíveis, evidenciando a necessidade de abordagens empíricas que considerem as dinâmicas temporais, espaciais e setoriais.

2.3 Interrelação entre Adaptação as Mudanças Climáticas, Inovação e Desenvolvimento Econômico

A interrelação entre a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, o desenvolvimento econômico e a inovação tecnológica desempenham um papel crucial na compreensão das dinâmicas que moldam a vulnerabilidade climática e a resiliência econômica global (Sarkodie, 2023; Friedman, 2023). Segundo Newman (2020), o ND-GAIN Index oferece uma visão abrangente sobre como diferentes países enfrentam os impactos das mudanças climáticas e a importância de fatores como inovação e crescimento econômico nesse cenário.

Além disso, autores como Rizzati et al. (2023), Puertas & Marti (2021) e Liu et al. (2024) ressaltam a necessidade de uma abordagem integrada para lidar com os desafios climáticos. Rizzati et al. (2023) argumentam que, para compreender e enfrentar esses desafios, é essencial adotar estratégias personalizadas que considerem as variações na capacidade de adaptação entre os países, especialmente no contexto da justiça climática. Complementando essa visão, Liu et al. (2024) destacam que a vulnerabilidade climática não apenas afeta a alocação de recursos para mitigação e adaptação, mas também reflete uma crescente preocupação global com a equidade climática.

No entanto, a relação entre vulnerabilidade climática e inovação é complexa. Deng et al. (2024) identificam uma tendência preocupante: em

cenários de alta vulnerabilidade, há uma redução nos investimentos em inovação, especialmente entre gestores avessos ao risco. Esta redução na inovação é particularmente relevante para empresas que enfrentam condições adversas, como observado por Fuller (2021), que aponta que países com menor PIB per capita sofrem mais com os desafios econômicos exacerbados pela vulnerabilidade climática. Esse efeito é particularmente pronunciado no setor de água na África, onde a capacidade de inovação é significativamente afetada.

A questão dos investimentos em tecnologias verdes é outra área crítica afetada pela vulnerabilidade climática. Wen et al. (2023) notam que altos níveis de vulnerabilidade podem desincentivar o investimento em soluções tecnológicas sustentáveis. Esse fenômeno é corroborado por Shear, Ashraf & Butt (2023), que indicam que países mais vulneráveis atraem menos investimento estrangeiro direto (IED), especialmente em economias de alta e média renda. Assim, torna-se evidente a necessidade urgente de fortalecer as estruturas econômicas e sociais desses países para promover inovação e sustentabilidade (Zapata- Cantu, 2021). Alam et al. (2022) reforçam essa necessidade ao destacar a importância do apoio à inovação para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental, especialmente em contextos de desenvolvimento.

Além disso, Xiao & Fei (2024) sugerem que a alta vulnerabilidade climática pode se tornar um obstáculo significativo ao desenvolvimento sustentável. Para enfrentar esse desafio, eles defendem a implementação de políticas públicas que incentivem a inovação verde. Este ponto é ainda mais relevante na África, onde Nyiwul (2021) observa que o estresse hídrico e as deficiências em infraestrutura e qualidade institucional reduzem a capacidade de inovação tecnológica. No entanto, Fagbemi & Oke (2024) propõem que a preparação climática pode ajudar a mitigar esses desafios, fortalecendo a resiliência econômica na região.

Quando se observa o contexto dos países BRICS, Liu et al. (2024) mostram que a vulnerabilidade climática tem um impacto negativo sobre a inovação verde. Entretanto, empresas maiores, com recursos mais substanciais, estão em uma posição melhor para investir em práticas sustentáveis. Essa observação corrobora a visão de Abdelzaher et al. (2020), que afirmam que países com maiores investimentos em pesquisa e desenvolvimento e regulamentações mais eficazes são menos vulneráveis às mudanças climáticas.

Além disso, Dogru et al. (2019) destacam que, em nações em desenvolvimento, a escassez de recursos e a instabilidade econômica limitam a capacidade de inovação, tornando crucial o desenvolvimento de políticas que incentivem investimentos sustentáveis e promovam uma maior resiliência climática.

Essas análises evidenciam a necessidade de uma abordagem integrada que considere as complexas interações entre inovação, PIB e adaptação climática. O desenvolvimento econômico e a inovação não podem ser vistos de forma isolada, mas sim como partes de um sistema interconectado que requer estratégias coordenadas para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e promover a sustentabilidade (Deng, 2024).

A relação entre a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, inovação e PIB per capita tendem a seguir um padrão não linear. Considera-se que, embora países com maior PIB per capita geralmente possuam mais recursos e infraestrutura para lidar com os desafios climáticos, essa interação pode ser influenciada por uma série de fatores que introduzem complexidades. Nesse sentido, modelos lineares podem não capturar de forma adequada as nuances e as possíveis variações inerentes a essa relação, o que sugere a possibilidade de variações e interdependências que exigem abordagens metodológicas mais sofisticadas (Liu et al., 2024; Auci et al, 2021).

3. Metodologia

Este estudo investiga a relação entre o PIB per capita, a inovação e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, utilizando uma amostra de 118 países para o ano de 2021. A análise baseia-se em modelos não lineares, com foco em regressões cúbicas, e inclui cálculos de pontos críticos e intervalos de confiança, bem como critérios informacionais para comparar a qualidade dos modelos.

Os dados foram extraídos de bases públicas e ajustados para incluir apenas países com informações completas. O PIB per capita foi obtido através de World Bank (2024). O Índice Global de Inovação foi obtido através de WIPO (2024). Por fim, a vulnerabilidade dos países às mudanças climáticas foi medida pelo índice Notre Dame Global Adaptation Initiative Index (ND-GAIN), obtido

através de University of Notre Dame (2024).

A escolha da amostra deu-se em razão da disponibilidade de dados. Após a aplicação do teste de Hadi (1992, 1992a) para exclusão de outliers multivariados, seis países (China, Irlanda, Luxemburgo, Noruega, Qatar e Suíça) foram removidos, resultando em uma amostra de 112 países representando diferentes níveis de desenvolvimento e regiões geográficas.

A relação entre a capacidade de adaptação às mudanças climáticas (variável dependente, medida pelo índice ND-GAIN) e o PIB per capita ou o índice de inovação (variáveis independentes) foi modelada inicialmente por meio de três formas funcionais: linear, quadrática e cúbica, como demonstrado, respectivamente, nas equações 1, 2 e 3:

$$y_i = \phi_0 + \phi_1 PIB_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$y_i = \phi_0 + \phi_1 PIB_i + \phi_2 PIB_i^2 + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$y_i = \phi_0 + \phi_1 PIB_i + \phi_2 PIB_i^2 + \phi_3 PIB_i^3 + \varepsilon_i \quad (3)$$

onde, y_i denota o logaritmo da Capacidade à Adaptação às Mudanças Climáticas (medido pelo ND-GAIN) de cada país i ; PIB_i denota o produto interno bruto per capita (PIB per capita) de cada país i , e ε_i denota um termo de perturbação aleatório. Quando $\phi_1 \neq 0$, $\phi_2 = \phi_3 = 0$, a relação entre y e o PIB per capita é linear. Quando $\phi_1 > 0$, $\phi_2 < 0$, a relação entre y e o PIB per capita segue uma curva em forma de U invertido. Quando $\phi_1 < 0$, $\phi_2 > 0$, a relação entre y e o PIB per capita segue uma curva em forma de U. Quando $\phi_1 > 0$, $\phi_2 < 0$ e $\phi_3 > 0$, a relação entre y e o PIB per capita é em forma de N. Quando $\phi_1 < 0$, $\phi_2 > 0$ e $\phi_3 < 0$, a relação entre y e o PIB per capita seguem um formato de N invertido. Quando $\phi_1 \neq \phi_2 = \phi_3 = 0$ o status da adaptação às mudanças climáticas é tal que não está relacionado ao crescimento econômico.

Para a escolha do melhor modelo (linear, quadrático ou cúbico), utilizou-se os seguintes critérios informacionais: Critério de Akaike (AIC), Critério de Schwarz (BIC) e Critério de Hannan-Quinn (HQ) e o teste F para comparação de modelos, conforme demonstrado nas equações 4, 5 e 6, respectivamente.

$$AIC = 2k - \log L \quad (4)$$

$$BIC = k \ln n - 2 \log L \quad (5)$$

$$HQ = 2k \ln(\ln n) - 2 \log L \quad (6)$$

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_C)/(k_C - k_R)}{SSE_C/(n - k_C - 1)} \quad (7)$$

Onde: L , é a função de verossimilhança; k é o número de parâmetros do modelo e n é o tamanho da amostra, SSE_R e SSE_C é a soma dos quadrados do modelo restrito e completo, respectivamente, k_R e k_C é o número de parâmetros (incluindo a constante) do modelo restrito e completo, respectivamente,

Os modelos foram estimados utilizando mínimos quadrados ordinários (MQO), e os testes de White e normalidade dos resíduos foram aplicados para validar a consistência dos resultados. O modelo cúbico, que apresentou maior R^2 ajustado e melhor desempenho nos critérios informacionais, foi selecionado para análise mais aprofundada. Por fim, combinou-se o índice de inovação no modelo cúbico (Equação 3) para explorar interações entre as variáveis, conforme demonstrado na Equação (8)

$$y_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 PIB_{i,t} + \theta_2 PIB_{i,t}^2 + \theta_3 PIB_{i,t}^3 + \varphi_1 IGI_{i,t} + \varphi_2 IGI_{i,t}^2 + \varphi_3 IGI_{i,t}^3 + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

Onde: IGI é o índice Global de Inovação.

Para a determinação dos pontos de mínimo e máximo relativos, calculou-se a derivada primeira e a derivada segunda, respectivamente, conforme demonstrado nas equações 9 e 10.

$$d_1 = \frac{\theta_1}{(-2 \times \theta_2)} \quad (9)$$

$$d_2 = \frac{\theta_2}{(-3 \times \theta_3)} \quad (10)$$

em que d_1 e d_2 são os pontos de mínimo e máximo relativos e θ_1 , θ_2 e θ_3 são os parâmetros da Equação (3).

Os intervalos de confiança dos pontos críticos foram calculados

propagando os erros padrão dos coeficientes ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$) pelo método delta. Para o modelo cúbico, o erro padrão do ponto crítico foi calculado como:

$$Erro(X_c) = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{dX_c}{d\beta_i} \times \sigma_{\beta_i} \right)^2} \quad (11)$$

Onde $\frac{dX_c}{d\beta_i}$ é a derivada parcial que mede a sensibilidade do ponto crítico em relação ao coeficiente β_i , ou seja, como mudanças em β_i afetam X_c e σ_{β_i} é o erro padrão do coeficiente β_i . Desta forma, o somatório combina os erros de cada coeficiente proporcionalmente à sua influência em X_c . Os intervalos foram então definidos como:

$$X_c \pm Z_{\alpha/2} \times Erro(X_c) \quad (12)$$

Onde: X_c Ponto crítico estimado (mínimo ou máximo), $Z_{\alpha/2}$ é o valor crítico da distribuição normal, dependendo do nível de confiança escolhido (neste caso, 1,96 para 95% de confiança) e $Erro(X_c)$ é a medida da incerteza na estimativa do ponto crítico.

4. Resultado

Este artigo busca investigar a influência do PIB per capita e da Inovação na Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas, em uma amostra de 112 países. A amostra cobre uma ampla gama de países com características distintas, permitindo identificar padrões e relações globais entre as variáveis investigadas. A diversidade geográfica é representada na Figura 2.

Tabela 6 - Mínimo, máximo, média, mediana, assimetria e curtose das variáveis utilizadas na pesquisa

| Variável | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Assimetria | Curtose* |
|----------------------------------|--------|--------|-------|---------|------------|----------|
| Adaptação às Mudanças Climáticas | 34,61 | 73,89 | 52,23 | 52,14 | 0,15 | -0,82 |
| PIB Per Capita (em US\$ mil) | 0,50 | 79,60 | 16,38 | 7,24 | 1,44 | 1,14 |
| Índice de Inovação | 15,00 | 63,10 | 33,27 | 30,95 | 0,69 | -0,38 |

Legenda: * indica o excesso de curtose. Fonte: Elaboração própria

A análise dos dados apresentados na Tabela 6 permite compreender melhor as características das variáveis utilizadas na pesquisa. A variável "Adaptação às Mudanças Climáticas" apresenta um valor mínimo de 34,61 e um máximo de 73,89, com uma média de 52,23 e mediana próxima à média, em 52,14. A baixa assimetria (0,15) indica que os dados são quase simétricos, enquanto a curtose negativa (-0,82) sugere uma distribuição mais achatada do que a normal, caracterizada por caudas menos extremas.

Para o "PIB Per Capita", os valores variam amplamente, de 0,50 a 79,60 mil dólares, com uma média de 16,38 e uma mediana significativamente menor, de 7,24. Essa discrepância reflete a alta assimetria positiva (1,44), indicando a presença de valores elevados que puxam a média para cima. A curtose positiva (1,14) aponta para caudas mais alongadas, o que também é consistente com a concentração de valores em torno de níveis mais baixos, acompanhada por alguns países com PIB per capita muito elevado.

O "Índice de Inovação" varia entre 15,00 e 63,10, com média de 33,27 e mediana um pouco inferior, em 30,95. A assimetria moderada (0,69) revela um leve viés à direita, indicando maior concentração de valores próximos ao limite inferior. A curtose ligeiramente negativa (-0,38) evidencia uma distribuição levemente achatada, com menos valores extremos do que o esperado em uma distribuição normal.

Essas variáveis, em conjunto, sugerem diferenças significativas entre países, tanto no nível econômico quanto na capacidade de inovação e adaptação às mudanças climáticas. A distribuição das variáveis reflete cenários heterogêneos, em que fatores extremos, como altos PIBs ou índices de adaptação e inovação, exercem forte influência sobre as estatísticas descritivas. Na tabela 7 os modelos de regressão linear, quadrático e cúbico são utilizados para explorar o impacto do PIB per capita sobre a adaptação climática,

permitindo avaliar como diferentes especificações afetam a explicação dessa relação.

Tabela 7- Resultados das regressões cúbica, quadrática e linear, tendo como variável dependente o logaritmo do índice de Adaptação às Mudanças Climáticas e variável independente o PIB per capita

| Variável | Linear | Sig. | Quadrático | Sig. | Cúbico | Sig. |
|--|----------|-------|------------|-------|-----------|-------|
| Constante | 3,80E+00 | 0,000 | 3,74E+00 | 0,000 | 3,69E+00 | 0,000 |
| PIB per capita | 8,45E-03 | 0,000 | 1,87E-02 | 0,000 | 3,16E-02 | 0,000 |
| PIB per capita ao quadrado | | | -1,71E-04 | 0,000 | -6,94E-04 | 0,000 |
| PIB per capita ao cubo | | | | | 5,12E-06 | 0,000 |
| R-quadrado ajustado | 0,641 | | 0,736 | | 0,778 | |
| Teste de White (heterocedasticidade) | 19,033 | 0,000 | 15,158 | 0,004 | 9,687 | 0,138 |
| Teste de Normalidade dos resíduos | 5,919 | 0,052 | 1,351 | 0,509 | 2,058 | 0,357 |
| Teste <i>F</i> regressão | 199,160 | 0,000 | 155,553 | 0,000 | 130,631 | 0,000 |
| Log da verossimilhança | 79,005 | | 96,688 | | 106,942 | |
| Critério de Schwarz | -148,572 | | -179,221 | | -195,011 | |
| Critério de Akaike | -154,009 | | -187,377 | | -205,885 | |
| Critério de Hannan-Quinn | -151,803 | | -184,068 | | -201,473 | |
| Teste <i>F</i> da exclusão de variável | 199,159 | 0,000 | 40,475 | 0,000 | 21,702 | 0,000 |

Fonte: Elaboração própria (2024).

A análise da Tabela 7, que apresenta os resultados das regressões linear, quadrática e cúbica para modelar a relação entre a Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas (variável dependente, medido pelo índice ND-GAIN) e o PIB per capita (variável independente), permite avaliar o desempenho de cada modelo e identificar o mais adequado.

A relação entre o PIB per capita e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas é caracterizada por complexidades que modelos lineares não conseguem captar adequadamente, como apontado por Alehile (2023) e Dong et al. (2023). O modelo cúbico, com maior R^2 ajustado (0,778) e melhor desempenho nos critérios de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, destaca-se como o mais adequado para explicar a variação do índice ND-GAIN, sugerindo uma interação mais sofisticada entre o crescimento econômico e a resiliência climática, destacando uma natureza não linear (Age, 2020; Kolstad & Moore, 2020), oferecendo uma visão mais detalhada de como variáveis climáticas podem afetar os resultados econômicos.

No modelo cúbico, observa-se que o PIB per capita possui um impacto positivo inicial sobre a adaptação climática, seguido de um efeito negativo em níveis intermediários, até retornar a uma relação positiva em patamares mais

elevados. Essa dinâmica confirma o padrão em forma de “N” identificado na literatura, em que o crescimento econômico inicialmente proporciona recursos para a adaptação, mas, em seguida, pode intensificar a degradação ambiental antes de alcançar um ponto onde a sustentabilidade se torna viável (Fuller, 2021; Sarkodie et al., 2023). Essa trajetória não linear reflete as limitações apontadas por Kolstad & Moore (2020) sobre a dificuldade de mensurar os impactos econômicos das mudanças climáticas em diferentes contextos.

A heterocedasticidade é identificada nos modelos linear e quadrático, mas ausente no modelo cúbico, reforça a superioridade deste último em termos de adequação estatística, o que é essencial para analisar dificuldade de prever os custos de adaptação devido à não linearidade das relações entre variáveis climáticas e econômicas (Kolstad & Moore, 2020). Além disso, os resíduos normais em todos os modelos indicam que as suposições básicas de normalidade foram atendidas. O desempenho inferior dos modelos linear e quadrático demonstra que simplificações excessivas negligenciam a complexidade das interações climáticas e econômicas, como ressaltado por Hewitt et al. (2016).

Os achados do modelo cúbico também se alinham à discussão teórica sobre as interações entre inovação, PIB e adaptação climática. Conforme Burch et al. (2014), pequenos ajustes em sistemas econômicos podem desencadear transformações significativas, especialmente em países que atravessam transições entre estágios de desenvolvimento econômico. O impacto do PIB na adaptação envolve tanto fatores econômicos quanto sociotécnicos, exigindo políticas que unam governança climática e inovação.

