

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

KAIO VINICIUS VIEIRA ALVES

**CRESCIMENTO ECONÔMICO, EMISSÕES DE CO₂ E COMPLEXIDADE
ECONÔMICA**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2024**

KAIO VINICIUS VIEIRA ALVES

**CRESCIMENTO ECONÔMICO, EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E
COMPLEXIDADE ECONÔMICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Luciano Dias de Carvalho

Coorientador: Jeruza Haber Alves dos Santos

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A474c
2024

Alves, Kaio Vinícius Vieira, 1999-
Crescimento econômico, emissões de CO2 e complexidade
econômica / Kaio Vinícius Vieira Alves. – Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (36 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Luciano Dias de Carvalho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Economia, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.691>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Economia keynesiana. 2. Desenvolvimento econômico.
3. Sustentabilidade e meio ambiente. I. Carvalho, Luciano Dias
de, 1976-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia.
III. Título.

CDD 22. ed. 330.156


KAIO VINICIUS VIEIRA ALVES

**CRESCIMENTO ECONÔMICO, EMISSÕES DE CO₂ E COMPLEXIDADE
ECONÔMICA**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de Março de 2024

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **KAIO VINICIUS VIEIRA ALVES**
Data: 10/10/2024 14:34:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Kaio Vinicius Vieira Alves
Autor

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANO DIAS DE CARVALHO**
Data: 10/10/2024 14:47:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luciano Dias de Carvalho
Orientador

*A meus pais e irmão que sempre me apoiaram e fizeram o impossível para que eu pudesse ter
acesso à educação...
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Carmen e Osmair, e ao meu irmão, Kaique, por todo o apoio que me deram ao longo dos últimos sete anos. Agradeço aos professores do programa de pós-graduação, em especial Jeruza, Luciano e Elaine, pessoas e profissionais nos quais me espelho todos os dias para me tornar o melhor professor que eu puder ser. Por último, mas não menos importante, agradeço aos amigos que caminharam junto comigo durante essa jornada, em especial Karol, que continuará caminhando ao meu lado no que vier a seguir.

RESUMO

ALVES, Kaio Vinicius Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2024. **Crescimento econômico, emissões de CO₂ e complexidade econômica.** Orientadora: Jeruza Haber Alves dos Santos. Coorientador: Luciano Dias de Carvalho.

Os desafios da coordenação entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental estão cada vez mais iminentes. O presente trabalho propõe o estudo do *trade-off* entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental sob um arcabouço teórico baseado na macroeconomia pós-keynesiana e na visão ecológica do Novo-Desenvolvimentismo, ao elencar os principais determinantes das emissões de gases de efeito estufa medidos em CO₂ equivalente, destacando o papel da complexidade econômica. Para cumprir tal objetivo, uma análise descritiva da evolução do Índice de Complexidade Econômica (ECI) e do recente Índice de Complexidade Verde (GCI) e a estimação de um painel dinâmico *System GMM* foram feitas. Os resultados indicam a importância de variáveis que retratam a estrutura produtiva do país para o crescimento de emissões de CO₂ e evidenciam a relação negativa entre emissões de gases de efeito estufa e entre os índices ECI e GCI. Além disso, verificou-se maior coeficiente negativo para o GCI, indicando que ao ponderar a complexidade pela capacidade de produção de produtos ambientalmente benéficos, a relação inversa entre emissões e complexidade se fortalece.

Palavras-chave: Crescimento econômico, Mudança climática, Emissões de CO₂, Macroeconomia ecológica, Complexidade econômica, Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

ALVES, Kaio Vinicius Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2024. **Economic growth, CO₂ emissions and economic complexity**. Adviser: Jeruza Haber Alves dos Santos. Co-adviser: Luciano Dias de Carvalho.

The challenges of coordinating economic growth and environmental sustainability are increasingly imminent. This paper proposes the study of the trade-off between economic growth and environmental sustainability under a theoretical framework based on post-Keynesian macroeconomics and the ecological vision of New Developmentalism, by listing the main determinants of greenhouse gas emissions measured in CO₂ equivalent, highlighting the role of economic complexity. To fulfill this objective, a descriptive analysis of the evolution of the Economic Complexity Index (ECI) and the recent Green Complexity Index (GCI) and the estimation of a System GMM dynamic panel were carried out. The results indicate the importance of variables that portray the country's productive structure for the growth of CO₂ emissions and highlight the negative relationship between greenhouse gas emissions and between the ECI and GCI indices. In addition, a greater negative coefficient was found for the GCI, indicating that when complexity is weighted by the capacity to produce environmentally beneficial products, the inverse relationship between emissions and complexity is strengthened.

Keywords: Economic growth, Climate change, CO₂ emissions, Ecological macroeconomics, Economic complexity, Sustainable development.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO (ASPECTOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS).....	13
2.1 - Macroeconomia ecológica PK.....	13
2.2 Complexidade e desenvolvimento verde.....	18
3 METODOLOGIA.....	20
3.1 Dados.....	20
4 RESULTADOS.....	23
4.1 Índice de Complexidade Econômica e Índice de Complexidade Verde.....	23
4.2 Resultados econométricos.....	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação propõe o estudo do *trade-off* entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental, ao elencar os principais determinantes das emissões de gases de efeito estufa medidos em CO₂ equivalente¹, destacando o papel da complexidade econômica. Tal temática vem se tornando uma importante linha de pesquisa no campo da macroeconomia do desenvolvimento bastante abordada na literatura (ADGER *ET AL.*, 2003; ZHU *ET AL.*, 2018; ALTHOUSE, GUARINI E PORCILE, 2020; GUARINI E OREIRO, 2022; GALINDO, GUARINI E PORCILE, 2020). Esta discussão vem ganhando relevância dada a necessidade de crescimento das economias dos países em um contexto no qual se verifica uma escassez cada vez maior de recursos naturais.