Com base nesses resultados, o modelo cúbico é o mais adequado para representar a relação entre o PIB per capita e a Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas, enfatizando a interconectividade das variáveis ambientais (Hewitt, Ellis & Thrush, 2016). Ele apresenta maior capacidade explicativa (R^2), melhor adequação aos critérios de informação e ausência de heterocedasticidade, além dos resíduos se comportarem de maneira normal. Desta forma, procedeu-se pela inclusão do índice de Inovação ao modelo cúbico, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados da regressão cúbica, tendo como variável dependente a Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas e variáveis independentes o PIB per capita e o índice de Inovação

| Variável | Coefficiente | erro padrão | razão-t | p-valor | Sig. |
|--------------------------------------|--------------|-------------|---------|---------|------|
| Const | 2,78E+00 | 1,86E-01 | 14,910 | 0,000 | *** |
| PIB per capita | 1,44E-02 | 3,29E-03 | 4,390 | 0,000 | *** |
| PIB per capita ao quadrado | -3,02E-04 | 1,12E-04 | -2,702 | 0,008 | *** |
| PIB per capita ao cubo | 2,20E-06 | 9,99E-07 | 2,204 | 0,030 | ** |
| Inovação | 6,90E-02 | 1,67E-02 | 4,138 | 0,000 | *** |
| Inovação ao quadrado | -1,44E-03 | 4,62E-04 | -3,125 | 0,002 | *** |
| Inovação ao cubo | 1,06E-05 | 4,01E-06 | 2,636 | 0,010 | *** |
| R-quadrado ajustado | 0,880 | | | | |
| Teste de White (heterocedasticidade) | 27,421 | | | 0,124 | *** |
| Teste de Normalidade (resíduos) | 0,733 | | | 0,693 | |
| Teste <i>F</i> da regressão | 117,580 | | | 0,000 | *** |

Fonte: Elaboração própria (2024)

A análise da regressão cúbica com a variável dependente Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas e as variáveis independentes PIB per capita e Índice de Inovação revela relações complexas, mas estatisticamente significativas. O modelo apresenta um R-quadrado ajustado de 0,880, demonstrando alto poder explicativo, reforçando que a adaptação climática emerge como uma estratégia essencial para manter a sustentabilidade econômica frente às ameaças climáticas (Friedman, 2023; Day et al., 2024). Os coeficientes cúbicos e quadráticos indicam que tanto o PIB quanto a Inovação afetam a adaptação de forma não linear, com pontos de inflexão que definem comportamentos distintos.

Os testes diagnósticos confirmam a adequação do modelo. O Teste de White não aponta para homocedasticidade significativa ($p=0,124$), e o Teste de Normalidade dos resíduos ($p=0,693$) reforça a adequação da distribuição dos erros. O Teste *F* global ($p<0,001$) valida, garante a validade estatística dos resultados, tornando crucial a adoção de estratégias específicas que levem em conta as diferenças na capacidade de adaptação entre os países (Rizzati et al., 2023).

Observa-se na Tabela 8 que a relação entre PIB per capita e adaptação climática segue um padrão que pode ser descrito como uma curva em forma de "N". Inicialmente, a relação é positiva, ou seja, à medida que o PIB per capita aumenta, há um crescimento nos recursos e na capacidade dos países para investir em medidas de adaptação climática (Fuller, 2021). No entanto, após um ponto de inflexão, essa relação se torna negativa. Isso pode ocorrer devido ao

impacto negativo de um crescimento econômico rápido, como a intensificação de atividades que contribuem para as mudanças climáticas (Fuller, 2021; Sarkodie et al., 2023).

Por fim, à medida que o PIB continua a crescer, a relação se torna novamente positiva, refletindo que, em níveis mais elevados de desenvolvimento econômico, os países conseguem alocar mais recursos para enfrentar os desafios climáticos e investir em tecnologias de adaptação mais eficazes, isso evidencia que as relações entre as variáveis independentes e a capacidade de adaptação climática não são lineares, requerendo uma abordagem conjunta (Deng, 2024),

Por outro lado, a relação entre inovação e adaptação climática segue um padrão semelhante, mas em uma curva em forma de "N" invertido. No início, a relação é negativa, ou seja, à medida que o índice de inovação aumenta, a adaptação climática pode não melhorar imediatamente, talvez devido a inovações mal direcionadas ou mal implementadas, que resultam em custos elevados ou consequências indesejadas (Shear, Ashraf & Butt, 2023). Em um segundo momento, após alcançar um ponto crítico de inovação, a relação tende a se tornar positiva, refletindo que inovações bem direcionadas e eficazes podem melhorar a adaptação climática, proporcionando soluções tecnológicas mais avançadas e eficientes.

No terceiro momento, a relação se mantém positiva, com um impacto crescente à medida que o índice de inovação continua a aumentar, possibilitando o aprimoramento contínuo da adaptação climática por meio de tecnologias cada vez mais sofisticadas e estratégias inovadoras mais bem implementadas (Silva, 2024; Deng et al., 2024).

Para o PIB per capita, os coeficientes indicam a existência de um ponto de mínimo e um de máximo ao longo da curva. A derivada da função ajustada foi resolvida para identificar esses pontos críticos, resultando em um ponto de mínimo em \$23,3 mil e um ponto de máximo em \$34,4 mil. Considerando a propagação dos erros padrão dos coeficientes, os intervalos de confiança para o ponto de mínimo variam entre \$20,5 mil e \$26,1 mil, enquanto para o ponto de máximo, variam entre \$31,7 mil e \$37,1 mil.

Esses intervalos destacam a robustez dos resultados, indicando que o PIB per capita ideal para maximizar a adaptação está em um patamar

intermediário de desenvolvimento econômico, o que pode refletir os impactos negativos do crescimento econômico rápido, como a intensificação de atividades industriais que aumentam a vulnerabilidade climática (Sarkodie et al., 2023).

Por exemplo, no caso do Reino Unido (United Kingdom), com um PIB de \$ 46,8 mil dólares, o país se encaixaria no terceiro momento da curva, onde a relação entre o PIB e a adaptação climática é positiva. Isso indica que, em estágios mais avançados de desenvolvimento econômico, o Reino Unido pode investir mais efetivamente em medidas de adaptação, provavelmente devido à maior disponibilidade de recursos para investimentos em infraestrutura resiliente e tecnologia, (Lin & Zhu, 2019; Fuller, 2021).

Para o Índice de Inovação, a relação segue uma curva similar. Os cálculos identificaram pontos críticos nos valores 50,6 e 65,7 no índice, representando pontos de transição na eficácia da inovação. Os intervalos de confiança para o ponto de mínimo variam entre 48,1 e 53,2, enquanto para o ponto de máximo estão entre 63,2 e 68,1. Esses resultados sugerem que níveis intermediários de inovação otimizam a adaptação, enquanto níveis muito baixos ou excessivamente altos podem apresentar retornos decrescentes (Wang et al., 2024).

No caso do Reino Unido, com um índice de inovação de 59,8, o país se posiciona no segundo momento da curva de inovação, onde a relação entre inovação e adaptação climática é positiva. Isso indica que, ao alcançar altos níveis de inovação, o Reino Unido consegue desenvolver e aplicar tecnologias que promovem melhorias significativas na adaptação às mudanças climáticas (Bettencourt et al., 2013). Porém, é possível que, após um ponto de saturação, mais inovação possa não gerar os mesmos benefícios ou até prejudicar os esforços de adaptação, conforme sugerido pela parte final da curva invertida.

Essas formas de curvas - "N" para o PIB e "N" invertido para a inovação - destacam a complexidade da relação entre os fatores econômicos, tecnológicos e a adaptação às mudanças climáticas (Kraetzig et al., 2024; Martinez-Garcia, 2022; Silva, 2024). Para países como o Reino Unido, que se encontram em estágios avançados de desenvolvimento econômico e inovação, as curvas sugerem que o PIB e a inovação são fatores cruciais para uma adaptação bem-sucedida (Singh et al., 2023; Abbass et al., 2022). No entanto, essa relação não é linear e exige um equilíbrio cuidadoso entre os investimentos em inovação,

infraestrutura e políticas climáticas, para garantir que o progresso econômico e tecnológico não comprometa os esforços ambientais Fuller (2021). Conforme Hewitt et al. (2016), sistemas complexos e interdependentes, como os analisados neste estudo, exigem modelos mais sofisticados que incorporem elementos não lineares e contextuais.

Esses resultados têm implicações importantes para a formulação de políticas públicas. Países com PIB per capita ou níveis de inovação próximos aos pontos de mínimo poderiam implementar estratégias para atingir os valores mais eficazes identificados, enquanto aqueles já acima dos pontos de máximo poderiam explorar intervenções qualitativas para sustentar avanços. A análise, portanto, não apenas explica os fenômenos investigados, mas também fornece diretrizes práticas para otimizar a adaptação às mudanças climáticas em diferentes contextos econômicos e sociais (Ayandibu, 2024; Kraetzig, 2024).

5. Considerações finais

Os resultados deste estudo reforçam a complexidade das relações entre desenvolvimento econômico, inovação tecnológica e capacidade de adaptação às mudanças climáticas. A identificação de curvas em formato "N" e "N invertido" para PIB per capita e inovação, respectivamente, evidencia a necessidade de abordagens não lineares na formulação de políticas públicas e estratégias de desenvolvimento sustentável.

Essas descobertas possuem implicações práticas significativas. Governos e organizações podem usar os pontos críticos identificados nas curvas para orientar investimentos em setores que maximizem o impacto positivo do crescimento econômico e da inovação. Por exemplo, para países com PIB per capita próximo ao ponto de mínimo, políticas que incentivem o crescimento sustentável e a distribuição equitativa de recursos podem ajudar a acelerar a transição para estágios mais avançados de adaptação climática. Já para países em estágios mais avançados de desenvolvimento, o foco pode ser na alocação eficiente de recursos em tecnologias limpas e infraestrutura resiliente.

Adicionalmente, os países com baixos índices de inovação devem priorizar políticas que incentivem a pesquisa e o desenvolvimento de soluções

tecnológicas voltadas para a adaptação climática. Em paralelo, aqueles em estágios mais elevados de inovação devem buscar equilibrar o avanço tecnológico com a implementação de estratégias eficazes que evitem retornos decrescentes ou impactos adversos.

No âmbito das políticas públicas, os resultados destacam a importância de estratégias adaptadas a diferentes contextos socioeconômicos. A integração de incentivos econômicos, desenvolvimento tecnológico e regulamentações ambientais pode criar um ambiente propício para que os países otimizem seus esforços de adaptação às mudanças climáticas. Além disso, a cooperação internacional desempenha um papel vital, permitindo que as nações compartilhem conhecimento e recursos para enfrentar os desafios climáticos globais de maneira coordenada.

Essas descobertas possuem implicações práticas significativas. Governos e organizações podem usar os pontos críticos identificados nas curvas para orientar investimentos em setores que maximizem o impacto positivo do crescimento econômico e da inovação. Por exemplo, para países com PIB per capita próximo ao ponto de mínimo, políticas que incentivem o crescimento sustentável e a distribuição equitativa de recursos podem ajudar a acelerar a transição para estágios mais avançados de adaptação climática. Já para países em estágios mais avançados de desenvolvimento, o foco pode ser na alocação eficiente de recursos em tecnologias limpas e infraestrutura resiliente.

Em síntese, os países com baixos índices de inovação devem priorizar políticas que incentivem a pesquisa e o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas para a adaptação climática. Em paralelo, aqueles em estágios mais elevados de inovação devem buscar equilibrar o avanço tecnológico com a implementação de estratégias eficazes que evitem retornos decrescentes ou impactos adversos.

No entanto, este estudo apresenta algumas limitações. A análise está baseada em dados de um único ano (2021), o que impede uma visão dinâmica das mudanças ao longo do tempo. Além disso, a exclusão de outliers pode limitar a compreensão de contextos únicos que poderiam enriquecer as conclusões. A dependência de dados agregados também restringe a capacidade de capturar nuances locais ou setoriais que influenciam a capacidade de adaptação. Por fim, embora o modelo cúbico tenha apresentado bom ajuste, fatores como mudanças

políticas, sociais e ambientais não foram diretamente incorporados, podendo influenciar significativamente as relações observadas.

Para superar essas limitações, sugerimos algumas melhorias para estudos futuros. Primeiramente, seria valioso expandir a análise para uma série temporal, permitindo a observação de tendências e a identificação de dinâmicas causais mais robustas. Além disso, a inclusão de variáveis qualitativas, como governança e engajamento da sociedade civil, pode aprofundar o entendimento sobre os fatores que contribuem para a adaptação às mudanças climáticas. Também é recomendável incorporar metodologias que considerem interações regionais, como modelos espaciais, para capturar influências externas e contextos compartilhados entre países próximos geograficamente.

No âmbito das políticas públicas, os resultados destacam a importância de estratégias adaptadas a diferentes contextos socioeconômicos. A integração de incentivos econômicos, desenvolvimento tecnológico e regulamentações ambientais pode criar um ambiente propício para que os países otimizem seus esforços de adaptação às mudanças climáticas. Além disso, a cooperação internacional desempenha um papel vital, permitindo que as nações compartilhem conhecimento e recursos para enfrentar os desafios climáticos globais de maneira coordenada.

Essas considerações contribuem para o debate acadêmico e oferecem uma base empírica para políticas que promovam um equilíbrio entre crescimento econômico, inovação e sustentabilidade climática. O estudo, portanto, não apenas ilumina as dinâmicas existentes, mas também sugere caminhos concretos para avançar na direção de um futuro mais resiliente e sustentável.

6. Referências

ABBASS, K. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 28, p. 42539-42559, 2022.

ABDELZAHER, D. M.; MARTYNOV, A.; ZAHER, A. M. A. Vulnerability to climate change: Are innovative countries in a better position? **Research in International Business and Finance**, v. 51, p. 101098, 2020.

ADEDOYIN, F. F.; ERUM, N.; OZTURK, I. Does higher innovation intensity matter for abating the climate crisis in the presence of economic complexities? Evidence from a Global Panel Data. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 181, p. 121762, 2022.

AGE, L. I. «**Cliometrics of Climate Change: A Natural Experiment on the**. 2020.

ALAM, A. et al. SMEs respond to climate change: Evidence from developing countries. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 185, p. 122087, 2022.

ALAO, O. A., ODUSANYA, B. O., & OLUSOLA, O. J. Economic inequality and malnutrition: A systematic review and meta-analysis. **Nutrition Research Reviews**, 34(1), 35–47, 2021.

ALEHILE, K. S. Climate Change Effects on Employment in the Nigeria's Agricultural Sector. **Chinese Journal of Urban and Environmental Studies**, v. 11, n. 03, p. 2350018, 2023.

ANSER, M. K., YOUSAF, Z., USMAN, M., & YASIN, A. The dynamic nexus between poverty, inequality, crime, and social spending: Evidence from panel data of 16 countries. **Social Indicators Research**, 150(2), 613–632, 2020.

AUCI, S. et al. Innovation for climate change adaptation and technical efficiency: an empirical analysis in the European agricultural sector. **Economia Politica**, v. 38, p. 597-623, 2021.

AWAD, A. Poverty, income inequality, and food insecurity: Insights from institutional and educational perspectives. **World Development**, 158, 106017.

AYANDIBU, A O.; AYANDIBU, E. O. The Role of Innovation in Sustainable Entrepreneurship. In: Sustainable Development in Industry and Society 5.0: Governance, Management, and Financial Implications. **IGI Global**. p. 205-221, 2024.

BETTENCOURT, L. M.A; TRANCIK, J. E.; KAUR, J. Determinants of the pace of global innovation in energy technologies. **PloS one**, v. 8, n. 10, p. e67864, 2013.

BURCH, S. et al. Triggering transformative change: a development path approach to climate change response in communities. **Climate policy**, v. 14, n. 4, p. 467-487, 2014.

CHANG, H., et al. Urban flood vulnerability and socio-ecological-technical interactions: Insights from U.S. cities. **Environmental Research Letters**, 16(12), 124024, 2021.

CHEN, C. et al. **University of Notre Dame global adaptation initiative-country index technical report.**, 2024.

CHEN, X., & WANG, M. Investigating the impact of health factors and social inequality on well-being during the pandemic in the United Kingdom. **Journal of Social Science & Medicine**, 278, 113940, 2021.

CREPALDI, R. A., CARDOSO, L. O., & MONTEIRO, C. A. Trends in dietary inequality in Brazil between 2008 and 2019. **Revista de Saúde Pública**, 56, 20, 2022.

CURI-QUINTO, K., SALCEDO-GÓMEZ, C., & HUAMÁN-ESPINO, L. Socioeconomic status and nutritional outcomes in Peru: A cross-sectional analysis. **Public Health Nutrition**, 23(7), 1170–1180, 2020.

DA SILVA, J. F. et al. **RESILIÊNCIA E COMPLEXIDADE ECONÔMICA: UMA NOVA ABORDAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**, Tese 2024.

DAY, J.W. et al. Emerging climate threats to the Mississippi River Delta: Moving from restoration to adaptation. **One Earth**, v. 7, n. 4, p. 558-571, 2024.

DEBEBE, H., & ZEKARIAS, M. Poverty and food insecurity in Sawla, Ethiopia: Determinants and policy implications. **Food Policy**, 94, 101906, 2020.

DENG, Q. et al. The impact of climate risk on corporate innovation: An international comparison. **Journal of Multinational Financial Management**, p. 100870, 2024.

DEORI, C. et al. Climate Resilient Agriculture: Enhancing Agricultural Sustainability in the Face of Climate Change Scenario. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 14, n. 7, p. 394-410, 2024.

DOGRU, T. et al. Climate change: Vulnerability and resilience of tourism and the entire economy. **Tourism Management**, v. 72, p. 292-305, 2019.

DONG, E.; TOL, R. SJ; WANG, J. The effects of weather conditions on economic growth: Evidence from global subnational economic output and income. **Available** at SSRN 4728106, 2023.

EDITION, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264304604en.pdf?expires=1707078266&id=id&accname=guest&checksum=42FC3834A09C59E3D71926DD03C65CCB>. Acesso em: 20 jul. 2024.

FAGBEMI, F.; OKE, D. F. Climate change vulnerability-foreign direct investment linkage: Why climate change preparedness matters in Sub-Saharan Africa. **Research in Economics**, v. 78, n. 1, p. 52-60, 2024.

FRIEDMAN, E. Constructing the adaptation economy: Climate resilient development and the economization of vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 80, p. 102673, 2023.

FULLER, A. Vulnerability to Climate Change's Impact on GDP Per Capita. **The Park Place Economist**, v. 28, n. 1, p. 7, 2021.

HADI, A. S. A new measure of over all potential influence in linear regression. **Computational Statistics & Data Analysis**, 14(1), 1-27, 1992.

HADI, A. S. Identifying multiple outliers in multivariate data. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: **Statistical Methodology***, 54(3), 761-771, 1992.

HEWITT, J. E.; ELLIS, J. I.; THRUSH, S. F. Multiple stressors, nonlinear effects and the implications of climate change impacts on marine coastal ecosystems. *Global change biology*, v. 22, n. 8, p. 2665-2675, 2016.

IDREES, A., & MAJEED, M. T. Financial development and ecological sustainability: Evidence from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 15–29, 2022.

KALOGIANNIDIS, S. et al. Relationship between Climate Change and Business Risk: Strategies for Adaptation and Mitigation: Evidence from a Mediterranean Country. *Wseas Trans. Environ. Dev*, v. 20, p. 276-294, 2024.

KHAN, M. K., & YAHONG, W. (2022). Income inequality and ecological degradation: Evidence from Asian economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(4), 5781–5794.

KNIFTON, L., & INGLIS, G. Poverty and mental health: Policy, practice, and research implications. *Mental Health and Social Inclusion*, 24(3), 113–123, 2020.

KOLSTAD, C. D.; MOORE, F. C. Estimating the economic impacts of climate change using weather observations. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2020.

KRAETZIG, E. R. S. et al. Opportunities and Challenges of Sustainable Innovation for Climate Change Mitigation in Companies: A Systematic Literature Review. *Environmental Quality Management*, v. 34, n. 1, p. e22284, 2024.

LEE, C.; YUAN, Z.; LEE, C.C. A nonlinear analysis of the impacts of information and communication technologies on environmental quality: A global perspective. *Energy Economics*, v. 128, p. 107177, 2023.

LI, F.; LIN, C.; LIN, T. C. A one-two punch to the economy: Climate vulnerability and corporate innovation strategies. **Available at SSRN 3777313**, 2023.

LI, H., CHEN, Y., & DING, L. Reducing vulnerability to poverty and improving health in rural China: Evidence from the Health Poverty Alleviation Project. *World Development*, 158, 106019, 2023.

LI, J., ZHENG, T., & SUN, Y. Mobility-based flood exposure and socioeconomic vulnerability in U.S. coastal counties. *Nature Communications*, 15(1), 132, 2024.

LIN, B.; ZHU, J. The role of renewable energy technological innovation on climate change: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, v. 659, p. 1505-1512, 2019.

LIU, Y.; CHEN, J. Future global socioeconomic risk to droughts based on estimates of hazard, exposure, and vulnerability in a changing climate. *Science of the Total Environment*, v. 751, p. 142159, 2021.

LUNKE, E. Transport poverty and accessibility in Oslo: Disparities and solutions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 162, 29–40, 2022.

MACHADO, R. H. **INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO: IMPACTOS NA PERFORMANCE AMBIENTAL EM ESCALA GLOBAL**. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th

NEWMAN, P. Cool planning: How urban planning can mainstream responses to climate change. *Cities*, v. 103, p. 102651, 2020.

NWANI, C., & OSUJI, E. Economic growth, energy consumption, and poverty reduction in Sub-Saharan Africa. *Energy Policy*, 137, 111190, 2020.

NYIWUL, L. Innovation and adaptation to climate change: Evidence from the water sector in Africa. *Journal of cleaner production*, v. 298, p. 126859, 2021.

NYIWUL, L. Climate change adaptation and inequality in Africa: Case of water, energy and food insecurity. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, p. 123393, 2021.

OECD/EUROSTAT. Introduction to innovation statistics and the Oslo Manual, in Oslo

OYEBANJI, M. O. et al. Patents on environmental technologies and environmental sustainability in Spain. *Sustainability*, v. 14, n. 11, p. 6670, 2022.

PISTÓN, N., FERRAZ, D., & VIEIRA, M. Socioeconomic factors and urban tree benefits in Rio de Janeiro. *Urban Forestry & Urban Greening*, 75, 127710, 2022.

PRASAD, S., ROY, D., & CHATTERJEE, R. Socioeconomic factors and child malnutrition in India: Insights from national surveys. *Journal of Development Studies*, 57(5), 711–727, 2021.

PUERTAS, R.; MARTI, L. International ranking of climate change action: An analysis using the indicators from the Climate Change Performance Index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 148, p. 111316, 2021.

RAWAT, A.; KUMAR, D.; KHATI, B. S. A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach. *Journal of Water and Climate Change*, v. 15, n. 1, p. 104-126, 2024.

RIZZATI, M. et al. The local costs of global climate change: spatial GDP downscaling under different climate scenarios. *Spatial Economic Analysis*, v. 18, n. 1, p. 23-43, 2023.

SARKODIE, S. A.; AHMED, M. Y.; OWUSU, P. A. Advancing COP26 climate goals: Leveraging energy innovation, governance readiness, and socio-economic factors for enhanced climate resilience and sustainability. *Journal of Cleaner*

Production, v. 431, p. 139757, 2023.

SHEAR, F.; ASHRAF, B. N.; BUTT, S. Sensing the heat: Climate change vulnerability and foreign direct investment inflows. **Research in International Business and Finance**, v. 66, p. 102005, 2023.

SINGH, C. et al. Interrogating 'effectiveness' in climate change adaptation: 11 guiding principles for adaptation research and practice. **Climate and Development**, v. 14, n. 7, p. 650-664, 2022.

SUN, J., LYU, L., & ZHAO, Y. Socioeconomic inequality in health among the elderly in China: Evidence from CHARLS. **Health and Place**, 63, 102325, 2020.

SUN, J., WANG, Q., & LI, Y. Income inequality, natural resources, and the ecological footprint: Evidence from 1990 to 2018. **Ecological Indicators**, 148, 110048, 2023.

TIBBER, M. S., MENDES, P. R. S., & SAINSBURY, R. (2022). Income inequality and mental health: A systematic review of subnational studies. **Social Science & Medicine**, 291, 114489.

UNIVERSITY OF NOTRE DAME. **ND-GAIN**: Notre Dame Global Adaptation Initiative. Disponível em: <https://gain.nd.edu>. Acesso em: 18 nov. 2024.

UZAR, U. Income inequality and renewable energy consumption: Panel evidence from developing countries. **Renewable Energy**, 161, 1075–1082, 2020.

VIJAI, C.; WORAKAMOL, W.; ELAYARAJA, M. Climate change and its impact on agriculture. **Int J Agric Sci Vet Med**, v. 11, p. 1-8, 2023.

WANG, J. et al. Nonlinear impact of climate transition risks on green stock performance: Perspectives from multiscale and lag effects. **International Review of Financial Analysis**, v. 94, p. 103269, 2024.

WANG, Y., ZHANG, X., & ZHAO, Q. Rural income inequality and spatial convergence: Evidence from China. *China Economic Review*, 75, 101813, 2020.

WANGMO, C.; NORBU, N. An Overview of Issues and Options for Technology Innovation and Climate Change Policy. **International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis**, v. 6, n. 6, 2023.

WEN, J. et al. The impact of extreme weather events on green innovation: Which ones bring to the most harm? **Technological forecasting and social change**, v. 188, p. 122322, 2023.

WIPO - WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **Global Innovation Index**. Disponível em: <https://data.mendeley.com/datasets/cvkdzr8tv3/4/files/18c1e6f1-af82-4e51-97d8-ac9071cf4ae3>. Acesso em: 18 nov. 2024.

WORLD BANK. **GDP per capita (current US\$)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?skipRedirection=true&vi>

ew=map. Acesso em: 18 nov. 2024.

XIAO, Q.; FEI, L. How does climate vulnerability impact green innovation? A hindrance to sustainable development. **Innovation and Green Development**, v. 3, n. 4, p. 100169, 2024.

YOUNG, S. L., et al. Water insecurity during the COVID-19 pandemic: Global socioeconomic disparities. **Water Research**, 208, 117937,2022.

ZAPATA-CANTU, L.; GONZÁLEZ, F. Challenges for innovation and sustainable development in Latin America: The significance of institutions and human capital. **Sustainability**, v. 13, n. 7, p. 4077, 2021.

CAPÍTULO 3

Artigo 3: Os Pilares do Desenvolvimento: Governança, Economia, Sociedade e Meio Ambiente

Resumo: Este estudo explora a interconexão entre os construtos governança pública, desenvolvimento econômico, desenvolvimento social, adaptação às mudanças climáticas e performance ambiental, em 149 países. Utilizando modelagem de equações estruturais (SEM), os resultados indicam que a governança pública, fundamentada na qualidade regulatória e no estado de direito, desempenha um papel central no impulso ao desenvolvimento econômico. Este, por sua vez, impacta o desenvolvimento social, promovendo melhorias na saúde, educação e bem-estar. Além disso, economias robustas favorecem tanto a performance ambiental quanto a capacidade de adaptação climática, destacando a relevância de políticas públicas integradas e sustentáveis. O estudo reafirma a interdependência dos construtos, o alinhamento entre governança eficaz e desenvolvimento sustentável é essencial para enfrentar os desafios globais e reduzir desigualdades socioeconômicas e ambientais.

Palavras chave: Crescimento econômico, Resiliência climática, Coordenação governamental, Bem-estar social, Sustentabilidade ambiental

Abstract: This study explores the interconnection between the constructs of public governance, economic development, social development, climate change adaptation, and environmental performance across 149 countries. Using structural equation modeling (SEM), the results indicate that public governance, based on regulatory quality and the rule of law, plays a central role in driving economic development. In turn, economic development impacts social development, promoting improvements in health, education, and well-being. Furthermore, robust economies foster both environmental performance and climate adaptation capacity, highlighting the importance of integrated and sustainable public policies. The study reaffirms the interdependence of these constructs, emphasizing that the alignment between effective governance and sustainable development is essential to address global challenges and reduce socioeconomic and environmental inequalities.

Keyword: Economic growth, Climate resilience, Government coordination, Social well-being, Environmental sustainability

1. Introdução

A governança pública e o desenvolvimento sustentável têm ganhado protagonismo no debate acadêmico e político, impulsionados pela crescente complexidade dos desafios globais, como mudanças climáticas, desigualdades sociais e degradação ambiental (Croft et al., 2024; Wang et al., 2024). Uma governança eficaz é considerada fundamental para promover o desenvolvimento econômico e social, influenciando diretamente a qualidade de vida, a proteção ambiental e a justiça social (Chanda et al., 2024). Em diversos estudos, observa-se que a governança que prioriza a inclusão e a transparência contribui significativamente para a redução das desigualdades e para o aumento do bem-estar social e ambiental (Liashenko et al., 2024). Por outro lado, a falta de políticas públicas eficazes acentua disparidades sociais e degrada o meio ambiente, dificultando a concretização do desenvolvimento sustentável (Lv et al., 2024).

A relação entre governança pública e Desenvolvimento Econômico (DE) demonstra-se intrinsecamente conectada à capacidade de adaptação às mudanças climáticas e à performance ambiental dos países (Ullah et al., 2024). Um desenvolvimento econômico sustentável requer políticas públicas robustas, que equilibrem crescimento econômico e justiça social com práticas de governança ecológica (Lisenco, 2024). Evidências sugerem que, sem uma governança eficaz, o desenvolvimento econômico tende a intensificar as crises climáticas e sociais, dificultando a implementação de estratégias de mitigação que assegurem um equilíbrio entre progresso e preservação ambiental (Halkos et al., 2020; Creutzig et al., 2023; Li & Tong, 2024).

Essas interconexões se estendem ao Desenvolvimento Social (DS), uma vez que o crescimento econômico se relaciona diretamente com a alocação de recursos para educação, saúde e infraestrutura. Esses investimentos são fundamentais para reduzir desigualdades e garantir uma qualidade de vida mais equitativa (Silva, 2024). No entanto, quando o DE ocorre sem o suporte de políticas sociais inclusivas, os ciclos de pobreza e exclusão social se perpetuam, limitando o potencial de desenvolvimento humano e dificultando o alcance de metas de sustentabilidade (Lv et al., 2024).

Além disso, o desenvolvimento econômico é um importante impulsionador

da capacidade de adaptação às mudanças climáticas. Economias mais sólidas são capazes de destinar mais recursos a tecnologias verdes e à construção de infraestrutura resiliente, fatores essenciais para enfrentar as pressões climáticas (Uribe, 2023). Entretanto, em economias mais frágeis, as limitações financeiras impedem a implementação de políticas climáticas eficazes, elevando a vulnerabilidade a eventos extremos e reduzindo a capacidade de resposta (Clements et al., 2023). Portanto, a relação entre desenvolvimento econômico e adaptação climática é marcada pela interdependência: enquanto o DE favorece a capacidade de adaptação, a ausência de políticas de resiliência climática coloca em risco o próprio crescimento econômico e o bem-estar da sociedade (Rahman, 2024; Saeed et al., 2023; Garbuzova et al., 2024).

Por fim, o desenvolvimento econômico exerce influência direta na performance ambiental dos países. Em economias comprometidas com o crescimento sustentável, há uma maior incorporação de tecnologias limpas e gestão responsável dos recursos naturais, resultando em menor impacto ambiental e melhor qualidade de vida (Lisenco, 2024). Porém, em contextos onde o crescimento econômico não considera a regulação ambiental, o uso excessivo de recursos e as emissões de poluentes prejudicam a biodiversidade e comprometem a saúde pública (Ul-Haq et al., 2024). Esse paradoxo demonstra que, embora o desenvolvimento econômico possa impulsionar avanços sociais e ambientais, o crescimento não-regulado representa um risco à sustentabilidade de longo prazo (Sungkawaningrum, 2024; Samuel, 2024; Chaturvedi, 2024).

Essas interconexões entre governança, desenvolvimento econômico, desenvolvimento social, adaptação às mudanças climáticas e performance ambiental revelam um ciclo complexo de desafios e dependências mútuas. Assim, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: Qual é a relação entre a Governança Pública, o Desenvolvimento Econômico, o Desenvolvimento Social, a Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas e a Performance Ambiental dos países?

2. Referencial teórico

2.1. Interconexões entre Governança Pública, Desenvolvimento Econômico e Sustentabilidade Global

A interrelação entre a Governança Pública, o Desenvolvimento

Econômico (DE), o Desenvolvimento Social (DS), a Capacidade de Adaptação às Mudanças Climáticas e a Performance Ambiental revela um ciclo de influências mútuas que, juntos, moldam o alcance do desenvolvimento sustentável (Zulfikar, 2023; Hieu & Hai, 2022). Estudos recentes demonstram que a qualidade da governança pública é um elemento chave que sustenta o desenvolvimento econômico e social, atuando como um vetor para políticas que conciliem crescimento com justiça social e proteção ambiental (Chanda et al., 2024; Ma et al., 2024; Cialani, 2024).

Essas interações evidenciam a necessidade de abordagens integradas que considerem não apenas os aspectos econômicos, mas também as dimensões sociais e ambientais no processo de formulação de políticas públicas (Uribe, 2024). Essas abordagens são fundamentais para garantir que as decisões políticas não apenas promovam o crescimento econômico, mas também respeitem os direitos humanos e preservem os recursos naturais para futuras gerações (Al -Arbawi, 2024).

A governança eficaz influencia o desenvolvimento econômico ao estabelecer um ambiente de estabilidade, transparência e inclusão (Cialani et al, 2024). Esses fatores são determinantes para atrair investimentos e promover o uso responsável dos recursos naturais, o que impacta diretamente a performance ambiental dos países (Croft et al., 2024). Em economias com uma governança sólida, o desenvolvimento econômico tende a incluir componentes de equidade e sustentabilidade, possibilitando uma distribuição mais justa dos benefícios econômicos e sociais (Liashenko et al., 2024).

Em contrapartida, países onde a Governança Pública é fraca enfrentam desafios no combate à desigualdade, na promoção da sustentabilidade e no aumento da capacidade de adaptação às mudanças climáticas (Lv et al., 2024). Esses desafios podem resultar em um ciclo vicioso de pobreza e degradação ambiental, dificultando a implementação de políticas eficazes que promovam o desenvolvimento sustentável e a resiliência das comunidades vulneráveis (Koff, 2022).

A capacidade para adaptação às mudanças climáticas é um fator adicional que depende tanto do desenvolvimento econômico quanto da qualidade da governança (Meng, 2024). Governos que dispõem de recursos econômicos e de políticas adaptativas robustas conseguem responder mais eficientemente a

eventos climáticos extremos e, simultaneamente, implementar tecnologias e práticas que aumentem a resiliência ambiental (Uribe, 2023). No entanto, em países de baixa renda, a adaptação climática é um grande desafio devido à escassez de recursos e de políticas eficazes para mitigar os riscos climáticos, o que torna esses países mais suscetíveis a desastres ambientais e sociais (Clements et al., 2023).

Essas interconexões entre governança pública, desenvolvimento econômico, desenvolvimento social, adaptação climática e performance ambiental destacam a necessidade de uma abordagem integrada que contemple políticas e práticas orientadas para a sustentabilidade. Somente a partir da articulação dessas esferas será possível avançar em direção a um desenvolvimento verdadeiramente sustentável, que considere os desafios ambientais sem comprometer o progresso econômico e social. Para melhor elucidar essas interconexões, a seguir será apresentado as evidências teóricas e empíricas das relações existentes entre as variáveis utilizadas nesta pesquisa.

2.2. Interconexões entre Governança Pública e Desenvolvimento Econômico

Através de diversas metodologias e abordagens, diferentes estudos apresentam práticas de governança, desempenhando um papel fundamental no crescimento econômico sustentável e na estabilidade social. A literatura existente destaca que a qualidade da governança não apenas molda as políticas públicas, mas também exerce uma influência significativa sobre o crescimento econômico (Maiti et al., 2024; Sapanang et al., 2024).

Essas práticas de governança eficazes são essenciais para garantir a transparência, a responsabilidade e a participação cidadã, elementos que fortalecem a confiança nas instituições e promovem um ambiente propício ao desenvolvimento (Kuo & Lee, 2024). A análise apresentada na tabela 9 revela pesquisas que demonstram que diferentes fatores aplicados a qualidade da governança podem influenciar diretamente o desenvolvimento econômico, refletindo a importância de práticas de governança robustas em contextos variados.