A emergência climática é um desafio global. Fenômenos climáticos afetam o meio ambiente e já se manifestam notadamente por meio dos sucessivos recordes de temperaturas registrados no planeta. A temperatura média da superfície global no ano de 2022 foi a quinta maior desde o início das medições, que começaram em 1880. Nos últimos 13 anos foram verificadas as 10 maiores médias de temperaturas global (NOAA, 2023). Estimativas de impacto no bem estar econômico total indicam que, em média, um aumento da temperatura da superfície global de 2.5°C, ocasionaria uma perda equivalente a 1.3% da renda global (TOL, 2018). A tendência de crescimento das emissões de monóxido de carbono (CO₂), tem sido associada ao uso de recursos energéticos e ao aumento da atividade econômica. Isso se deve, entre outros aspectos, aos padrões atuais de consumo e produção, responsáveis pela degradação dos recursos naturais em espaços de tempo cada vez mais curtos (IPCC, 2023).

O papel da regulamentação ambiental, é tema de importante discussão que relaciona crescimento econômico e os possíveis resultados de políticas de proteção ambiental sobre os recursos naturais e a economia (COPELAND & TAYLOR, 1994; PORTER & VAN DER LINDE, 1995; JOHNSTONE, HAŠČIČ & KALAMOVA, 2010; DECHEZLEPRETRE & SATO, 2017). Entre as abordagens que buscam analisar os possíveis efeitos das políticas de regulamentação, sobretudo em países desenvolvidos, destacam-se as hipóteses dos paraísos de poluição (PHH - *Pollution Haven Hypothesis*) (COPELAND & TAYLOR, 1994) e a de Porter (PH - *Porter Hypothesis*) (PORTER & VAN DER LINDE, 1995).

Segundo a primeira delas, políticas ambientais rígidas em países desenvolvidos levam

¹ CO₂ equivalente é uma medida que sumariza a emissão de vários gases de efeito estufa baseada nos seus potenciais de aquecimento comparativamente ao dióxido de carbono. Por vezes vamos nos referir à CO₂ equivalente apenas como CO₂.

a transferências de poluição para os países de menor renda relativa, isto é, ao deslocamento de indústrias intensivas em poluição, ou indústrias sujas, para países em desenvolvimento (GILL, VISWANATHAN & KARIM, 2018). Por sua vez, a PH, presente em Porter & van der Linde (1995), argumenta que as políticas ambientais mais severas podem ter um efeito líquido positivo sobre a competitividade das firmas ao promover aumentos de eficiência e diminuição de custos. Além disso, tais políticas fomentam inovações tecnológicas mais limpas e eficientes, benéficas ao meio ambiente (DECHEZLEPRETRE & SATO, 2017).

Alternativamente, dedicados ao desenvolvimento de modelos de crescimento econômico que englobam restrições ambientais, destacam-se os pesquisadores de tradição Pós-Keynesiana (PK). Na estrutura teórica PK o crescimento da economia é determinado pela Demanda Agregada (DA), haja vista que as restrições de demanda tendem a surgir antes das restrições de oferta. Sendo estas últimas, em grande parte, endógenas ao sistema econômico (THIRLWALL, 2003).

No entanto, a partir do pressuposto de que o processo de crescimento pode ser restringido pela escassez dos recursos naturais, ou capital natural, é abordada uma nova corrente de pensamento dentro da tradição PK, a macroeconomia ecológica Pós-Keynesiana (VICTOR & ROSENBLUTH, 2007; VICTOR, 2008; JACKSON, 2009; TAYLOR, REZAI & FOLEY, 2016). Essa abordagem reconhece a interdependência entre aspectos econômicos, sociais e biofísicos. Além disso, integra macroeconomia e meio ambiente, ao postular que o crescimento da DA tende a ser maior do que o crescimento sustentável da depreciação do capital natural, havendo, portanto, um desequilíbrio entre crescimento econômico e uso consciente de recursos naturais (Fontana & Sawyer, 2016). Busca-se, então, o desenvolvimento de modelos que incorporem restrições ao consumo desses recursos naturais.

Uma vertente da teoria PK caracterizada pelas contribuições das teorias clássicas do desenvolvimento, e estruturalista da CEPAL, é a escola novo-desenvolvimentista brasileira (BRESSER-PEREIRA, 2007). Sua maior contribuição para a literatura do crescimento e mudança estrutural é o diagnóstico de que economias como o Brasil sofrem com uma taxa de câmbio cronicamente sobrevalorizada em decorrência, principalmente, da doença holandesa; combinada à estratégia de crescimento com poupança externa (OREIRO, 2022).