Tabela 9 - evidências teóricas e empíricas da relação entre a Governança Pública e o Desenvolvimento Econômico

| Autor e Ano | Construto | --- | Construto | Método | Observações sobre a relação entre a Governança Pública e Desenvolvimento Econômico |
|-------------------------|--------------------|------------|---------------------------|---|---|
| Chanda et al. (2024) | Governança Pública | > | Desenvolvimento Econômico | Métodos mistos (questionários e entrevistas temáticas); análise com SPSS e Excel | A boa governança, caracterizada por transparência e inclusão, é fundamental para o desenvolvimento econômico sustentável, criando confiança nas instituições públicas. |
| Croft et al. (2024) | Governança Pública | > | Desenvolvimento Econômico | Abordagem participativa; implementação de modelo de equidade na governança da economia azul | A inclusão de equidade na governança ajuda a evitar a concentração de poder e riqueza, promovendo um desenvolvimento mais justo e sustentável. |
| Liashenko et al. (2024) | Governança Pública | > | Desenvolvimento Econômico | Análise discriminante e funções empíricas; uso de SPI e WGI para dados de governança | A eficácia da governança afeta diretamente o desenvolvimento econômico, pois aumenta a eficiência e o progresso social, especialmente em ambientes com instabilidade política. |
| Lisenco (2024) | Governança Pública | > | Desenvolvimento Econômico | Análise comparativa de práticas de governança ambiental e economia sustentável em vários países | Governança pública bem estruturada é crucial para equilibrar desenvolvimento econômico com proteção ambiental, promovendo uma economia verde e sustentável. |
| Ma et al. (2024) | Governança Pública | > | Desenvolvimento Econômico | Modelagem de equações estruturais (SEM); análise da confiança no governo e justiça social como mediadores | A qualidade da governança pública é essencial para fortalecer a confiança e a percepção de justiça social, o que, por sua vez, promove um ambiente econômico mais próspero e estável. |
| Vilas Boas (2024) | Governança Pública | > | Desenvolvimento Econômico | Análise reflexiva e analítica; uso de exemplos teóricos e práticos de direito administrativo | A governança pública deve adotar um modelo resiliente e inclusivo para enfrentar vulnerabilidades, permitindo um desenvolvimento econômico sustentável que respeite os direitos e a dignidade dos cidadãos. |

Fonte: Elaboração Própria (2024)

A relação entre governança pública e desenvolvimento econômico apresentada na Tabela 9 exploram como a governança pública impacta o desenvolvimento econômico, evidenciando a importância de práticas eficazes baseadas em transparência, inclusão e regulação de qualidade para promover um crescimento sustentável e socialmente justo. Diversos autores, como Chanda et al. (2024), Croft et al. (2024), Liashenko et al. (2024), Lîsenco (2024) e Ma et al. (2024), destacam que políticas bem estruturadas e mecanismos sólidos de governança são fundamentais para garantir um desenvolvimento econômico equitativo e duradouro.

A solidez na governança inclui promover transparência e uma distribuição justa dos recursos, fortalece a confiança pública e reduz a corrupção, criando um ambiente seguro e atrativo para investimentos e impulsionando o crescimento econômico (Chanda et al., 2024). Incorporar a equidade na governança dentro da economia azul é essencial para evitar a concentração de poder e riqueza, promovendo assim um desenvolvimento mais justo e inclusivo. A economia azul, embora inicialmente enraizada na equidade social, muitas vezes foi ofuscada por agendas neoliberais que exacerbam as disparidades. O foco na equidade pode ajudar a realinhar as estruturas de governança para garantir que os benefícios e encargos sejam compartilhados de forma mais equitativa entre as partes interessadas. (Croft et al., 2024).

Para se obter o progresso social e econômico, especialmente em contextos de estabilidade política, é essencial a existência de qualidade regulatória e o controle da corrupção (Liashenko et al., 2024). Lîsenco (2024), por sua vez, mostra que Políticas que integram governança pública e investimentos em tecnologias verdes são cruciais para equilibrar o crescimento econômico com a proteção ambiental, facilitando a transição para uma economia verde. Essas políticas promovem o desenvolvimento sustentável alinhando incentivos econômicos com metas ecológicas, promovendo assim a inovação e a eficiência de recursos.

A relação entre a qualidade da governança e o bem-estar dos cidadãos, apontando que confiança nas instituições e percepção de justiça social reforçam a coesão social, essencial para a estabilidade econômica, como demonstram pesquisas realizadas por Ma et al. (2024). Já Tom (2024) ressalta o impacto

transformador de uma governança democrática inclusiva para o desenvolvimento econômico na África, argumentando que políticas sociais que visam reduzir desigualdades históricas contribuem para um crescimento sustentável.

Em conjunto, esses autores apontam que a governança pública não é apenas um facilitador do desenvolvimento econômico, mas um elemento estrutural que influencia a sustentabilidade e a equidade do crescimento econômico (Chanda et al., 2024; Croft et al., 2024; Liashenko et al., 2024; Lîsenco, 2024; Ma et al., 2024). Desta forma, propõe-se a seguinte hipótese (H1) a ser testada nessa pesquisa: existe uma relação positiva e estatisticamente significativa entre a Governança Pública e o Desenvolvimento Econômico.

2.3. Interconexões entre Desenvolvimento Econômico e Desenvolvimento Social

A relação entre desenvolvimento econômico e desenvolvimento social tem sido amplamente explorada na literatura, revelando uma série de interações complexas que refletem tanto os impactos positivos quanto os desafios dessa interação (Gatawa, 2022; Walters, James & Johnstone, 2024; Lian, Fan & Lu, 2024; Sirén ;2024). Estudos indicam que o crescimento econômico, ao proporcionar maior geração de renda e oportunidades de emprego, pode facilitar o avanço social em termos de saúde, educação e bem-estar. (Livingston, 2022; Cerf, 2023; Venkataramani, 2016; Salim, 2023).

Tabela 10 - evidências teóricas e empíricas da relação entre Desenvolvimento Econômico e Desenvolvimento Social

| Autor e Ano | Construto | ---> | Construto | Método | Relação entre Desenvolvimento Econômico e Desenvolvimento Social |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|--|--|
| Gu (2024) | Desenvolvimento Econômico | ---> | Desenvolvimento Social | Modelo de equação simultânea de painel espacial | O crescimento econômico em uma cidade aumenta o volume de negócios oficial em outras cidades próximas, promovendo o desenvolvimento social através de maior estabilidade econômica. |
| Chien, Chau & Huang (2024) | Desenvolvimento Econômico | ---> | Desenvolvimento Social | Modelo Dynamic Auto-regressive Distributed Lags (DARDL) e matriz de correlação | Identificou que a sustentabilidade social é impulsionada pelo crescimento econômico quando há integração de tecnologias verdes e inovação, reforçando o desenvolvimento social através de práticas sustentáveis. |
| Walters, James & Johnstone (2024) | Desenvolvimento Econômico | ---> | Desenvolvimento Social | Revisão narrativa crítica e entrevistas com informantes-chave | Observou que as pressões econômicas nas cadeias globais dificultam a melhoria do desenvolvimento social dos trabalhadores em países de baixa renda, ressaltando a necessidade de melhores práticas regulatórias. |
| Lian, Fan & Lu (2024) | Desenvolvimento Econômico | ---> | Desenvolvimento Social | Método TOPSIS de peso de entropia e análise espacial | Constatou que o desenvolvimento econômico gera avanços no desenvolvimento social em regiões mais desenvolvidas, enquanto regiões menos favorecidas ficam para trás, perpetuando as desigualdades regionais. |
| Meng & Gray (2024) | Desenvolvimento Econômico | ---> | Desenvolvimento Social | Análise qualitativa baseada em estudos de caso | Observou que políticas de desenvolvimento econômico sem foco social restringem o desenvolvimento social, especialmente no setor de trabalho social, onde a autonomia é limitada pelo governo. |
| Sirén (2024) | Desenvolvimento Econômico | ---> | Desenvolvimento Social | Análise de regressão multivariada com dados do Luxembourg Income Study | Constatou que o crescimento econômico é mais eficaz na redução da pobreza infantil quando acompanhado de políticas sociais e proteção social, promovendo desenvolvimento social inclusivo. |
| Gatawa (2022) | Desenvolvimento Econômico | ---> | Desenvolvimento Social | Análise quantitativa de séries temporais (2014-2018) | Observou que o desenvolvimento econômico impulsionado por investimentos sociais como saúde e educação resulta em maior qualidade de vida e desenvolvimento social. |

Fonte: Elaboração Própria (2024)

Tabela 10 destaca a interconexão significativa entre desenvolvimento econômico e social nos estudos analisados. Ao examinar o impacto do volume de negócios oficiais no crescimento econômico chinês, observa-se que regiões com maior desenvolvimento tendem a impulsionar o crescimento em áreas vizinhas, embora as disparidades regionais revelem a necessidade de políticas para um desenvolvimento mais equilibrado (Gu, 2024). Em um estudo complementar, verifica-se que cidades chinesas menos desenvolvidas não aproveitam plenamente os benefícios do crescimento econômico, o que reforça a importância de estratégias voltadas para a redução de desigualdades sociais e a promoção de uma prosperidade mais uniforme em todas as regiões (Lian, Fan e Lu, 2024).

No entanto a adoção de tecnologias energéticas sustentáveis e deecoinovação é apontada como uma estratégia que não só sustenta o crescimento econômico, mas também promove a sustentabilidade social, mitigando impactos ambientais e estabelecendo um modelo de desenvolvimento mais inclusivo (Chien, Chau e Huang, 2024). Em uma análise complementar, destaca-se o impacto das cadeias globais de suprimento nas condições de segurança e saúde dos trabalhadores, especialmente em países de renda média e baixa, onde pressões econômicas frequentemente comprometem essas condições, reforçando a necessidade de regulamentações que equilibrem crescimento econômico e bem-estar social (Walters, James & Johnstone, 2024).

A importância dos sistemas de proteção social é evidenciada ao demonstrar que o crescimento econômico, por si só, não é suficiente para reduzir a pobreza infantil, especialmente em países de renda baixa e média, onde políticas de transferência de renda podem amplificar os efeitos do crescimento, tornando-o mais inclusivo e eficaz na mitigação da pobreza (Sirén, 2024). Além disso, ao analisar o desenvolvimento do trabalho social na China, destaca-se a necessidade de intervenções que integrem preocupações sociais ao planejamento econômico, com a proposta de fortalecer o trabalho social de base para enfrentar desafios sociais e promover uma maior inclusão, especialmente em um contexto político autoritário que muitas vezes limita a autonomia desses profissionais (Meng & Gray, 2024).

Por fim, o impacto de fatores sociais como saúde, educação e força de

trabalho sobre o crescimento econômico revela que o desenvolvimento social contribui para o acúmulo de capital humano, essencial para a produtividade e sustentabilidade das economias (Gatawa, 2022). Esse estudo realizado por Gatawa reforça a ideia de que o investimento em aspectos sociais deve ser considerado um pilar fundamental para o crescimento econômico sustentável, propondo uma abordagem integrada em que as melhorias no capital humano impulsionam o desempenho econômico.

Esses estudos coletivamente apontam para uma visão onde o desenvolvimento social e econômico são interdependentes. Embora haja evidências da existência de uma relação negativa (Walters, James & Johnstone, 2024; Meng & Gray, 2024). Um corpo maior de evidências (Gu, 2024; Chien, Chau & Huang, 2024; Lian, Fan & Lu, 2024; Sirén, 2024; Gatawa, 2022) propõem a existência de uma relação positiva entre os construtos. Desta forma, propõe-se a seguinte hipótese a ser testada (H2): existe uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o Desenvolvimento Econômico e o Desenvolvimento Social.

2.4. Interconexões entre Desenvolvimento Econômico e Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas

A relação entre desenvolvimento econômico e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas tem se tornado um tema central nas discussões sobre sustentabilidade e resiliência socioeconômica (Sarkodie et al., 2022; Okoro, 2024; Alsharif, 2024) Uma síntese das evidências teóricas e empíricas, que elucidam como o desenvolvimento econômico influencia a habilidade das sociedades em enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas, são observados na Tabela 11 e buscam contribuir para uma compreensão das dinâmicas entre desenvolvimento econômico e adaptação as mudanças climáticas.

Tabela 11- evidências teóricas e empíricas da relação entre Desenvolvimento Econômico e Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas

| Autor e Ano | Construto | ---> | Construto para adaptação às Mudanças Climáticas | Método | Observações sobre Desenvolvimento Econômico e Adaptação às Mudanças Climáticas |
|---------------------------------|---------------------------|----------------|--|--|---|
| Nagy et al., 2018 | Desenvolvimento Econômico | ---> | Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | Análise de dados socioeconômicos e de desastres climáticos | Desenvolvimento econômico, infraestrutura e educação pública são essenciais para aumentar resiliência e adaptação, especialmente em países latino-americanos. Países desenvolvidos e em transição mostram maior capacidade de adaptação, sugerindo que o desenvolvimento econômico é crucial para reduzir a vulnerabilidade. |
| Halkos et al., 2020 | Desenvolvimento Econômico | ---> | Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | Modelagem linear hierárquica multinível | |
| Fuller, 2021 | Desenvolvimento Econômico | ---> | Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | Regressão OLS e de tendência temporal | Países de alta renda têm maior capacidade de adaptação, enquanto os de baixa renda enfrentam mais desafios devido à menor capacidade econômica. Governança efetiva e economia estável promovem resiliência climática, sugerindo que países fiscalmente fortes estão melhor preparados para adaptações climáticas. |
| Uribe, 2023 | Desenvolvimento Econômico | ---> | Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | Análise de sobrevivência | |
| Murmtaz & Theophilopoulou, 2024 | Desenvolvimento Econômico | ---> | Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | Modelo VAR em painel | Baixa capacidade econômica em países pobres limita a adaptação, destacando a importância de um desenvolvimento equilibrado e sustentável. |
| Komilov, 2024 | Desenvolvimento Econômico | ---> | Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | Coleta de dados quantitativos e qualitativos | Investimentos em segurança econômica e desenvolvimento sustentável são essenciais para adaptação climática, especialmente em economias vulneráveis como Uzbequistão. |
| Cardoso, 2024 | Desenvolvimento Econômico | ---> | Capacidade para adaptação às Mudanças Climáticas | Análise quantitativa e de discrepância | Desenvolvimento econômico é crucial para adaptar-se às mudanças climáticas, especialmente em regiões que enfrentam desafios financeiros para adaptação climática. |

Fonte: Elaboração própria (2024)

Observa-se na Tabela 11 que a literatura recente tem destacado a relação entre o desenvolvimento econômico e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, abordando como as características socioeconômicas e institucionais influenciam a vulnerabilidade climática em diversos países. Nagy et al. (2018), ao analisar a América Latina, observaram que a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos está intrinsecamente ligada à desigualdade socioeconômica e à infraestrutura inadequada.

A falta de desenvolvimento econômico e investimentos em infraestrutura reduz a capacidade adaptativa, expondo populações vulneráveis a riscos climáticos significativos e prejudicando o bem-estar humano. Nesse contexto, os autores (Nagy et al., 2018; Halkos et al., 2020; Uribe, 2023; Komilov, 2024) sugerem que políticas de adaptação devem incluir não apenas medidas para enfrentar os impactos climáticos diretos, mas também a promoção do desenvolvimento socioeconômico, como forma de fortalecer a resiliência regional.

Assim, países menos desenvolvidos apresentam níveis mais altos de vulnerabilidade climática, como reforçam as pesquisas de Halkos et al. (2020). Com base em uma análise multinível, alguns autores apontam que o PIB, a qualidade das instituições e outros fatores de desenvolvimento econômico influenciam significativamente a capacidade de um país de enfrentar as mudanças climáticas.

Os países desenvolvidos apresentam alta capacidade adaptativa devido a investimentos substanciais em tecnologia e infraestrutura, que facilitam medidas efetivas de adaptação climática (Saeed et al., 2023). Em contraste, os países em desenvolvimento geralmente carecem dos recursos e estruturas institucionais necessários, resultando em maior vulnerabilidade aos impactos climáticos (Sarkodie et al., 2022). Ou seja, países de baixa renda, que contribuem menos para as emissões globais, são os mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas (Fuller, 2021).

As pesquisas realizadas por Fuller (2021) demonstraram que a vulnerabilidade climática impacta negativamente o PIB per capita, o que indica que, para esses países, a adaptação às mudanças climáticas é ainda mais difícil devido à limitação de recursos econômicos. Fuller sugere que, para esses

países, o desenvolvimento econômico é essencial não apenas para a melhoria geral de suas economias, mas também como uma estratégia para reduzir a vulnerabilidade climática.

Em contrapartida, Uribe (2023) traz outra dimensão à discussão, examinando a relação entre vulnerabilidade climática e estabilidade fiscal. Segundo Uribe, a vulnerabilidade climática pode aumentar os riscos fiscais, especialmente em países emergentes, onde as economias são mais frágeis. O estudo sugere que fatores macroeconômicos e institucionais que promovem a estabilidade fiscal também podem ajudar na prontidão para enfrentar os desafios climáticos. Dessa forma, o desenvolvimento econômico e a governança eficaz promovem resiliência climática, evidenciando que a estabilidade econômica e financeira é um suporte importante para a adaptação.

Ao investigar a relação entre choques climáticos e desigualdade, Mumtaz & Theophilopoulou (2024) concluíram que países de baixa renda e com altas temperaturas, especialmente aqueles com economias agrícolas, são os mais afetados. Esses choques climáticos não apenas aumentam a desigualdade, mas também dificultam a capacidade de adaptação. Os autores defendem que o desenvolvimento econômico balanceado e sustentável pode ajudar a mitigar esses impactos, fortalecendo a capacidade adaptativa desses países.

A mudança climática afeta significativamente os desafios econômicos e a segurança alimentar em todo o mundo, interrompendo a produtividade agrícola e exacerbando a escassez de alimentos (Toromade et al., 2024; Saleem et al., 2024). A interação entre a variabilidade climática e os sistemas alimentares leva ao aumento dos preços dos alimentos e ao aumento dos riscos de desnutrição, afetando particularmente as populações vulneráveis (Alao et al., 2021 e Prasad et al. (2021).

Os desafios econômicos e a segurança alimentar no Uzbequistão são fortemente impactados pelas mudanças climáticas (Komilov, 2024). No entanto, Komilov observa que investimentos em políticas locais e desenvolvimento sustentável têm potencial para fortalecer a resiliência econômica e a segurança alimentar. Para países vulneráveis como o Uzbequistão, o desenvolvimento econômico torna-se uma base essencial para reduzir os riscos climáticos e promover a adaptação.

Por fim, Cardoso (2024) examina diversos índices de vulnerabilidade e

destaca que a vulnerabilidade climática nas economias em desenvolvimento apresenta variações significativas, influenciadas por fatores regionais. De acordo com Cardoso, o desenvolvimento econômico desempenha um papel crucial na implementação de políticas de adaptação eficazes. Ao comparar diferentes índices de vulnerabilidade, ele sugere a criação de um índice integrado, capaz de orientar políticas públicas e decisões financeiras, considerando as particularidades regionais e as condições econômicas de cada país.

Esses estudos, em conjunto, reforçam a ideia de que o desenvolvimento econômico desempenha um papel fundamental na adaptação às mudanças climáticas. Países com melhores condições econômicas e institucionais apresentam uma resiliência maior, enquanto os países de baixa renda, limitados em sua capacidade adaptativa, enfrentam maiores desafios. Desta forma e considerando o conjunto de evidências (Nagy et al., 2018; Halkos et al., 2020; Fuller, 2021; Uribe, 2023; Mumtaz & Theophilopoulou, 2024; Komilov, 2024; Cardoso, 2024), propõe-se a seguinte hipótese à ser testada (H3): existe uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o Desenvolvimento Econômico e a Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas.

2.5. Interconexões entre Desenvolvimento Econômico e Performance Ambiental

A relação entre desenvolvimento econômico e performance ambiental tem emergido como um tema crucial nas discussões contemporâneas sobre sustentabilidade e resiliência frente às mudanças climáticas. (Wu, 2023; Machado et al., 2024; Boman, 2022). Existe uma relação bidirecional entre eles, onde o crescimento econômico pode levar a melhorias ambientais, mas também pode resultar em degradação ambiental (Ho & Ferktaji, 2024).

Tabela 12 - Evidências teóricas e empíricas da relação entre Desenvolvimento Econômico e Performance Ambiental

| Autor e Ano | Construto | ---> | Construto | Método | Relação entre PIB e Desempenho Ambiental |
|------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|---|---|
| Al-Husseini, 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Análise econométrica de dados de 1980 a 2021 | O PIB está ligado à dependência do petróleo, afetando negativamente a diversificação econômica e o crescimento sustentável. |
| Wang et al., 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Método Generalizado de Momentos (GMM) para analisar dados de 164 países | PIB elevado e educação melhorada estão positivamente associados à proteção ambiental, embora eventos extremos possam reduzir esse impacto. |
| Silva et al., 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Análise Comparativa Qualitativa Difusa (FsQCA) em 156 países | Alto PIB per capita, associado a baixa corrupção e alta liberdade individual, é uma das combinações que contribuem para alto desempenho ambiental. |
| Lv, Zheng e Tan, 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Análise de dados em painel com o Método de Momentos Generalizados Instrumentais (IV GMM) em 102 países | O PIB, em países com altos recursos naturais, tende a impactar negativamente a qualidade ambiental, embora TIC possa mitigar esses efeitos em economias emergentes. |
| Kartal et al., 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Algoritmo Super Learner (SL) integrando seis algoritmos de ML para modelar o Índice de Desempenho Ambiental (EPI) | PIB per capita é o fator mais crítico para melhorar o desempenho ambiental, sugerindo que economias mais ricas têm mais recursos para investir em sustentabilidade. |
| Stolbov e Shchepeleva, 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Projeções locais em painel e clusterização K-Means | Desenvolvimento financeiro associado a um PIB elevado tende a prejudicar o desempenho ambiental, principalmente pela expansão dos mercados financeiros em detrimento das instituições ambientais. |
| Dracea et al., 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Modelos gráficos gaussianos para análise de rede bayesiana | PIB per capita, em conjunto com eficiência energética, contribui positivamente para o desempenho ambiental, evidenciando sinergias entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade na UE. |
| Rahman e Sultana, 2024 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Análise de dados em painel com efeitos fixos e aleatórios, além de métodos GMM, FMOLS e DOLS para relações de longo prazo | PIB maior está associado ao aumento das emissões de CO2, mas o uso de energia renovável e boa governança podem moderar esse efeito, especialmente em países em desenvolvimento. |
| Karahan, Yildirim e Yildirim, 2025 | Crescimento Econômico | ---> | Performance Ambiental | Método PROMETHEE baseado em entropia com dados do EPI 2022 | Turquia possui PIB relativamente inferior em comparação com outros países do Leste Europeu, o que influencia negativamente seu desempenho ambiental. |

Observa-se na Tabela 12 que os estudos analisados apresentam uma perspectiva abrangente sobre a relação complexa entre desenvolvimento econômico, frequentemente medido pelo PIB, e desempenho ambiental, que é influenciado por variáveis econômicas, culturais e institucionais. Em países com alta dependência de recursos naturais, como o Iraque, o PIB é ligado a desafios econômicos estruturais que comprometem a sustentabilidade e limitam a diversificação econômica (Al-Husseini, 2024). Estudos realizados por Al-Husseini destacam que uma economia dependente de petróleo enfrenta dificuldades para atingir um crescimento sustentável sem reformas econômicas e políticas adequadas.

Em contrapartida, Wang et al. (2024) sugerem que uma governança robusta pode associar-se positivamente à proteção ambiental, onde PIB e níveis educacionais elevados contribuem para melhores práticas ambientais. Entretanto, eventos climáticos extremos podem enfraquecer esse impacto, indicando que a prosperidade econômica por si só não garante sustentabilidade ambiental. Da mesma forma, Silva et al. (2024) identificam que, em países com alto PIB per capita, fatores como urbanização e proteção de direitos individuais aumentam a probabilidade de um desempenho ambiental elevado. Isso demonstra que a qualidade de vida e as liberdades individuais complementam o crescimento econômico como fatores determinantes para um ambiente saudável.

A ideia de que, embora um alto PIB geralmente esteja associado a impactos negativos na qualidade ambiental — especialmente em economias dependentes de recursos naturais —, o desenvolvimento de tecnologias da informação e comunicação (TIC) pode atenuar esses efeitos negativos (Lv, Zheng e Tan, 2024; Kartal et al., 2024). Kartal et al. também destacam que o PIB per capita é o fator mais significativo para o desempenho ambiental, sugerindo que economias mais ricas têm mais recursos para investir em tecnologias e práticas sustentáveis.

No entanto, Stolbov & Shchepeleva (2024) apontam que o desenvolvimento financeiro associado ao PIB pode prejudicar o desempenho ambiental, uma vez que a expansão dos mercados financeiros nem sempre se alinha com objetivos de sustentabilidade. Esse efeito destaca uma relação

paradoxal entre o crescimento econômico e a qualidade ambiental, especialmente em contextos de alta incerteza econômica e risco sistêmico.

Em contextos como a União Europeia, onde Drăcea et al. (2024) identificam que a eficiência energética, associada ao PIB per capita, desempenha um papel crucial no desempenho ambiental, observa-se que o desenvolvimento econômico pode caminhar lado a lado com a sustentabilidade, desde que políticas energéticas e de governança sejam integradas. Essa sinergia reflete a importância de estratégias que conciliem crescimento econômico e eficiência ambiental, em vez de tratar esses objetivos como mutuamente exclusivos.

Por fim, existe uma relação de compensação entre o desenvolvimento humano e a qualidade ambiental nos países em desenvolvimento, onde o aumento do PIB tende a elevar as emissões de CO₂ (Rahman & Sultana, 2024). No entanto, a utilização de energia renovável e a adoção de práticas de boa governança podem mitigar esse impacto, indicando que o crescimento econômico pode ser ajustado para promover a sustentabilidade, especialmente em nações de baixa e média renda como retratam Rahman e Sultana (2024).

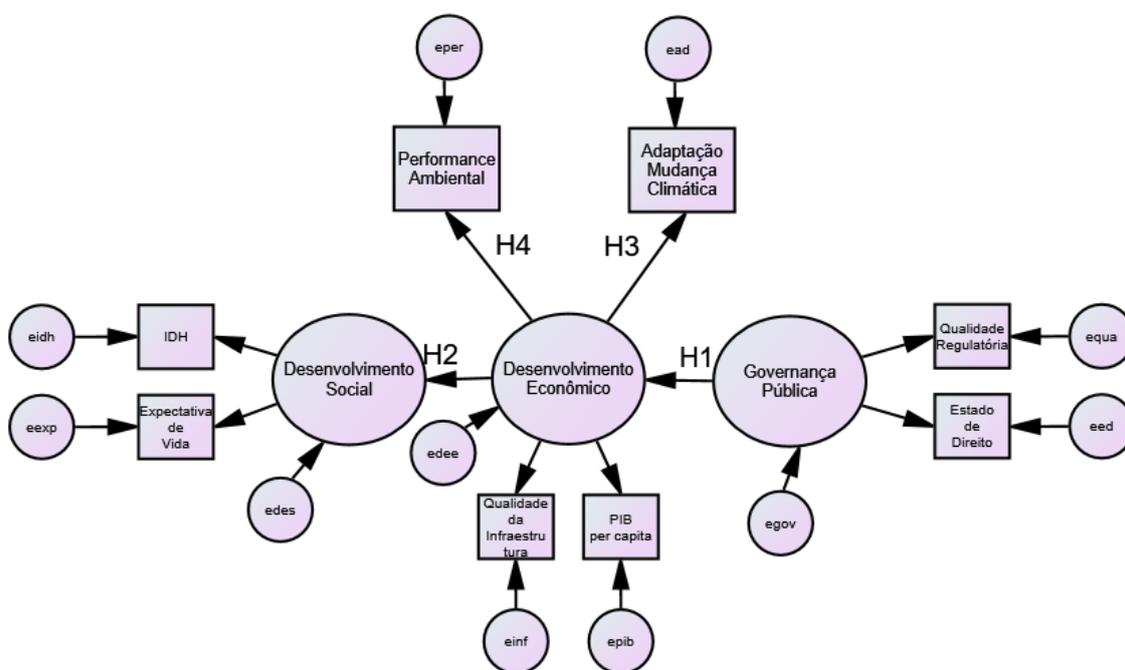
Em síntese, as análises revelam que a relação entre desenvolvimento econômico e desempenho ambiental é multifacetada. Embora o crescimento econômico possa fornecer recursos para investimentos sustentáveis, ele também impõe desafios significativos, como aumento das emissões e exploração excessiva dos recursos. Desta forma, e considerando as evidências da relação positiva (Wang et al., 2024; Silva et al., 2024; Kartal et al., 2024; Drăcea et al., 2024) e negativa (Al-Husseini, 2024; Lv, Zheng e Tan, 2024, Stolbov e Shchepeleva, 2024; Rahman e Sultana, 2024; Karahan, Yildirim e Yildirim, 2025) entre o desenvolvimento econômico e a performance ambiental dos países, propõe-se a seguinte hipótese (H4): existe uma relação estatisticamente significativa entre o Desenvolvimento Econômico e Performance Ambiental dos países analisados.

3. Metodologia

Este artigo utiliza a modelagem de equações estruturais (*Structural*

Equation Modeling - SEM) para investigar as relações entre variáveis de governança, desenvolvimento econômico, social e ambiental em uma amostra de 149 países. A amostra foi selecionada devido à disponibilidade de dados, tendo como base o ano de 2022. Após a seleção da amostra, realizou-se a exclusão de *outliers* multivariados, por meio do teste de Hadi (1992, 1992a), em que se excluíram oito países (Angola, Belize, Irlanda; Líbano, Luxemburgo, Noruega, Qatar e Singapura). A figura 3 apresenta o modelo conceitual e as hipóteses a serem testadas nesta pesquisa.

Figura 3 - Modelo teórico



Fonte: elaboração própria (2024)

O modelo segue um fluxo sequencial, em que o construto Governança Pública (composta pelas variáveis Qualidade Regulatória e Estado de Direito) atua como variável exógena, impulsionando o Desenvolvimento Econômico. Este, por sua vez, influencia o Desenvolvimento Social e os indicadores ambientais, incluindo a Performance Ambiental e o Índice de Prontoidão para Adaptação às Mudanças Climáticas.

O Constructo Governança Pública é formado por duas variáveis. A primeira é a Qualidade Regulatória, que avalia a capacidade governamental de

estabelecer políticas sólidas que promovam o setor privado. A segunda variável é o Estado de Direito, que mede a confiança na aplicação das leis e a eficácia do sistema judicial. Ambas variáveis foram obtidas através do World Bank (2024).

O segundo constructo é o Desenvolvimento Econômico (DE), o qual também é formado por duas variáveis: PIB per capita e Qualidade da Infraestrutura Física. A primeira variável representa o valor da produção econômica por habitante, indicador do padrão de vida médio, obtido através de World Bank (2024). A segunda variável, denominada de Qualidade da infraestrutura avalia a percepção sobre a qualidade e adequação da infraestrutura física de um país, incluindo rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e fornecimento de energia.

Esse indicador é fundamental porque uma infraestrutura bem desenvolvida facilita o fluxo eficiente de bens e pessoas, reduz custos logísticos, e contribui para a produtividade e competitividade econômica (Schwab, 2018). No contexto do Índice de Competitividade Global do Fórum Econômico Mundial, uma infraestrutura de alta qualidade é considerada essencial para atrair investimentos, sustentar o crescimento econômico de longo prazo, e melhorar a qualidade de vida. Os dados foram obtidos através de World Bank (2024a)

O terceiro constructo foi denominado de Desenvolvimento Social. Ele é Composto por dois indicadores de qualidade de vida: Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e Expectativa de Vida, em anos (*Life expectancy, years*). O primeiro indicador mede o progresso de um país em aspectos fundamentais de qualidade de vida, como renda, educação e saúde, proporcionando uma visão abrangente do desenvolvimento humano.

O IDH é um indicador amplamente aceito que reflete tanto o desenvolvimento econômico quanto social, e foi obtido a partir do University of Notre-Dame (2024). O segundo indicador, Expectativa de Vida, mede o número médio de anos que uma pessoa pode esperar viver, considerando as condições de saúde e os fatores socioeconômicos de um determinado país. Esse indicador reflete tanto a qualidade dos serviços de saúde quanto o bem-estar geral da população. Dados sobre a Expectativa de Vida foram também coletados a partir de fontes do World Bank (2024a).

Por fim, a dimensão ambiental foi medida, de maneira independente, por dois indicadores: Performance Ambiental e Adaptação Climática. O primeiro é o

Índice de Performance Ambiental (*Environmental Performance Index* - EPI), que avalia os esforços de um país em preservar seus recursos naturais e em implementar políticas eficazes de sustentabilidade ambiental. O EPI oferece uma visão abrangente da gestão ambiental, considerando fatores como qualidade do ar, recursos hídricos, biodiversidade e serviços ecossistêmicos, refletindo a capacidade de um país de equilibrar o crescimento econômico com a preservação ambiental. Os dados foram coletados da Block et al. (2024).

Já o segundo indicador é o Índice de Prontidão para Adaptação às Mudanças Climáticas (ND-GAIN), que mede a vulnerabilidade de um país às mudanças climáticas e sua capacidade de adaptação. Esse índice é composto por várias métricas que avaliam tanto a exposição a riscos climáticos como a resiliência do país em diferentes setores, como saúde, infraestrutura e agricultura. O ND-GAIN oferece insights importantes sobre como países se preparam para enfrentar os impactos das mudanças climáticas e construir um futuro mais sustentável e adaptável. Os dados para o ND-GAIN foram obtidos através da University of Notre Dame (2024).

Para avaliar a qualidade do ajuste do modelo, foram adotados uma série de índices com critérios de decisão baseados em valores de referência estabelecidos pela literatura. Estes índices fornecem parâmetros importantes para verificar se o modelo proposto ajusta-se adequadamente aos dados observados, contribuindo para validar a estrutura teórica e as hipóteses do estudo. Os critérios e seus valores de referência são apresentados a seguir:

Razão Qui-quadrado (χ^2/df): Este índice mede a relação entre o valor do Qui-quadrado e os graus de liberdade do modelo, com valores menores que 3 indicando um ajuste adequado. Segundo Carmines e McIver (1981), valores abaixo desse limite representam um modelo aceitável, enquanto valores muito altos indicam que o modelo pode estar mal ajustado.

GFI (Goodness-of-Fit Index): O GFI é um índice que avalia a proporção da variância-covariância observada explicada pelo modelo. Valores superiores a 0,95 são recomendados por Byrne (2013) para indicar um bom ajuste, pois refletem um alto grau de compatibilidade entre o modelo teórico e os dados empíricos.

CFI (Comparative Fit Index): Esse índice compara o modelo ajustado com um modelo nulo, onde nenhuma relação entre as variáveis é assumida. Segundo

Byrne (2013), valores superiores a 0,95 indicam que o modelo proposto é substancialmente melhor do que o modelo nulo, demonstrando bom ajuste.

TLI (Tucker-Lewis Index): Semelhante ao CFI, o TLI também compara o modelo proposto com um modelo nulo, levando em conta a complexidade do modelo. De acordo com Hu e Bentler (1999), valores de TLI acima de 0,95 indicam que o modelo ajusta-se bem aos dados.

IFI (Incremental Fit Index): O IFI avalia o incremento no ajuste em comparação a um modelo nulo. Segundo Bollen (1989), valores superiores a 0,90 refletem um ajuste adequado e sugerem que o modelo explica melhor a variância-covariância observada do que o modelo de base.

RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation): Este índice mede o erro médio de aproximação por grau de liberdade, com valores menores que 0,10 considerados aceitáveis, segundo Steiger (2007). Um RMSEA abaixo desse valor sugere que o modelo se aproxima bem da matriz de covariância observada, com erro de ajuste relativamente baixo.

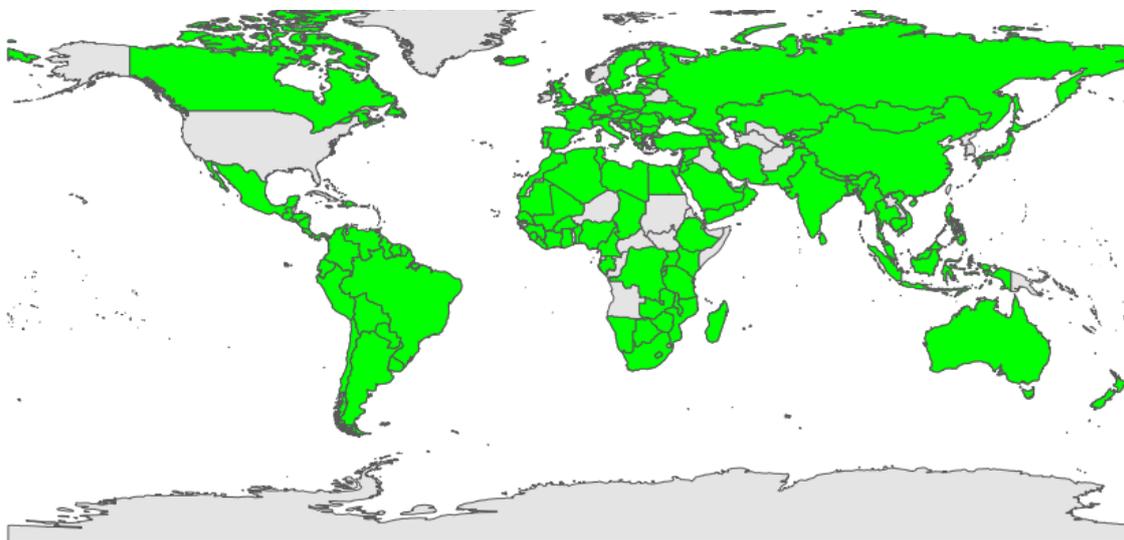
RMSR (Root Mean Square Residual): O RMSR representa a média das diferenças absolutas entre as covariâncias observadas e previstas pelo modelo. Valores abaixo de 0,05 são indicados por Hooper, Coughlan e Mullen (2008) como sugestivos de um bom ajuste, pois refletem pequenas discrepâncias entre os dados reais e os previstos.