Recentemente, têm sido realizados esforços para integrar a visão ecológica ao novo-desenvolvimentismo, com ênfase sobre os conceitos de progresso tecnológico ecológico e mudança estrutural ecológica (ESC – *Ecological Structural Change*). O primeiro conceito pode ser capturado pelo aumento da eficiência ambiental/produzitividade verde; o segundo é oriundo do aumento da participação do setor manufatureiro verde no PIB e tem uma natureza

multidimensional, pois vincula a dinâmica tecnológica relacionada à acumulação de capital, assim como dinâmica social ligada a reorientação verde dos componentes da DA (GUARINI & OREIRO, 2022).

Novo aspecto da visão ecológica ao novo-desenvolvimentismo é incorporar aos modelos ecológicos PK e, por extensão, à visão ecológica do novo-desenvolvimentismo, a complexidade econômica como ferramenta auxiliar ao desenvolvimento econômico sustentável. Postula-se que a sofisticação da produção, medida pela complexidade econômica, é uma condição mandatória para criação e adoção de tecnologias ambientalmente sustentáveis, por meio da ESC (TEIXEIRA, FILHO & OREIRO, 2023). Medidas de complexidade econômica podem ser utilizadas para enriquecer a modelagem macroeconômica e os experimentos empíricos. Mealy e Teytelboym (2022) desenvolveram uma metodologia baseada em indicadores de complexidade econômica capaz de mensurar as capacidades verdes dos países, levando em consideração quais países têm estruturas produtivas que favorecem a transição ecológico-econômica.

Diante do exposto, nota-se que crescimento econômico, macroeconomia, ecologia, transição ecológica e complexidade econômica são conceitos que podem ser interligados, na medida em que tratam da busca por soluções acerca da emergência climática e dos desafios inerentes ao crescimento econômico ambientalmente sustentável.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para a integração entre esses conceitos buscando responder às seguintes questões: Quais fatores estão por trás das emissões de CO₂ de um país? O grau de complexidade econômica se traduz, necessariamente, em impacto significativo sobre o aumento da eficiência verde?

Objetiva-se, portanto, elencar os principais determinantes das emissões de CO₂ dos países, mas, principalmente, verificar se um maior grau de complexidade econômica contribui necessariamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Especificamente, o estudo contribui à medida que considera o papel assumido pela complexidade econômica, incorporando, além do Índice de Complexidade Econômica (ECI), o recente Índice de Complexidade Verde (GCI), desenvolvido por Mealy & Teytelboym (2022), dada a hipótese de que países com capacidades de desenvolvimento de produtos mais complexos, lideram inovações verdes. Pretende-se verificar tais determinantes por meio de uma análise econométrica com modelo de painel dinâmico estimado utilizando a abordagem *System-GMM*.

Além desta introdução, nesta dissertação estão dispostos uma segunda seção com o referencial teórico acerca do tema e revisão bibliográfica, uma terceira seção com a

metodologia e descrição de dados. Resultados e considerações finais estão dispostos na quarta e na quinta seção respectivamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO (ASPECTOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS)

2.1 - Macroeconomia ecológica PK

Segundo Fontana & Sawyer (2016) a corrente teórica PK entende que uma economia moderna é uma economia monetária de produção, isto é, uma economia onde a moeda desempenha papel crucial para a produção de bens e serviços e para a distribuição de renda, o que a torna propensa a enfrentar problemas como insolvência e instabilidade financeira. Ainda segundo os autores, essa corrente incorpora o conceito de incerteza fundamental, não admite a existência de informação perfeita e de otimização sob expectativas racionais, além de reconhecer o path dependence e a interdependência de demanda agregada e oferta agregada na determinação de emprego e produção no longo prazo.

A macroeconomia PK nem sempre considerou questões ecológicas e ambientais, ela esteve originalmente concentrada no debate sobre a ausência de forças automáticas em economias de mercado, no curto e no longo prazo, assegurando que o nível de produto corresponda ao pleno emprego do trabalho; como resultado, limitações do uso de recursos naturais não eram aspectos proeminentes inicialmente (FONTANA & SAWYER, 2016).

Contudo, contribuições para a teoria PK abordaram direta ou indiretamente questões ecológicas e ambientais. Uma dessas abordagens que consideram as limitações de recursos naturais pode ser vista em Davidson (1979), que argumenta que os economistas PK enxergam questões econômicas envolvendo o meio ambiente de maneira diferente dos economistas ortodoxos. A teoria econômica ortodoxa defende que a busca dos empresários por oportunidades de lucro e a existência de competição, concomitantemente à ausência de externalidades, resultariam em uma alocação ótima de recursos e maximização do bem estar social, ou seja, a mão invisível definiria a taxa temporal de exploração do capital natural.

Continuando a discussão, Davidson (1979) reforça que teóricos da macroeconomia PK questionam a capacidade dos preços de mercado de fornecer diretrizes adequadas para a definição de uma taxa de utilização de recursos naturais ótima ao longo do tempo. Segundo o autor, a teoria PK sugere que, em um mundo onde o futuro é incerto, é impossível identificar qual trajetória de alocação futura de recursos naturais irá, de fato, ser socialmente ótima, dado que essa trajetória apenas poderia ser definida para condições futuras conhecidas. Economistas PK sugerem, alternativamente, que o papel do economista é analisar controles

alternativos regulatórios e de mercado para as decisões de produção e consumo de recursos, e indicar as implicações dessas alternativas principalmente para o produto e emprego. Outros estudos abordam questões ambientais na corrente PK antes do desenvolvimento de uma macroeconomia ecológica PK (GOWDY, 1991; VERCELLI, 1998; RONCAGLIA, 2003).

Kronenberg (2010) discute a complementaridade entre a economia ecológica e a economia pós-keynesiana, argumentando que a integração dessas abordagens pode oferecer uma visão mais holística sobre o crescimento econômico em um contexto de limites ambientais. A economia Pós-Keynesiana e a Economia Ecológica são consideradas escolas heterodoxas de pensamento. Contudo, enquanto a economia ecológica destaca os impactos negativos do crescimento contínuo sobre o meio ambiente, a economia pós-keynesiana fornece insights sobre a relação entre crescimento, emprego e distribuição de renda. Segundo o autor, a síntese dessas duas escolas de pensamento pode contribuir para uma melhor formulação de políticas econômicas que considerem não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também questões sociais, como a distribuição de renda e o emprego (KRONENBERG, 2010).

Contribuições em termos de modelagem macroeconômica teórica são relativamente recentes. Althouse, Taylor e Rezai (2013) abordam as limitações dos modelos econômicos tradicionais, especialmente os neoclássicos, para lidar com questões ambientais, como as mudanças climáticas. Nesse contexto, os autores utilizam uma abordagem teórica para desenvolver um modelo que combina aspectos de crescimento econômico Pós-Keynesiano com os limites ecológicos defendidos pela economia ecológica. O artigo destaca o papel da produtividade energética e do trabalho, mostrando que aumentos na produtividade muitas vezes levam a maiores emissões de gases de efeito estufa, sugerindo que soluções tecnológicas sozinhas (como a eficiência energética) podem não ser suficientes devido ao efeito rebote.

Com o intuito de fornecer um elo entre macroeconomia Pós-Keynesiana e Economia Ecológica, Berg, Hartley e Richters (2015) propõem uma síntese entre os modelos Stock-Flow Consistent Pós-Keynesianos e os modelos de Insumo-Produto, que investigam as interdependências setoriais dentro da economia real. O modelo resultante permite estudar simultaneamente (i) os fluxos monetários no sistema financeiro, (ii) os fluxos de bens e serviços no lado real da economia e (iii) os fluxos de materiais físicos no meio ambiente. Como um de seus principais resultados, o modelo mostra, por meio de simulação, que um aumento de eficiência energética de 100% causaria um efeito rebote que consiste no aumento de 34.2% do consumo energético.

Guarini e Porcile (2016) ampliam o modelo de crescimento restrito pelo balanço de pagamentos e os regimes Kaldorianos de produtividade e demanda, integrando elementos da Macroeconomia Ecológica Pós-Keynesiana. No modelo, o regime de demanda é ajustado para incorporar a *Porter Hypothesis*, que propõe que inovações ecológicas impulsionadas por políticas ambientais podem melhorar a competitividade. Com essas modificações, a taxa de crescimento de equilíbrio restrita pelo balanço de pagamentos é elevada, resultando em uma versão alternativa da Lei de Thirlwall, o que permite avaliar o impacto das inovações ambientais na convergência entre países em desenvolvimento e desenvolvidos. O regime de produtividade, por sua vez, explora os efeitos das inovações na produtividade do trabalho e na eficiência ambiental sobre o crescimento e o emprego. Por fim, os autores destacam que a política fiscal e a composição dos gastos públicos são essenciais para o crescimento, o emprego e a sustentabilidade a longo prazo.

Para investigar como uma transição para uma economia de baixo carbono pode impactar a estabilidade macroeconômica e o emprego, Kemp-Benedict e Ghosh (2018) utilizam um modelo Pós-Keynesiano *demand-led* de longo prazo para simular os efeitos de um cenário de *downshifting* no qual as famílias reduzem voluntariamente suas horas de trabalho buscando equilíbrio entre qualidade de vida e sustentabilidade ambiental. O modelo integra progresso tecnológico, decisões de consumo e investimento, além de distribuir a renda entre lucros e salários com base em mudanças de produtividade. Os autores concluem que uma transição para uma economia de baixo carbono pode ser impulsionada por estratégias como o *downshifting*, mas tais mudanças podem vir acompanhadas de riscos, como aumento da inflação e desafios no que tange à produtividade dos trabalhadores.

Saes e Romeiro (2019) abordam a Macroeconomia Ecológica do ponto de vista metodológico. O artigo discute três principais vertentes da macroeconomia ecológica: (i) o modelo IS-LM convencional adaptado a uma escala de produção sustentável, (ii) a visão pós-keynesiana crítica sobre a modelagem econômica, e (iii) as tentativas de construir modelos macroeconômicos ecológicos com base na abordagem pós-keynesiana. Os autores argumentam que considerar limites biofísicos de produção pode não ser suficientemente adequado por si só como abordagem metodológica para a Macroeconomia Ecológica. Alternativamente, uma abordagem que também leva em consideração a complexidade dos ecossistemas, o que envolve o risco de rupturas irreversíveis, parece adequada. Ao avaliar os impactos macroeconômicos desses limites biofísicos, ou ao propor políticas para enfrentá-los, a Macroeconomia Ecológica pode ter que levar em conta um cenário não-ergódico, em consonância com um dos principais pressupostos da escola Pós-Keynesiana (SAES e

ROMEIRO, 2019).