Para melhorar o ajuste do modelo estrutural proposto, foram consideradas covariâncias entre algumas variáveis latentes relacionadas. A decisão de incluir covariâncias foi orientada pela análise teórica dos construtos, bem como por observações empíricas que sugerem relações interdependentes entre os indicadores de governança, desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e aspectos ambientais. Por fim, cumpre destacar que os dados foram padronizados em termos de desvios padrões, como forma de garantir a comparabilidade entre as variáveis, reduzindo os efeitos de escalas distintas e facilitando a interpretação dos coeficientes no modelo. Essa padronização permite também uma avaliação mais robusta das relações estruturais, minimizando o impacto de possíveis assimetrias e heterocedasticidades nas estimativas finais.

4. Resultados e Discussões

A amostra de 149 países (Figura 4) representa um amplo espectro de capacidades e desafios em termos de adaptação às mudanças climáticas, desenvolvimento econômico e social, desempenho ambiental e governança. Países como Alemanha, Japão e Estados Unidos, com altos níveis de desenvolvimento econômico, tendem a ter melhor infraestrutura e recursos para políticas adaptativas, combinados com altos padrões de desenvolvimento social e desempenho ambiental (Machado, 2024).

Figura 4 - Relação dos países analisados na pesquisa



Fonte: elaboração própria (2024).

Em contraste, países em desenvolvimento e de baixa renda, como Malawi, Burkina Faso e Haiti, enfrentam desafios mais agudos na adaptação às mudanças climáticas devido a recursos limitados, menores índices de desenvolvimento social e barreiras institucionais em termos de governança (Doyle & Alaniz, 2021). Esses países frequentemente apresentam menor desempenho ambiental devido a uma menor capacidade de investimento em tecnologias limpas e políticas de mitigação.

Além disso, a governança varia substancialmente, enquanto países como Suécia, Nova Zelândia e Canadá demonstram estruturas governamentais mais robustas, com políticas de sustentabilidade bem delineadas, países como o

lêmen e a Síria, afetados por instabilidade política, enfrentam grandes dificuldades para implementar políticas eficazes de adaptação e proteção ambiental (Andrijevic, 2020).

No geral, essa variedade permite uma análise rica de como diferentes níveis de desenvolvimento econômico, social, desempenho ambiental e governança influenciam a capacidade de adaptação climática dos países. A análise da interação entre as variáveis é essencial para entender a complexidade da adaptação às mudanças climáticas.

Tabela 13 - Mínimo, máximo, média, mediana, assimetria e curtose das variáveis utilizadas na pesquisa

| Variável | Mínim o | Máxim o | Médi a | Median a | Assimetri a | Curtose * |
|-------------------------------------|------------|------------|-----------|-------------|----------------|--------------|
| Qualidade Regulatória | 1,42 | 99,53 | 50,14 | 50,00 | 0,06 | -1,13 |
| Estado de Direito | 0,47 | 100,00 | 48,10 | 46,70 | 0,18 | -0,97 |
| Adaptação às Mudanças Climáticas | 27,16 | 72,94 | 50,89 | 50,21 | 0,21 | -0,82 |
| PIB per capita (em mil US\$) | 0,92 | 90,75 | 26,50 | 19,40 | 0,85 | -0,32 |
| Índice de Desenvolvimento Humano | 0,39 | 0,97 | 0,73 | 0,76 | -0,40 | -0,87 |
| Qualidade geral da infraestrutura | 1,79 | 6,44 | 3,97 | 3,97 | 0,07 | -0,73 |
| Expectativa de Vida (em anos) | 48,87 | 83,84 | 71,80 | 74,41 | -0,79 | -0,03 |
| Performance Ambiental (EPI) | 18,90 | 77,90 | 43,11 | 40,90 | 0,58 | -0,07 |

Legenda: * indica o excesso de curtose. Fonte: elaboração própria (2024).

A Tabela 13 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na pesquisa, abrangendo medidas de tendência central (mínimo, máximo, média e mediana), assimetria e excesso de curtose. Essas variáveis foram selecionadas para avaliar aspectos econômicos, sociais, ambientais e institucionais entre os países.

A variável Qualidade Regulatória possui uma ampla faixa de valores, variando de 1,42 a 99,53, com média e mediana praticamente iguais (50,14 e 50,00, respectivamente), indicando uma distribuição bastante simétrica (assimetria de 0,06). A curtose negativa (-1,13) sugere que os dados são mais dispersos e apresentam menos valores extremos do que uma distribuição normal.

Para o Estado de Direito, os valores mínimos e máximos são 0,47 e 100,00, respectivamente, com média de 48,10 e mediana de 46,70, indicando

uma ligeira concentração de valores abaixo da média. A assimetria positiva (0,18) confirma essa tendência, enquanto a curtose de -0,97 sugere novamente uma distribuição mais achatada.

A Adaptação às Mudanças Climáticas apresenta um intervalo mais estreito (27,16 a 72,94), com média de 50,89 e mediana próxima (50,21). A assimetria de 0,21 reflete uma leve inclinação positiva, enquanto a curtose de -0,82 indica uma distribuição menos concentrada.

O PIB per capita, com valores entre 0,92 mil e 90,75 mil dólares, possui uma média de 26,50 mil dólares, mas a mediana de 19,40 mil revela uma distribuição assimétrica positiva (0,85), indicando a presença de valores muito altos que elevam a média. A curtose de -0,32 aponta para uma distribuição relativamente achatada.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), variando de 0,39 a 0,97, tem média de 0,73 e mediana de 0,76. A assimetria negativa (-0,40) mostra uma leve concentração de valores acima da média, enquanto a curtose de -0,87 indica baixa concentração de valores extremos.

A Qualidade geral da infraestrutura varia entre 1,79 e 6,44, com média e mediana idênticas (3,97), sugerindo uma distribuição simétrica (assimetria de 0,07). A curtose negativa (-0,73) reflete uma dispersão moderada.

A variável Expectativa de Vida apresenta valores entre 48,87 e 83,84 anos, com média de 71,80 anos e mediana de 74,41 anos. A assimetria negativa (-0,79) indica uma concentração de valores mais altos, enquanto a curtose próxima de zero (-0,03) sugere uma distribuição quase normal.

Por fim, a Performance Ambiental (EPI) possui um intervalo de 18,90 a 77,90, com média de 43,11 e mediana de 40,90. A assimetria positiva (0,58) aponta para valores extremos elevados, enquanto a curtose próxima de zero (-0,07) sugere uma distribuição equilibrada.

De maneira geral, as estatísticas revelam que as variáveis possuem diferentes níveis de dispersão e simetria, com algumas apresentando alta concentração em torno da média, enquanto outras exibem maior dispersão. As assimetrias e curtoses excessivas indicam nuances importantes na distribuição dos dados que devem ser consideradas em análises mais avançadas.

A análise das interações entre variáveis econômicas e ambientais é fundamental para compreender os desafios contemporâneos enfrentados pelas sociedades em um contexto de mudanças climáticas. Este trabalho utilizou a modelagem de equações estruturais para avaliar as inter-relações. A Tabela 6 apresenta os índices de ajuste calculados, acompanhados de valores de referência propostos na pesquisa

Tabela 14 - Valores do índice de ajuste, autores e valores de referência

| Índices de ajuste | Autor de referência | Valor de referência | Valor |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------|
| Razão Qui-quadrado | Carmines e Mciver (1981) | <3,00 | 1,04 |
| GFI | Byrne (2013) | >0,95 | 0,97 |
| CFI | Byrne (2013) | >0,95 | 1,00 |
| TLI | Hu e Bentler (1999) | >0,95 | 1,00 |
| IFI | Bollen (1989) | >0,90 | 1,00 |
| RMSEA | Steiger (2007) | <0,10 | 0,02 |
| RMSR | Hooper; Coughlan; Mullen (2008) | <0,05 | 0,03 |

Legenda: * Razão qui-quadrado pelos graus de liberdade (df).

Ao analisar a Tabela 14, observa-se que todos os índices de ajuste apresentados estão dentro dos valores de referência sugeridos pela literatura. A razão qui-quadrado pelos graus de liberdade (1,04) está bem abaixo do limite de 3,00, indicando um ajuste muito bom do modelo. O GFI (0,97), CFI (1,00), TLI (1,00) e IFI (1,00) também superam os valores mínimos esperados, reforçando a adequação do modelo às observações.

No que diz respeito aos índices de erro, o RMSEA apresenta um valor de 0,02, muito inferior ao limite de 0,10, indicando uma discrepância mínima entre os valores estimados pelo modelo e os dados observados. Da mesma forma, o RMSR atinge exatamente o limite máximo aceitável (0,03), permanecendo dentro do intervalo de adequação.

Esses resultados evidenciam que o modelo ajustado atende a todos os critérios de qualidade estabelecidos, o que confere robustez às suas interpretações. Os valores alcançados demonstram a confiabilidade das medidas e a consistência do modelo em representar as relações subjacentes entre as variáveis analisadas.

A Tabela 15, apresentada neste estudo, ilustra as cargas diretas

estimadas (padronizadas) do modelo, revelando as dinâmicas de influência mútua entre as variáveis analisadas. Este enfoque permite não apenas uma melhor compreensão dos mecanismos subjacentes a essas interações, mas também oferece subsídios para a formulação de políticas que promovam um desenvolvimento sustentável e adaptativo.

Tabela 15 - Cargas diretas estimadas (padronizadas) do modelo

| Variável | Direção | Variável | Carga | Prob. |
|--|------------|---------------------------|-------|-------|
| Desenvolvimento Econômico | <--- | Governança Pública | 0.931 | 0.000 |
| Desenvolvimento Social | <--- | Desenvolvimento Econômico | 0.879 | 0.000 |
| Performance Ambiental (EPI) | <--- | Desenvolvimento Econômico | 0.772 | 0.000 |
| Adaptação às Mudanças Climáticas | <--- | Desenvolvimento Econômico | 0.969 | 0.000 |
| Qualidade Regulatória | <--- | Governança Pública | 0.969 | 0.000 |
| Estado de Direito | <--- | Governança Pública | 0.959 | 0.000 |
| | <--- | Desenvolvimento Econômico | 0.907 | 0.000 |
| PIB per capita (em US\$) | <--- | Desenvolvimento Econômico | 0.927 | 0.000 |
| Qualidade geral da infraestrutura | <--- | Desenvolvimento Social | 0.884 | 0.000 |
| Expectativa de Vida (em anos) | <--- | Desenvolvimento Social | 1.000 | 0.000 |
| Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) | <--- | | 0.223 | 0.000 |
| | eepi <---> | epib | 0.673 | 0.000 |
| | edes <---> | edee | | |

Fonte: Elaboração própria (2024)

Observa-se na Figura 3 e Tabela 15, que o fluxo começa com o construto de Governança, representado pelas variáveis Qualidade Regulatória e Estado de Direito, que influenciam diretamente o Desenvolvimento Econômico (DE). Em seguida, o Desenvolvimento Econômico atua como uma base que impacta o Desenvolvimento Social (DS) e as variáveis de resiliência ambiental, como o Índice de Performance Ambiental (EPI) e a Capacidade para Adaptação às Mudanças Climáticas (ND-GAIN). Esse fluxo sequencial indica que a governança eficiente e estável é a origem dos demais processos de desenvolvimento (econômico e social), gerando um efeito em cadeia que vai além do crescimento econômico e abrange melhorias sociais e ambientais.

A Governança Pública, fundamentada na Qualidade Regulatória e no Estado de Direito, constitui o pilar essencial para um desenvolvimento sustentável. A Qualidade Regulatória mede a capacidade governamental de

estabelecer políticas que favoreçam o crescimento do setor privado por meio de uma regulação eficiente e estável. Esse ambiente regulatório confiável reduz as incertezas, atrai investimentos e possibilita o crescimento econômico sustentável (Shen, 2023). Em complemento, o Estado de Direito reflete a confiança e o cumprimento das leis, abrangendo a eficácia do sistema judicial e das forças de segurança.

Assim, a presença de uma governança forte e justa, que assegure a integridade institucional e a eficácia das leis, cria um ambiente seguro e previsível para as atividades econômicas, permitindo que o setor privado prospere com menos riscos (Das & Giri, 2024). Juntos, esses elementos de governança formam as bases para o Desenvolvimento Econômico, destacando a importância de instituições sólidas e transparentes como impulsionadoras do crescimento (Cialani et al., 2024).

Além disso, a Governança Pública exerce uma influência direta sobre a Qualidade Regulatória e o Estado de Direito, evidenciada por cargas de 0,969 e 0,959, respectivamente, o que comprova a forte conexão entre governança, regulação e justiça. Nesse contexto, Croft et al. (2024) afirmam que uma governança inclusiva e um sistema regulatório equitativo são fundamentais para promover estabilidade econômica e social. Al-Husseini (2024) reforça essa perspectiva, apontando que o fortalecimento do Estado de Direito garante a distribuição justa de recursos e combate a corrupção.

Conseqüentemente, o Desenvolvimento Econômico (DE), composto pelo PIB per capita (carga de 0,907) e pela Infraestrutura (carga de 0,927), emerge como um desdobramento natural de uma boa governança. O PIB per capita reflete o padrão de vida médio da população e demonstra a importância do crescimento econômico individual como fator de sustentabilidade e competitividade.

Por sua vez, a Infraestrutura, com uma carga ainda maior, sublinha a relevância de uma base estrutural de qualidade — como estradas, redes de energia, portos e sistemas de transporte — para o funcionamento eficiente da economia e a atração de investimentos (Brancaccio et al., 2024). Dessa forma, o Desenvolvimento Econômico não se limita ao aumento da riqueza, mas também engloba a criação de condições estruturais que sustentem a

produtividade, incentivem o investimento e promovam a inovação (Gong et al., 2023).

Nesse sentido, a Governança Pública exerce uma influência significativa sobre o Desenvolvimento Econômico, com uma carga de 0,931 indicando que a qualidade regulatória e o Estado de Direito são cruciais para estabelecer um ambiente econômico estável e promissor, além de reduzir a corrupção e aumentar a transparência (Liashenko et al., 2024; Chanda et al., 2024) Uma governança eficaz contribui para a sustentabilidade, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento econômico sustentável (Wang et al., 2024).

De maneira prática, o Desenvolvimento Econômico impulsiona diretamente o crescimento do PIB per capita e a Qualidade da Infraestrutura. Investimentos em infraestrutura e capital humano é essencial para o crescimento do PIB per capita (Da Silva, 2024), pois uma infraestrutura moderna para atrair investimentos e sustentar o desenvolvimento (Muñoz, 2024).

Além dos efeitos econômicos, o fortalecimento do Desenvolvimento Econômico também gera impactos positivos no Desenvolvimento Social (DS), na Resiliência Ambiental (ND-GAIN) e no Índice de Performance Ambiental (EPI). O Desenvolvimento Social, medido pelo IDH e pela Expectativa de Vida, reflete o impacto do DE em aspectos como saúde, educação e bem-estar.

É importante destacar que o impacto do Desenvolvimento Econômico sobre o Desenvolvimento Social é expressivo, com carga de 0,879 sugerindo que o crescimento econômico melhora indicadores sociais, especialmente quando há investimentos em saúde e educação, fortalecendo o capital humano (Nuriddinovna & Abdikholilovich, 2024). Fatores sociais são fundamentais para o aumento da produtividade e da qualidade de vida (Gatawa, 2024). Ademais, o progresso social está diretamente ligado à melhoria das condições de vida, com impacto positivo sobre a Expectativa de Vida (0,884) e o IDH (1,000), conforme destacam Sirén (2024) e Koivusalo et al. (2024).

Esse avanço no Desenvolvimento Social sugere que um crescimento econômico sólido melhora as condições de vida, aumentando o acesso a serviços essenciais, saúde e educação, o que eleva a expectativa de vida e o desenvolvimento humano (Thirtabrata et al., 2022). Do ponto de vista gerencial,

isso indica que investimentos em infraestrutura econômica e aumento da riqueza per capita beneficiam diretamente a qualidade de vida da população.

Por outro lado, o ND-GAIN, com carga de 0,969, representa a capacidade de adaptação de um país às mudanças climáticas, sugerindo que economias sólidas conseguem destinar recursos para a prontidão climática, por meio de investimentos em tecnologias adaptativas e políticas de resiliência. Como exemplo destaca-se investimento em tecnologias eco-inovadoras e energias renováveis, o que é crucial para enfrentar os desafios climáticos (Chien et al., 2024), e que reforça a importância das estratégias de adaptação para fortalecer a resiliência econômica e ambiental (Huang et al., 2024).

Já o Índice de Performance Ambiental (EPI), com carga de 0,772, avalia o compromisso com práticas ambientais responsáveis e a conservação de recursos naturais. A menor carga em comparação ao ND-GAIN sugere uma ênfase gerencial na adaptação às mudanças climáticas iminentes, ainda que o compromisso ambiental permaneça essencial. O desenvolvimento sustentável, aliado a práticas ecológicas, pode preservar o meio ambiente (Silva et al., 2024; Lv et al., 2024), enquanto que uma governança forte direciona recursos para o uso sustentável (Wang et al., 2024).

Em resumo, as hipóteses analisadas revelam a interdependência entre Governança Pública, Desenvolvimento Econômico, Desenvolvimento Social, Adaptação às Mudanças Climáticas e Performance Ambiental. A primeira hipótese (H1) indica que uma governança pública eficiente, com regulamentação e transparência, impulsiona o crescimento econômico ao atrair investimentos e promover estabilidade, de acordo com Chanda et al. (2024) e Liashenko et al. (2024) que elucidam que a qualidade regulatória e o Estado de Direito contribuem para um ambiente estável e transparente, essencial para impulsionar o desenvolvimento econômico. Este impacto reflete a importância de políticas de governança que fomentem a eficiência e atraiam investimentos, fatores fundamentais para o desenvolvimento econômico sustentável.

A segunda hipótese (H2) sugere que o crescimento econômico contribui diretamente para o desenvolvimento social, permitindo maiores investimentos em áreas essenciais como saúde e educação, o que eleva o capital humano. Nuriddinova & Abdikholilovich (2024) destacam que o crescimento econômico

permite maiores investimentos em saúde e educação, fatores que elevam o capital humano e reduzem desigualdades. Esse achado é corroborado por Gatawa (2024), que argumenta que o desenvolvimento social resulta diretamente de investimentos sustentáveis em infraestrutura e serviços públicos essenciais.

Na terceira hipótese (H3), uma economia robusta é vista como fundamental para fortalecer a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, viabilizando investimentos em infraestrutura resiliente, indicando que uma economia sólida é capaz de destinar mais recursos para enfrentar os desafios climáticos. Chien et al. (2024) e Uribe (2023) explicam que economias estáveis podem investir em tecnologias e infraestrutura resiliente, fundamentais para a adaptação climática. Esse investimento fortalece a capacidade de adaptação, especialmente diante de eventos climáticos extremos.