Althouse, Guarini & Porcile (2020) desenvolvem um modelo de crescimento restrito pelo Balanço de Pagamentos (BP) com restrição de CO₂, e dão enfoque ao conceito de Troca Ecologicamente Desigual (EUE - *Ecologically Unequal Exchange*). A EUE afirma que os setores, ou indústrias, intensivos em poluição, estão desigualmente distribuídos na economia global, com impactos substanciais e crescentes nos países menos desenvolvidos.

Similarmente, Galindo, Guarini e Porcile (2020) também desenvolvem um modelo de crescimento restrito pelo Balanço de Pagamentos, com base Kaleckiana. O artigo em questão analisa principalmente as interações entre (i) distribuição de renda, (ii) competitividade internacional e (iii) inovação ambiental, levando em conta o papel das políticas ambientais ativas. O modelo teórico mostra que uma economia com maior eficiência energética pode atingir mais alta participação dos salários na renda agregada e crescimento econômico aprimorado. Adicionalmente, os autores argumentam que, no longo prazo, a combinação de medidas ambientais taxativas e políticas industriais visando o aumento da eficiência energética e da diversificação da produção é crucial para o aumento da participação dos salários na renda e para o crescimento sustentado.

Ainda na linha de modelos PK, mas com uma abordagem distinta, Taylor, Rezai & Foley (2016) examinam problemas macroeconômicos decorrentes do aquecimento global por meio da confecção de um modelo puxado pela demanda envolvendo acumulação de capital e concentração de emissão de CO₂; o modelo combina limites biofísicos e teoria do crescimento PK.

Guarini (2020) propõe um modelo teórico sob os pressupostos da linha PK com foco no impacto macroeconômico da PH. A modelagem origina duas equações, uma função de investimento e uma equação de produtividade verde, que são estimadas econometricamente com estimador de método de momentos generalizados (GMM- *Generalized Method of Moments*), com dados em painel para países europeus no período 1999-2012. As evidências empíricas corroboram a PH, dada a relação positiva entre políticas ambientais e produtividade verde.

Grazini e Guarini (2023) argumentam que a mudança estrutural ecológica pode ser vista como um desenvolvimento ecológico de fatores tecnológicos, sociais e culturais. Eles analisam a mudança estrutural ecológica com base na importância da complexidade econômica e da dureza das políticas ambientais sobre a eficiência ambiental usando um modelo de Mínimos Quadrados Generalizados para um painel de 35 países considerando o

período entre 1990 e 2020. Os resultados indicam que sofisticações tecnológicas e de exportações, e políticas ambientais mais restritivas podem facilitar a mudança estrutural ecológica.

Guarini e Oreiro (2023) abordam a transição ecológica da economia e a mudança estrutural considerando o papel desempenhado pela armadilha da renda média com respeito à sobrevalorização da taxa de câmbio e à reindustrialização, em consonância com o arcabouço novo-desenvolvimentista. Segundo os autores, os desafios ambientais podem ser enfrentados com uma transição ecológica baseada no progresso tecnológico ecológico e na mudança estrutural ecológica. Assim, o trabalho analisa como a mudança estrutural ecológica interage com os fatores que determinam a sobrevalorização da taxa de câmbio com base em um modelo pós-keynesiano que incorpora características novo-desenvolvimentistas e integra (i) o cumprimento de metas ambientais recomendadas tanto por conferências climáticas internacionais quanto pelas Nações Unidas, através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ii) e a mudança estrutural necessária para que os países em desenvolvimento superem a armadilha da renda média.

Grazini, Guarini e Oreiro (2024) postulam que uma transição econômico-ecológica depende de uma Mudança Estrutural Ecológica, que, por sua vez, depende da formulação e implementação de políticas macroeconômicas bem desenhadas. Ainda segundo os autores, incorporar características ecológicas na modelagem macroeconômica é fundamental, dada a importância da investigação sobre quais as condições necessárias para conciliar sustentabilidade ambiental e crescimento econômico. Nesse contexto, o trabalho desenvolvido pelos pesquisadores busca contribuir à Macroeconomia Ecológica Pós-Keynesiana, à medida que desenvolve uma modelagem macroeconômica que almeja expandir o rol de modelos Pós-Keynesianos de crescimento com restrições ambientais. Mais especificamente, o trabalho propõe uma cruz eco-keynesiana para exemplificar, em uma economia fechada, a abordagem macroeconômica de metas verdes. Afirma-se que, apesar de investimentos verdes públicos e privados terem potencial para aumentar a produção e melhorar a eficiência ambiental, é necessário considerar potenciais efeitos-rebote, que podem aumentar a intensidade líquida de emissões de gases de efeito estufa em decorrência do crescimento econômico.

Buscando abordar teoricamente a transição ecológica, Grazini, Guarini e Oreiro (2024b) desenvolvem um modelo que concilia o Dilema de Harrod-Domar e a Lei de Thirlwall sob a perspectiva do Novo-Desenvolvimentismo Verde. O principal objetivo do artigo é investigar o lado ambiental da armadilha da renda média, introduzindo uma taxa de crescimento ecologicamente sustentável, a fim de introduzir uma taxa de crescimento com um

aspecto ambiental sendo levado em consideração. Os autores concluem que é possível alinhar o crescimento econômico com a sustentabilidade ecológica por meio de políticas de Mudança Estrutural Ecológica e de financiamento verde, que revertam os processos de desindustrialização prematura e incentivem a reindustrialização verde.

Por fim, Grazini, Guarini e Porcile (2024) apresentam um modelo macroeconômico estruturalista com crescimento restrito pelo Balanço de Pagamentos que discute a dimensão de política econômica da transição ecológica para analisar para analisar a interação entre a gap de tecnologia verde, a competitividade não-preço e o mercado de trabalho. Ademais, o trabalho avalia o impacto das mudanças tecnológicas verdes na competitividade internacional e na estrutura do emprego. O artigo conclui que as mudanças institucionais são essenciais para apoiar a transição ecológica e que essa transição depende de uma coalizão política forte, composta por grupos pró-trabalho e pró-meio ambiente. A adoção de políticas verdes, como inovação tecnológica e maior proteção social, pode reduzir as desigualdades e garantir um crescimento econômico sustentável. Contudo, salienta-se que coalizões e barreiras políticas impostas por setores econômicos sujos podem comprometer a transição ecológica. 5-

2.2 Complexidade e desenvolvimento verde

Segundo Hidalgo *et al.* (2007), o processo de industrialização pode criar *spillovers* importantes para o crescimento econômico, que se dá quando países aprimoram os produtos que produzem e exportam. Países de alta renda relativa, possuem capacidades para produzir bens intensivos em tecnologia e experienciaram trajetórias de crescimento acelerado comparativamente a países de baixa renda relativa, majoritariamente fornecedores de bens primários.

A riqueza e o desenvolvimento econômico estão intrinsecamente ligados à complexidade que surge como resultado das interações entre um número crescente de atividades individuais que permeiam uma economia. Aspectos como direitos de propriedade, instituições, capital humano específico, infraestrutura e disponibilidade de recursos naturais influenciam a ampliação de tais atividades individuais responsáveis pelo grau de complexidade (HIDALGO & HAUSMANN, 2009).

Desse modo, à medida que a quantidade de atividades individuais nos processos produtivos cresce, as condições para o crescimento surgem. Países de alta renda têm, normalmente, um maior contingente de bens produzidos, que tendem a apresentar alto grau de proximidade no que tange às habilidades necessárias para produzi-los. Determinados produtos necessitam de configurações muito similares para serem produzidos, e identificar tais produtos é importante para a expansão das interações que culminam em maior complexidade

econômica; essa é a linha de pensamento por trás do conceito de espaço de produtos (*product space*) (HIDALGO et al., 2007).

O espaço de produtos de determinado país ou região reflete suas capacidades de produção, os bens são dispostos em uma representação gráfica, um “espaço”, em que cada produto é retratado como um círculo, sendo tais bens dispostos conforme sua proximidade de produção. Hidalgo *et al.* (2007) definem o quão próximos dois produtos estão em termos de condições necessárias para produzi-los com base nas probabilidades condicionais de exportação de produtos com vantagens comparativas relativas. A partir dessa contribuição seminal, o debate sobre o papel da complexidade toma força.

Trabalhos que buscam relacionar complexidade, crescimento e meio ambiente num framework macroeconômico são relativamente escassos. Lapatinas *et al.* (2019) analisa a relação entre complexidade e performance ambiental para uma amostra de 88 países com dados de 2002 a 2012. Para essa amostra de países, os resultados indicam relação positiva entre complexidade econômica e performance ambiental, isto é, países com maior grau de complexidade apresentaram melhor performance ambiental, ainda que o efeito da complexidade sobre a qualidade do ar tenha sido negativo.

Talebzadehosseini, Scheinert e Garibay (2020) postulam que parte da literatura argumenta que os países aumentam sua cesta de produtos ao adicionar aqueles que requerem capacidades produtivas similares a bens já produzidos por essas economias, processo que denominam de *path-dependency*. Além disso, os autores apontam que países engajados em promover crescimento econômico verde² investem estrategicamente para o desenvolvimento de novas capacidades que serão importantes para a transição rumo à uma economia verde, o que denominam como *high-investment structural jumps*. Com efeito, para determinar quais países expandem suas cestas de produção verde através do *path-dependency* e quais o fazem através dos *high-investment structural jumps*. Para atingir este objetivo são analisados dados de 67 países entre 2007 e 2017, e os resultados indicam que os países não somente aprimoram a cesta de produção verde através do *path-dependency*, mas também através de investimentos objetivando o desenvolvimento de inovações tecnológicas ecológicas.

Romero & Grankow (2021) utilizam dados de 67 países entre 1976 e 2012 para investigar alguns dos possíveis determinantes das emissões de gases de efeito estufa. Os principais resultados foram o de que um maior grau de complexidade econômica esteve associado à redução na intensidade de emissões de gases de efeito estufa, assim como para

² Segundo Talebzadehosseini, Scheinert e Garibay (2020), o crescimento econômico verde se refere a um movimento global que busca atingir expansão econômica mitigando, concomitantemente, os riscos ambientais.

reduzir as emissões *per capita*. O trabalho ainda contribui ao propor um índice de intensidade de emissão de produto, que permite analisar quais bens são mais intensivos em emissões.