Por fim, a quarta hipótese (H4) aponta que, embora o crescimento econômico possa impulsionar a performance ambiental, isso depende da implementação de políticas de governança ambiental que assegurem a sustentabilidade. Segundo Silva et al. (2024) e Lv et al. (2024), uma economia em crescimento pode impulsionar práticas sustentáveis e promover o uso responsável de recursos naturais, desde que políticas ambientais adequadas estejam em vigor. Contudo, autores como Wang et al. (2024) observam que esse impacto pode ser mitigado por políticas de governança que direcionem investimentos para a sustentabilidade ambiental.

Em resumo, os resultados da Tabela 6 validam as quatro hipóteses, demonstrando que a Governança Pública impulsiona o Desenvolvimento Econômico, que, por sua vez, influencia positivamente o Desenvolvimento Social, a Capacidade de Adaptação às Mudanças Climáticas e a Performance Ambiental. Esses achados reforçam a importância de uma abordagem integrada entre governança, crescimento econômico, inclusão social e sustentabilidade.

5. Considerações finais

Os resultados desta pesquisa confirmam que a governança eficaz, o desenvolvimento econômico, social e ambiental são pilares interconectados e indispensáveis ao desenvolvimento sustentável. A governança, alicerçada na qualidade regulatória e no estado de direito, desempenha um papel crucial ao impulsionar o crescimento econômico, o qual, por sua vez, promove melhorias significativas em indicadores sociais, como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a expectativa de vida (Cialani, 2024). Economias robustas fortalecem a capacidade de adaptação às mudanças climáticas por meio de investimentos em tecnologias e infraestrutura resiliente (Chien et al., 2024; Uribe, 2023). Além disso, o crescimento econômico pode contribuir para a performance ambiental, desde que esteja associado a políticas públicas que priorizem a sustentabilidade (Lisenco, 2024).

Uma governança eficiente, com boa regulação e aplicação do estado de direito, é crucial para impulsionar o crescimento econômico, avanços sociais e resiliência ambiental. Embora a governança pública não impacte diretamente as dimensões ambientais, existe um impacto forte, porém indireto, o qual deve ser considerado na elaboração de políticas públicas governamentais e intergovernamentais, com especial destaque para a amostra selecionada para análise. Os resultados observados refletem as dinâmicas específicas dos países selecionados para o estudo, o que sugere que a interação entre governança, dimensões socioeconômicas e questões ambientais pode variar substancialmente em contextos distintos. Assim, é fundamental reconhecer que tais conclusões estão vinculadas às características dos países analisados, não sendo necessariamente aplicáveis de forma universal a todas as nações.

Dessa forma, recomenda-se a formulação de políticas públicas integradas que combinem investimentos em infraestrutura, educação e saúde com práticas sustentáveis, promovendo simultaneamente o desenvolvimento humano e a preservação ambiental. Adicionalmente, destaca-se a necessidade de priorizar a cooperação internacional e o fortalecimento institucional para reduzir desigualdades regionais e mitigar os impactos das mudanças climáticas de maneira coordenada.

6. Referências

AL-ARBAWI, S. H. Sustainable Development and the Rights of Future Generations in the Iraqi Constitution of 2005: A Comparative Study. **Journal Port Science Research**, v. 7, n. issue, p. 491-504, 2024.

AL-HUSSEINI, J. A. A. Analysis of the impact of public spending on GDP: An econometric study of the case of Iraq for the period (1980-2021). **Iraqi Journal for Economic Sciences**, 22(80), 2024.

ALAO, R.i et al. Economic inequality in malnutrition: a global systematic review and meta-analysis. **BMJ Global Health**, v. 6, n. 12, p. e006906, 2021.

ALSHAREF, O. M. et al. Climate Change Resilience Strategies for Sustainable Development: Integrating Weather Forecasts and Adaptation Measures. **Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology**, v. 3, n. 2, p. 59-65, 2024.

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.

BRANCACCIO, G.; KALOUPTSIDI, M.; PAPAGEORGIOU, T.. **Investment in Infrastructure and Trade: The Case of Ports**. National Bureau of Economic Research, 2024.

BLOCK, S., EMERSON, J. W., ESTY, D. C., de SHERBININ, A., WENDLING, Z. A., et al. Environmental Performance Index. New Haven, CT: **Yale Center for Environmental Law & Policy**. epi.yale.edu, 2024

BOLLEN, K A. A new incremental fit index for general structural equation models. **Sociological methods & research**, v. 17, n. 3, p. 303-316, 1989.

BYRNE, B. M. Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming (2nd ed.). **Routledge**, 2013

BOMAN, B. Climate Change and Economic Development as Both Destruction and Resilience. In: **Parallelization: A Theory of Cultural, Economic and Political Complexity**. Cham: Springer Nature Switzerland. p. 13-22, 2023.

CARDOSO, E. The impact of climate change on developing economies: a comparative analysis of vulnerability indices. **Working Paper CEsA/CSG – Documentos de Trabalho n° 200/2024**

CARMINES, E. G., & MCIVER, J. P. Analyzing models with unobserved variables: Analysis of covariance structures. In G. W. Bohrnstedt & E. F. Borgatta (Eds.), *Social measurement: Current issues* (pp. 65-115). **Sage Publications**, 1981.

CERF, M.E. The social-education-economy-health nexus, development and sustainability: perspectives from low-and middle-income and African countries.

Discover **Sustainability**, v. 4, n. 1, p. 37, 2023.

CHANDA, C. T., et al. Good governance: A pillar to national development. **International Journal of Research Publication and Reviews**, 5(6), 6215-6223, 2024.

CHATURVEDI, S. et al. The Economics of Sustainable Development: Challenges and Solutions. **Educational Administration: Theory and Practice**, v. 30, n. 5, p. 9061-9067, 2024.

CHIEN, F., CHAU, K. Y., & HUANG, X. C. The perceived relationship between sustainable energy technologies, eco-innovation, economic growth and social sustainability: Evidence from China. **Technological and Economic Development of Economy**, 30(1), 175–195, 2024.

CIALANI, C., CHALA, A., MORTAZAVI, R. Does Governance Explain Growth? An Empirical Analysis on African Countries. In: **Good Governance and Economic Growth**. Routledge India, p. 124-140, 2024.

CLEMENTS, B., et al. The climate debt of emerging economies: Financing sustainable growth. **Journal of Environmental Economics**, 52, 85-102, 2023.

CREUTZIG, F. et al. Designing a virtuous cycle: Quality of governance, effective climate change mitigation, and just outcomes support each other. **Global Environmental Change**, v. 82, p. 102726, 2023.

CROFT, F., et al. Rethinking blue economy governance – A blue economy equity model as an approach to operationalise equity. **Environmental Science & Policy**, 155, 103710, 2024.

DAS, P.; GIRI, M. The Effect of Good Governance Indicators on Economic Growth throughout Selected Asian Countries. In: **Good Governance and Economic Growth**. Routledge India. p. 107-123, 2024.

DOYLE, E.; PEREZ ALANIZ, M. Dichotomous impacts on social and environmental sustainability: Competitiveness and development levels matter. **Competitiveness Review: An International Business Journal**, v. 31, n. 4, p. 771-791, 2021.

DRĂCEA, R. M., et al. Socio-economic modelers of environmental performance: Empirical evidence from the European Union. In **Proceedings of the International Conference on Business Excellence**, 2733–2750, 2024.

FULLER, A. Vulnerability to Climate Change's Impact on GDP Per Capita. **The Park Place Economist**, 28(1), 7, 2021.

GARBUZOVA, T., Э.Ф., ФАИЗОВА., А.И., КОРОВКИНА., Ирина, ЕФРЕМОВА., М.Б., Р. Economics and climate change: adaptation and mitigation strategies for economic development. **Modern Economy Success**, 225-230. doi: 10.58224/2500-3747-2024-4-225-230, 2024.

GATAWA, G. The effect of social factors on economic growth. **Advance**. March

25. 10.31124/advance. 19397081.v1, 2022.

GONG, X. et al. Exploring an interdisciplinary approach to sustainable economic development in resource-rich regions: An investigation of resource productivity, technological innovation, and ecosystem resilience. **Resources Policy**, v. 87, p. 104294, 2023.

GU, J. Official turnovers and economic growth: Evidence from China. **Journal of Chinese Economic Studies**. 10.21203/rs.3.rs-4560491/v1, 2024

HADI, A. S. A new measure of overall potential influence in linear regression. *Computational Statistics & Data Analysis*, 14(1), 1-27, 1992.

HADI, A. S. Identifying multiple outliers in multivariate data. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 54(3), 761-771, 1992.

HALKOS, G., et al. The Environmental Kuznets Curve: A literature review and a proposal for an integrated model. **Journal of Environmental Management**, 267, 110605, 2020.

HIEU, V. M.; HAI, N. T. The role of environmental, social, and governance responsibilities and economic development on achieving the SDGs: evidence from BRICS countries. **Economic research-Ekonomska istraživanja**, v. 36, n. 1, p. 1338-1360, 2023.

HOOPER, D., Coughlan, J., & Mullen, M. R. Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit. **Electronic Journal of Business Research Methods**, 6(1), 53-60, 2008.

HU, L. T., & BENTLER, P. M. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. **Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal**, 6(1), 1-55 1999.

HUANG, G. et al. The coupling coordination of social and economic upgrading in China: Evolution, regional disparities and influencing factors. **Journal of Geographical Sciences**, v. 34, n. 5, p. 835-854, 2024.

KARAHAN, M., YILDIRIM, Z., & YILDIRIM, T. Comparative analysis of Turkey's environmental performance with Eastern European countries according to international EPI 2022 data. **Green Technologies and Sustainability**, 3(1), 100116, 2025.

KARTAL, M. T., DEPREN, Ö., & DEPREN, S. K. A comprehensive analysis of key factors' impact on environmental performance: Evidence from Globe by novel super learner algorithm. **Journal of Environmental Management**, 359, 121040, 2024.

KOFF, H. Poverty and sustainable development governance: making enchiladas from policy coherence for development. In: *Handbook on the Governance of Sustainable Development*. **Edward Elgar Publishing**, p. 79-94, 2022.

KOIVUSALO, M. et al. Disruptive (dis) engagement: platformisation as a global

social policy. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2024.

KOMILOV, A. T. Assessment Of Economic Impacts Of Climate Change In Uzbekistan. **Экономика и социум**, n. 7 (122), p. 123-131, 2024.

KUO, N.T.; LEE, C.F. Public governance and the demand for corporate governance: The role of political institutions. **Research in International Business and Finance**, v. 67, p. 102088, 2024.

LI, X.; TONG, X. Fostering green growth in Asian developing economies: The role of good governance in mitigating the resource curse. **Resources Policy**, v. 90, p. 104724, 2024.

LIAN, Y., FAN, J., & LU, C. A study on the spatio-temporal evolution characteristics of social development levels in China. **Land**, 13(5), 565, 2024.

LIASHENKO, O., et al. Effectiveness of governance vs social development: A multivariate approach to countries' classification. **Administration & Public Management Review**, 175(1), 2024.

LÎSENCO, V. Sustainable economy and effective environmental governance: Key principles and global best practices. **Revista Moldovenească de Drept Internațional și Relații Internaționale**, 19(2), 52-64, 2024.

LIVINGSTON, V.; JACKSON-NEVELS, B.; REDDY, V. V. Social, Cultural, and Economic Determinants of well-being. **Encyclopedia**, v. 2, n. 3, p. 1183-1199, 2022.

LV, Z., ZHENG, K., & TAN, J. Revisiting the relationship between natural resources and environmental quality—Can ICT break the “resource curse” in the environment? **Journal of Environmental Management**, 357, 120755, 2024.

MA, Y., et al. Perceived social fairness and trust in government serially mediate the effect of governance quality on subjective well-being. **Scientific Reports**, 14(1), 15905, 2024.

MACHADO, R.H.; CAVALHEIRO, E.A; CORRÊA, E.K.; KONTZ, L.B. Integrating Economic Development, Innovation, and Environmental Performance for Sustainable Futures: Insights from a Global Study. **International journal of economics and finance**, doi: 10.5539/ijef.v16n8p16, 2024.

MAITI, S. et al. Does Good Governance Affect Economic Growth? Evidence from Some Selected Developed Countries. In: **Good Governance and Economic Growth**. Routledge India, p. 211-226, 2024.

MENG, Q., & GRAY, M. A political economy analysis of social work's development in China: A social development perspective. **Social Development Issues**, 46(2), 2024.

MENG, S. Environmental governance is critical for mitigating human displacement due to weather-related disasters. **Communications Earth &**

Environment, v. 5, n. 1, p. 363, 2024.

MUMTAZ, H., & THEOPHILOPOULOU, A. (2024). The distributional effects of climate change. An empirical analysis. *European Economic Review*, 169, 104828.

MUÑOZ, A. (2024). From Bureaucracy to Smartocracy: AI in Modern Governance. 10.13140/RG.2.2.19380.46726, 2024.

NAGY, G. J., Filho, W. L., AZEITEIRO, U. M., HEIMFARTH, J., VEROCAI, J. E., & Li, C. An assessment of the relationships between extreme weather events, vulnerability, and the impacts on human wellbeing in Latin America. **International journal of environmental research and public health**, 15(9), 1802, 2018.

ND-GAIN Country Index. Notre Dame Global Adaptation Initiative. Retrieved from <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/download-data/>

NURIDDINOVNA, M. N.; ABDIKHOLILOVICH, A. J. Development of Human Potential as The Main Factor of Socio-Economic Development. **European journal of business startups and open society**, v. 4, n. 1, p. 99-102, 2024.

OKORO, F. C.; KNIGHT, J. The Determinants for Climate Change Adaptive Capacity and Resilience of Rural Communities in Nigeria. **Journal of Geography, Environment and Earth Science International**, v. 28, n. 8, p. 1-19, 2024.

PRASAD, J. B.; PEZHAN, A.; PATIL, S. H. Effect of wealth, social inequality, Mother's BMI, and education level on child malnutrition in India. **Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews**, v. 15, n. 6, p. 102304, 2021.

RAHMAN, A. The Economic Impacts of Climate Change Adaptation Policies in Coastal Regions: A Case Study of Bangladesh. **Shanlax International Journal of Economics**, vol. 12, no. 3, pp. 8–12, 2024

RAHMAN, M. M., & SULTANA, N. Nexus of human development and environmental quality in low-income and developing countries: Do renewable energy and good governance matter? **Sustainability**, 16(13), 5382, 2024.

SAEED, S., MAKHDUM, M. S. A., ANWAR, S., & YASEEN, M. R. Climate Change Vulnerability, Adaptation, and Feedback Hypothesis: A Comparison of Lower-Middle, Upper-Middle, and High-Income Countries. **Sustainability**, 15(5), 4145- , 2023

SALEEM, A. et al. Securing a sustainable future: the climate change threat to agriculture, food security, and sustainable development goals. **Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences**, p. 1-17, 2024.

SALIM, S. S. M. et al. **Empowering Economic Well-being and Social through Community Enhancement Project**, 2023.

SAMUEL, U. et al. Economic Growth and Environmental Sustainability: Empirical

Evidence from Selected African Countries. **Path of Science**, v. 10, n. 3, p. 7001-7013, 2024.

SAPANANG, B.A. et al. The Role of Good Governance for Economic Growth in ASEAN. **Asian Journal of Management Analytics**, v. 3, n. 3, p. 731-744, 2024.

SARKODIE, S. A.; AHMED, M. Y.; OWUSU, P. A. Global adaptation readiness and income mitigate sectoral climate change vulnerabilities. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 9, n. 1, 2022.

SCHWAB, K. The global competitiveness report. **World Economic Forum.**, 2018

SHEN, J. et al. Technological advancement and regulatory quality. **African Development Review**, v. 35, n. 4, p. 336-350, 2023.

SILVA, N., et al. What are the causal conditions that lead to high or low environmental performance? A worldwide assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, 104, 107342, 2024.

SIRÉN, S. When growth is not enough: Do government transfers moderate the effect of economic growth on absolute and relative child poverty? **Global Social Policy**, 24(1), 46-78, 2024.

STEIGER, J. H. Understanding the limitations of global fit assessment in structural equation modeling. **Personality and Individual Differences**, 42(5), 893-898, 2007.

STOLBOV, M., & SHCHEPELEVA, M. Environmental performance, financial development, systemic risk and economic uncertainty: What are the linkages? **Environmental and Sustainability Indicators**, 22, 100389, 2024.

SUNGKAWANINGRUM, F. The Tutorial Environmental Integration in Development Strategy and Economic Growth: A Macroeconomic Perspective. Teumulong: **Journal of Community Service**, v. 2, n. 3, p. 130-139, 2024.

THIRTABRATA, A. Q.; KENCANA, A. R. W.; DESMAWAN, D. P. Sumber Daya Manusia Dalam Pembangunan. **Populer: Jurnal Penelitian Mahasiswa**, v. 1, n. 3, p. 68-76, 2022.

TOM, T. Social policy, development, and democracy in Africa: Reconnoitering Thandika Mkandawire's philosophy. *Journal of Asian and African Studies*, 00219096241270705, 2024.

TOROMADE, A. S. et al. Reviewing the impact of climate change on global food security: Challenges and solutions. **International Journal of Applied Research in Social Sciences**, v. 6, n. 7, p. 1403-1416, 2024.

ULLAH, S. et al. Climate change, governance, and economic growth in Asia: a panel cointegration analysis. **Cogent Economics & Finance**, v. 12, n. 1, p. 2299125, 2024.

University of Notre Dame. (2024).

URIBE, J. Climate Change Adaptation in Low-Income Countries: Barriers and Opportunities. **Environmental Policy and Development Review**, 29(3), 445-467, 2023.

VENKATARAMANI, A. S. et al. Economic opportunity, health behaviours, and health outcomes in the USA: a population-based cross-sectional study. **The Lancet Public Health**, v. 1, n. 1, p. e18-e25, 2016.

VILAS BOAS, P. J. Vulnerability and resilience: A short introduction to the challenges of administrative law and public governance in the age of uncertainty. **Public Governance, Administration and Finances Law Review**, 9(2), 2024.

WALTERS, D.; JAMES, P.; JOHNSTONE, R. Effects of economic drivers on work health and safety in global supply chains: A discussion of the effectiveness of regulatory strategies and their economic contexts. **The Economic and Labour Relations Review**, p. 1-20, 2024.

WANG, Q.-J., et al. Governance, energy utilization and environmental protection: Role of extreme events. **Energy Economics**, 136, 107765, 2024.

WORLD BANK. WEF Global Competitiveness Index - Historical Dataset. World Bank Group. Available at <https://prosperitydata360.worldbank.org/en/dataset/WEF+GCIHH,2024a>.

WORLD BANK. Worldwide governance indicators. World Bank Group. Available at <https://www.worldbank.org/en/publication/worldwide-governance-indicators> , 2024.