O trabalho de Mealy & Teytelboym (2022) contribuiu recentemente para o tema ao construir uma base de dados unificada de produtos verdes internacionalmente comercializados e utilizá-la conjuntamente à métodos de computação de complexidade econômica para investigar quais países possuem mais capacidade de exportar produtos complexos ambientalmente corretos, ou verdes. Entre os vários índices de mensuração de complexidade econômica levando em conta a sustentabilidade ambiental, destaca-se o Índice de Complexidade Verde (*Green Complexity Index* - GCI). O GCI é baseado no Índice de Complexidade de Produtos (*Product Complexity Index* - PCI) e busca capturar a capacidade dos países de exportar competitivamente produtos verdes tecnologicamente complexos. Os autores enfatizam que a principal diferença entre o ECI e o GCI é que o primeiro retrata a média dos PCI de todos os produtos em que um país é competitivo, enquanto o segundo retrata o PCI médio apenas dos produtos verdes em que determinado país é competitivo.

3 METODOLOGIA

Nesta seção, inicialmente são apresentados os dados a serem utilizados no trabalho e em seguida as especificações econométricas do trabalho.

3.1 Dados

Para a estimação do painel dinâmico serão utilizadas, além das emissões de CO₂ *per capita* como variável dependente, o logaritmo da renda *per capita*, o ECI e o GCI, algumas variáveis explicativas adicionais serão incluídas com o objetivo de compreender os determinantes das emissões de poluição atreladas aos processos produtivos de uma economia. O período escolhido compreende os 21 anos entre 1999 e 2020, e a amostra é composta por 43 países³, sendo as delimitações temporal e da amostra definidas com base na disponibilidade de dados. O quadro 1 elenca todas as variáveis incluídas para a estimação do modelo econométrico, bem como suas fontes:

³ Os países que compõem a amostra são: Alemanha, Argentina, Austrália, Austria, Brasil, Canadá, Colômbia, Chile, China, Costa Rica, Coréia do Sul, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Índia, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Latvia, Lituânia, México, Nova Zelândia, Noruega, Peru, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Romênia, Rússia, Suécia, Suíça, Turquia.

Quadro 1- Variáveis incluídas no modelo econométrico

Variável	Descrição	Fonte	Referências	Sinal esperado
CO2	Emissões de gases de efeito estufa em kilotons de CO ₂ equivalente <i>per capita</i>	World Bank - World Development Indicators (WDI)	Lapatinas <i>et al.</i> (2019); Romero & Grankow (2021)	Variável dependente
ECI	Índice de complexidade econômica	The Atlas Of Economic Complexity	Lapatinas <i>et al.</i> (2019); Romero & Grankow (2021)	-
GCI	Índice de complexidade verde	Green Transition Navigator	N/A	-
RER	Taxa de câmbio real efetiva para 178 países	Base de dados Bruegel	N/A	±
FBKF	Participação da formação de capital no PIB	World Bank - World Development Indicators (WDI)	N/A	±
PIBRPC	PIB Real <i>per capita</i> (US\$ constantes de 2015)	World Bank - World Development Indicators (WDI)	Lapatinas <i>et al.</i> (2019); Romero & Grankow (2021)	+
DEN_POP	Densidade populacional	World Bank - World Development Indicators	Lapatinas <i>et al.</i> (2019)	+
IND	Participação do setor manufatureiro no PIB	World Bank - World Development Indicators	Lapatinas <i>et al.</i> (2019); Romero & Grankow (2021)	+
IDE	Influxos líquidos de Investimento direto estrangeiro (% do PIB)	Penn World Table	N/A	+

Fonte: Elaboração própria.

3.2 - Especificações econométricas

Os estimadores para painéis dinâmicos de Arellano e Bond (1991) e de Arellano-Bover/Blundell-Bond (Arellano e Bover, 1995; Blundell e Bond, 1998), são da classe de estimadores de Métodos de Momentos Generalizados (GMM) eficientes e utilizados quando se observa as seguintes características, segundo Roodman (2009): número de unidades maiores que o número de períodos de tempo; variáveis defasadas dinâmicas, variáveis explicativas não estritamente exógenas, podendo haver correlação com seus valores defasados; presença de efeitos fixos individuais; possibilidade de inclusão de instrumentos baseados nas próprias variáveis defasadas, entre outros. Além disso, uma das propriedades

dos estimadores GMM é a consistência, isto é, à medida que o número de observações cresce suficientemente, determinado parâmetro estimado tende ao parâmetro populacional (verdadeiro).

Os estimadores de Arellano e Bond, quando aplicados com GMM, podem ser utilizados em diferenças com duas abordagens. A primeira é a “*difference GMM*”, que utiliza somente as diferenças das variáveis em questão. A segunda, conhecida como “*System GMM*”, é baseada em uma suposição adicional, em que as primeiras diferenças das variáveis instrumentais não estão correlacionadas com os efeitos fixos, o que permite a adição de mais instrumentos, aumentando a eficiência dos estimadores (GABRIEL, 2016).

Para o presente estudo, a abordagem “*System GMM*” é empregada, dada a utilização da variável de emissões de CO₂ *per capita* como variável explicada, e seu valor defasado como variável explicativa, caracterizando o painel como dinâmico; outro ponto que justifica a escolha do painel dinâmico é a possível presença de variáveis explicativas não estritamente exógenas, ou com características endógenas, como pode ser o caso da renda *per capita* (GABRIEL, 2016; SANTOS, 2018).