WU, Y.; THAM, J. The impact of environmental regulation, Environment, Social and Government Performance, and technological innovation on enterprise resilience under a green recovery. **Heliyon**, v. 9, n. 10, 2023.

ZULFIKAR, R. et al. The Nexus between Social, Environmental, Law, Governance Dimensions and Economic Development for Indonesian's SDGs Achievement. **Ilomata International Journal of Management**, v. 4, n. 3, p. 303-317, 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

Esta dissertação investigou as complexas interações entre vulnerabilidade climática, desigualdade social, inovação tecnológica e desenvolvimento econômico, com o objetivo de fornecer uma análise robusta e integrada dessas variáveis no contexto global. A pesquisa foi estruturada em três artigos científicos que abordaram diferentes dimensões dessa interconexão, utilizando metodologias econométricas e modelos estruturais para analisar dados de uma amostra global de países. Os resultados obtidos destacam tanto a complexidade quanto a relevância dessas relações para o entendimento dos desafios contemporâneos relacionados às mudanças climáticas, ao desenvolvimento econômico e à equidade social.

O primeiro artigo abordou a relação entre desigualdade social, medida pelo índice de Gini, e vulnerabilidade climática, representada pelo índice ND-GAIN e seus subcomponentes. A análise revelou que, embora a relação agregada entre desigualdade e vulnerabilidade não tenha se mostrado estatisticamente significativa, a desagregação do índice ND-GAIN forneceu insights importantes sobre como setores específicos impactam diretamente a desigualdade social.

A segurança hídrica e a segurança alimentar mostraram-se fundamentais para a redução da desigualdade a médio prazo, enquanto fatores como saúde e infraestrutura evidenciaram impactos mais duradouros. Esses achados reforçam a necessidade urgente de políticas públicas focadas em setores-chave, como gestão de água, segurança alimentar e fortalecimento das infraestruturas, especialmente em países com alta vulnerabilidade climática. Tais políticas são essenciais para melhorar a capacidade adaptativa das populações mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas.

No segundo artigo, explorou-se a dinâmica entre inovação tecnológica, PIB per capita e vulnerabilidade climática, destacando a relação não linear entre desenvolvimento econômico, capacidade inovativa de cada país e sua capacidade de adaptação aos impactos climáticos.

Esse padrão destaca a importância dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) para que as economias em desenvolvimento possam não apenas mitigar os impactos climáticos, mas também fortalecer a inovação

tecnológica, elemento essencial para a adaptação às mudanças climáticas. Os resultados indicam que os países que investem mais em inovação tendem a se tornar mais resilientes às adversidades climáticas, uma vez que são capazes de implementar soluções tecnológicas que melhoram a adaptação e reduzem os riscos associados às mudanças climáticas.

O terceiro artigo propôs um modelo estrutural explicativo baseado no tripé da sustentabilidade — econômica, social e ambiental — com ênfase na integração de governança pública, desenvolvimento econômico e adaptação climática. A análise revelou que a governança pública eficiente é um fator chave na promoção de um desenvolvimento inclusivo e na maximização dos benefícios da inovação tecnológica.

A pesquisa demonstrou que políticas públicas bem estruturadas, que integrem inovação, desenvolvimento econômico e justiça social, são fundamentais para reduzir as desigualdades e promover uma adaptação eficaz às mudanças climáticas.

A governança também foi identificada como um fator essencial para potencializar os efeitos positivos da inovação, especialmente em contextos onde as desigualdades sociais são marcantes e a vulnerabilidade climática é mais pronunciada. Isso reforça a ideia de que políticas públicas que promovem uma governança transparente, inclusiva e orientada para a sustentabilidade podem desempenhar um papel crucial na criação de um ambiente favorável para a inovação e para a adaptação climática.

Em conjunto, os resultados dos três artigos oferecem uma contribuição para a compreensão das relações complexas entre vulnerabilidade climática, desigualdade social, inovação tecnológica e desenvolvimento econômico e governança pública. A dissertação corrobora a ideia de que estratégias adaptativas eficazes devem ser contextuais, considerando as especificidades de cada país ou região. A pesquisa também reforça a necessidade de integrar inovação tecnológica com políticas públicas inclusivas e sustentáveis, a fim de criar soluções que promovam a resiliência climática sem exacerbar as desigualdades sociais.

Uma das principais implicações dos resultados é a recomendação da criação de políticas públicas focadas na integração de inovação tecnológica e desenvolvimento econômico, com ênfase na redução das desigualdades sociais.

Para países em desenvolvimento, o crescimento econômico deve ser acompanhado de uma aposta firme em inovação, especialmente em áreas como energia limpa, gestão de recursos naturais e tecnologias agrícolas sustentáveis. Além disso, é crucial que esses países não ignorem os desafios sociais e ambientais ao perseguirem um modelo de crescimento econômico, já que um desenvolvimento econômico sem inclusão social e sustentabilidade ambiental pode, na verdade, aumentar a vulnerabilidade às mudanças climáticas.

No entanto, a pesquisa apresenta algumas limitações que merecem ser destacadas. A principal delas é a dependência de dados secundários de fontes internacionais, como o Banco Mundial e a Universidade de Notre Dame, o que pode implicar limitações na disponibilidade e precisão das informações, especialmente em países com menores capacidades de coleta e reporte de dados. Além disso, o foco em uma amostra de países e no período de 2012 a 2021 restringe a abrangência dos resultados, limitando a análise de tendências de longo prazo ou mudanças emergentes nos próximos anos. Futuras pesquisas poderiam explorar mais profundamente o impacto de políticas públicas específicas e fatores políticos, culturais e institucionais que afetam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, ampliando o escopo temporal e geográfico da análise.

Por fim, os resultados desta dissertação oferecem uma base para a formulação de políticas públicas mais eficazes, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 10, 11 e 13. A pesquisa destaca a importância de um desenvolvimento sustentável que integre a adaptação climática, a redução das desigualdades sociais e a promoção da inovação tecnológica. Ao considerar essas interconexões, é possível criar um modelo adaptativo global que contribua para a construção de um futuro mais resiliente, justo e sustentável para todos.

REFERÊNCIAS GERAIS

ABBASS, K. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 28, p. 42539-42559, 2022.

ABIDI, S. A.; JAMIL, M. Examining Progress on Sustainable Development Goals Across Regions through an Intertemporal Lens. **Journal of policy research**, 2023.

AFZAL, A. et al. Climate change and the European banking sector: the effect of green technology adaptation and human capital. **Review of Accounting and Finance**, v. 23, n. 3, p. 394-418, 2024.

AKÇA, S.; AFŞAR, B. The relationship between economic growth and innovation: panel data analysis on chosen OECD countries. In: Research Anthology on Macroeconomics and the Achievement of Global Stability. **IGI Global**, p. 1740-1764, 2023.

AL ATAWNEH, D.; CARTWRIGHT, N.; BERTONE, E. Climate change and its impact on the projected values of groundwater recharge: A review. **Journal of Hydrology**, v. 601, p. 126602, 2021.

ALAO, R. et al. Economic inequality in malnutrition: a global systematic review and meta-analysis. **BMJ Global Health**, v. 6, n. 12, p. e006906, 2021.

ALCAYNA, T.; O'DONNELL, D.; CHANDARIA, S. How much bilateral and multilateral climate adaptation finance is targeting the health sector? A scoping review of official development assistance data between 2009–2019. **PLOS Global Public Health**, v. 3, n. 6, p. e0001493, 2023.

ALEKSANDROV, A. Innovation, Technical Progress and Economic Development. Strategies of Educational and Scientific. **Policy**, v. 32, n. 1s, p. 26-37, 2024.

ALIMIYA, S. S. Impact of National Income on Government Development And Non-Development Expenditure in India. **8160 Research Paper Economics**. V.1, p 5, 2012.

BARBIERI, M. et al. Climate change and its effect on groundwater quality.

Environmental Geochemistry and Health, v. 45, n. 4, p. 1133-1144, 2023.

BAUMGART, N. **Climate change impact, individual countries' vulnerability, and the preparedness of the health systems: how is the world adapting?** Tese de Doutorado. 2022.

BHANDARI, M. P. What is next for the sustainable development goals, what are the challenges concerning SDG 10—reduced inequalities? **Sustainable Earth Reviews**, v. 7, n. 1, p. 23, 2024.

BOBEK, V.; WEITGASSER, L.; HORVAT, T. The innovation–Financial development–Economic growth nexus in Latin America. **Acta Oeconomica**, v. 74, n. 2, p. 169-185, 2024.

CAMPBELL-LENDRUM, D. et al. Climate change and health: three grand challenges. **Nature medicine**, v. 29, n. 7, p. 1631-1638, 2023.

CAPPELLI, F. Investigating the origins of differentiated vulnerabilities to climate change through the lenses of the Capability Approach. **Economia Politica**, v. 40, n. 3, p. 1051-1074, 2023.

CASTRO, B.; SEN, R. Everyday adaptation: theorizing climate change adaptation in daily life. **Global Environmental Change**, v. 75, p. 102555, 2022.

CHESTER, M. V.; UNDERWOOD, B. S.; SAMARAS, C. Keeping infrastructure reliable under climate uncertainty. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 6, p. 488-490, 2020.

DA SILVA, D.; LOPES, E. L.; JUNIOR, S. S. B. Pesquisa quantitativa: elementos, paradigmas e definições. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 5, n. 1, p. 01-18, 2014.

DAGNET, Y. Justice and Vulnerable Populations. In: Elgar Encyclopedia of Climate Policy. **Edward Elgar Publishing**. p. 106-111. 2024.

DENISSEN, J. MC et al. Widespread shift from ecosystem energy to water limitation with climate change. **Nature Climate Change**, v. 12, n. 7, p. 677-684, 2022.

ESPERON-RODRIGUEZ, M. et al. Climate change increases global risk to urban forests. **Nature Climate Change**, v. 12, n. 10, p. 950-955, 2022.

FILHO, W. L. et al. O papel central da ação climática na consecução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. **Scientific reports**, v. 13, n. 1, p. 20582, 2023.

FOX, M. et al. Integrating public health into climate change policy and planning: state of practice update. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 18, p. 3232, 2019.

GIGLIO, S. et al. The Economics of Biodiversity Loss. **National Bureau of Economic Research**, 2024.

GOMEZ-ZAVAGLIA, A.; MEJUTO, J. C.; SIMAL-GANDARA, J. Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. **Food Research International**, v. 134, p. 109256, 2020.

GOUREVITCH, J. D. et al. Inequities in the distribution of flood risk under floodplain restoration and climate change scenarios. **People and Nature**, v. 4, n. 2, p. 415-427, 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.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Disponível em << <https://www.ipcc.ch/>>>. Acesso em 29/09/2022.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 13 Ação Contra a Mudança Global do Clima. 2019. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods13.html>>. Acesso em: 04 ago de 2024.

JAKHAR, R. et al. A Comprehensive Study of Climate Change and their Corresponding Impacts on Environment and Lives. **International Journal**, v. 10, n. 4, 2022.

JARAMILLO, A.; MENDOZA-PONCE, A. Climate change overview. In: The Impact of Climate Change on Fungal Diseases. Cham: **Springer International Publishing**, p. 1-18. 2022.

JAVADINEJAD, S.; DARA, R.; JAFARY, F. Climate change scenarios and effects on snow-melt runoff. **Civil Engineering Journal**, v. 6, n. 9, p. 1715-1725, 2020.

KNIFTON, L.; INGLIS, G. Poverty and mental health: policy, practice and research implications. **BJ Psych Bulletin**, v. 44, n. 5, p. 193-196, 2020.

KÜFEOĞLU, S. SDG-13: Climate Action. In: Emerging Technologies: Value Creation for Sustainable Development. **Cham: Springer International Publishing**, p. 429-451, 2022.

KUMAR, D.; SHANDILYA, A. K.; VARGHESE, S. G. Mapping Sustainable Cities and Communities (SDG 11) Research: A Bibliometric Review. **Engineering Proceedings**, v. 59, n. 1, p. 125, 2023.

KUMAR, P.; SHARMA, L.; SHARMA, N. C. Sustainable Development Balancing Economic Viability, Environmental Protection, and Social Equity. In: Sustainable Partnership and Investment Strategies for Startups and SMEs. **IGI Global**, p. 212-234, 2024.

KUTOVYI, O. The Interrelation of Innovation Management and Investment in the Development of Public Policy. **State Building**, v. 2, n. 34, pp. 42-53, 2023.

LAW, C. -; LAW, S. H. The non-linear impacts of innovation on unemployment: Evidence from panel data. **International Journal of Finance & Economics**, v. 29, n. 1, p. 402-424, 2024.

LAW, S. H.; LEE, W. C.; SINGH, N. Revisiting the finance-innovation nexus: Evidence from a non-linear approach. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 3, n. 3, p. 143-153, 2018.

LAWRENCE, J.; BLACKETT, P.; CRADOCK-HENRY, N A. Cascading climate change impacts and implications. **Climate Risk Management**, v. 29, p. 100234, 2020.

LEWIS, P. G. T. et al. Characterizing vulnerabilities to climate change across the United States. **Environment international**, v. 172, p. 107772, 2023.

LI, B. et al. Mobility behaviors shift disparity in flood exposure in US population groups. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 108, p. 104545, 2024.

LI, Z. et al. Impacts of projected climate change on runoff in upper reach of Heihe River basin using climate elasticity method and GCMs. **Science of the total Environment**, v. 716, p. 137072, 2020.

MA, S. et al. Threshold effect of ecosystem services in response to climate change and vegetation coverage change in the Qinghai-Tibet Plateau ecological shelter. **Journal of Cleaner Production**, v. 318, p. 128592, 2021.

MCMICHAEL, C. et al. A review of estimating population exposure to sea-level rise and the relevance for migration. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 12, p. 123005, 2020.

MOHAMED, M. M. A.; LIU, P.; NIE, G. Causality between technological innovation and economic growth: Evidence from the economies of developing countries. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3586, 2022.

MOLOTOKS, A.; SMITH, P.; DAWSON, T. P. Impacts of land use, population, and climate change on global food security. **Food and Energy Security**, v. 10, n. 1, p. e261, 2021.

NABIYEVA, G. N. et al. Implementation of sustainable development goal 11 (sustainable cities and communities): initial good practices data. **Sustainability**, v. 15, n. 20, p. 14810, 2023.

ONU Brasil. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Redução das desigualdades. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/10>. Acesso em: 12 ago. 2024.

OWEN, G. **What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature**. *Global Environmental Change*, v. 62, p. 102071, 2020.

PALINKAS, L. A.; WONG, M. **Global climate change and mental health**. *Current opinion in psychology*, v. 32, p. 12-16, 2020.

PANDA, U. K.; SAHOO, S. S.; PARIJA, P. P. Climate Change: A Social Determinant of Mental Health. **Indian Journal of Social Psychiatry**, 2023.

PRAKASH, S. Impact of Climate change on Aquatic Ecosystem and its Biodiversity: An overview. **International Journal of Biological Innovations**, v. 3, n. 2, 2021.

PRASAD, J. B.; PEZHAN, A.; PATIL, S. H. Effect of wealth, social inequality, Mother's BMI, and education level on child malnutrition in India. **Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews**, v. 15, n. 6, p. 102304, 2021.

RADOINE, H. et al. Measuring, Mapping and Simulating a Composite Territorial Vulnerability Index: Using an R Script To Support Decision-Making For Cities. Available at SSRN 4724320.

RASSIER, D. G. **The role of profits and income in the statistical discrepancy.** Survey of Current Business, v. 92, n. 2, p. 8-22, 2012.

REETHIGA, L.; GEETHA, R. V.; LAKSHMI, T. Climatic Changes and Its Effects on Human Health-A Review. **The journal of contemporary issues in business and government**, v. 26, n. 2, p. 1427-1433, 2020.

ROOSEVELT, M.; RAILE, E. D.; ANDERSON, J. R. Resilience in food systems: concepts and measurement options in an expanding research agenda. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 444, 2023.

RUHANA, F. et al. Innovative Strategies for Achieving Sustainable Development Goals Amidst Escalating Global Environmental and Social Challenges. **The International Journal of Science in Society**, v. 6, n. 1, p. 662-677, 2024.

SALIMI, M.; AL-GHAMDI, S. G. Climate change impacts on critical urban infrastructure and urban resiliency strategies for the Middle East. **Sustainable Cities and Society**, v. 54, p. 101948, 2020.

SAY, A.; AFFES, H. Study of the Relationship Between Innovation and Economic Growth: Case of Invention Patents in Tunisia. In: Impact of Renewable Energy on Corporate Finance and Economics. **IGI Global**, p. 235-245, 2024.

SHIVANNA, K. R. Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, v. 88, n. 2, p. 160-171, 2022.

SINGH, C. et al. Interrogating 'effectiveness' in climate change adaptation: 11 guiding principles for adaptation research and practice. **Climate and Development**, v. 14, n. 7, p. 650-664, 2022.

TEEBKEN, J. Vulnerability locked in. On the need to engage the outside of the adaptation box. **Global Environmental Change**, v. 85, p. 102807, 2024.

TIBBER, M. S. et al. The association between income inequality and adult mental health at the subnational level—a systematic review. **Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology**, p. 1-24, 2022.

TRENTINAGLIA, M.T.; BALDI, L.; PERI, M. Supporting agriculture in developing countries: new insights on the impact of official development assistance using a climate perspective. **Agricultural and Food Economics**, v. 11, n. 1, p. 39, 2023.

TÜRKEŞ, M. The role of sustainability and sustainable development in climate change mitigation and adaptation. **Development**, v. 2, n. 1, p. 2407, 2024.

VOEYKOVA, O. Methodology of nonlinearity in the research of the phenomenon of the innovation space of higher school expansion. **Economics of Science**, v. 9, n. 2, 2023.

VYAS, S. et al. Perspective: The gap between intent and climate action in agriculture. **Global Food Security**, v. 32, p. 100612, 2022.

WALZ, Y. et al. Disaster-related losses of ecosystems and their services. Why and how do losses matter for disaster risk reduction? **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 63, p. 102425, 2021.

WILLIAMS, J. J.; NEWBOLD, Tim. Local climatic changes affect biodiversity responses to land use: A review. **Diversity and Distributions**, v. 26, n. 1, p. 76-92, 2020.

YOUNG, S. L. et al. Estimating national, demographic, and socioeconomic disparities in water insecurity experiences in low-income and middle-income countries in 2020–21: a cross-sectional, observational study using nationally representative survey data. **The Lancet Planetary Health**, v. 6, n. 11, p. e880-e891, 2022.

ZENIOS, S. A. **The risks from climate change to sovereign debt**. *Climatic Change*, v. 172, n. 3, p. 30, 2022.

ZOU, X. et al. Does income inequality affect green innovation? Non-linear evidence. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 30, n. 3, p. 578–602-578–602, 2024.