Metodologicamente, estimadores da classe GMM podem ser estimados usando o procedimento *one-step* ou *two-step*. Considerando uma matriz com resíduos quadráticos possivelmente heterocedásticos. A estimação que gera os resíduos originais é conhecida como *one-step* e a estimação que gera resíduos eficientes e robustos à heterocedasticidade e correlação é conhecida como *two-step*, sendo essa última a abordagem selecionada para o presente trabalho.

A eficácia da metodologia de painel GMM depende da validade dos instrumentos utilizados para controlar a endogeneidade. Sem instrumentos válidos, a eficiência dos estimadores pode diminuir, os erros padrão podem aumentar e o número de coeficientes estatisticamente significativos pode ser menor (SANTOS, 2018). Na pesquisa macroeconômica empírica, é comum encontrar dificuldades para se obter bons regressores exógenos. Portanto, a metodologia selecionada usará os regressores em nível e as primeiras diferenças defasadas como instrumentos.

Dado o objetivo de estimar os determinantes das emissões de CO₂, estima-se a seguinte equação, por meio de um modelo de painel dinâmico:

$$CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 CO2_{i,t-1} + \beta_2 GCI_{it} + \beta_3 ECI_{it} + \beta_4 PIBRPC + \beta_5 RER_{it} + \beta_6 FBKF_{it} + \beta_7 IND_{it} + \beta_8 DEN_POP_{it} + \beta_9 IDE + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Em que i refere-se ao conjunto de países e o subíndice t refere-se aos períodos de tempo. CO2 se refere às emissões de gases de efeito estufa em kilotons de CO₂ equivalente *per capita*, variável incluída como dependente no período de tempo corrente, e como explicativa em primeira defasagem; PIBRPC é o Produto Interno Bruto *per capita*; ECI é o Índice de Complexidade Econômica do país, hipoteticamente negativamente relacionado às emissões de carbono; GCI é o Índice de Complexidade Verde, que se supõe ser negativamente correlacionado com as emissões de gases de efeito estufa; RER é a taxa de câmbio real; FBKF é a participação da formação de capital físico no PIB; IND é a participação do setor manufatureiro no PIB, incluída com o intuito de capturar a influência da estrutura produtiva do país, com impacto esperado positivo sobre as emissões; IDE é o investimento direto estrangeiro, com sinal esperado positivo, considerando a PHH; e DEN_POP é a densidade populacional, incluída para retratar características demográficas do território, com sinal esperado positivo sobre as emissões.

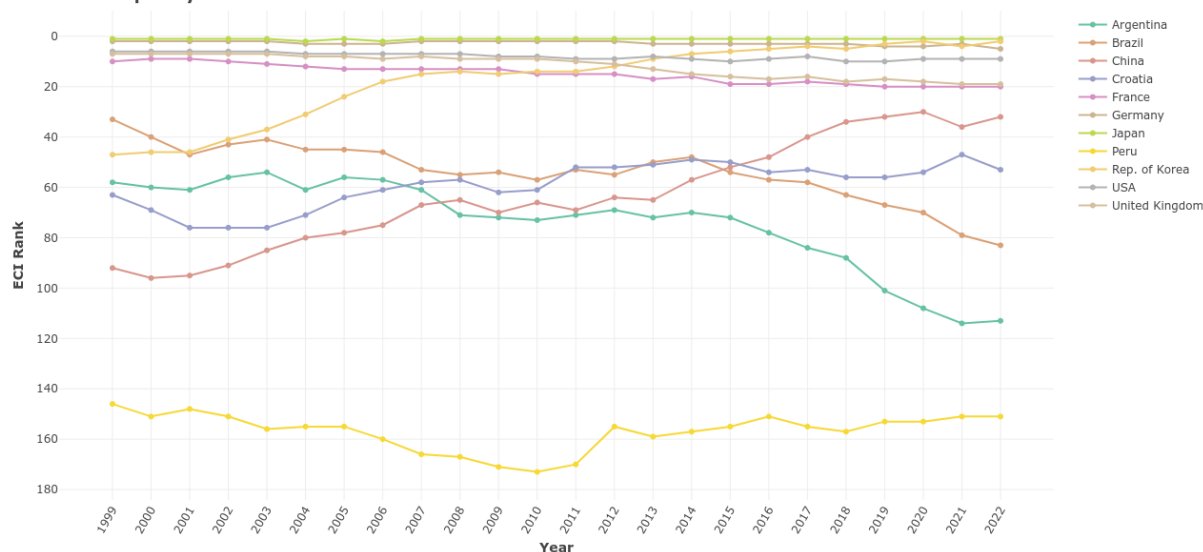
4 RESULTADOS

4.1 Índice de Complexidade Econômica e Índice de Complexidade Verde

O gráfico 1 mostra a evolução do ECI ao longo do período 1999 - 2022 para países selecionados. Note que o Japão lidera o *ranking* de complexidade econômica mensurado pelo ECI durante todo o período, o que evidencia a capacidade de produção de produtos complexos nas últimas duas décadas. Além disso, a Alemanha oscilou entre a segunda e a terceira posições no período. Entre demais países que estão nas primeiras colocações com respeito à complexidade econômica, destacam-se França, Reino Unido e Estados Unidos. No que concerne à evolução geral do ranking, dois países do continente asiático se sobressaem, China e Coreia do Sul. O primeiro, evoluiu linearmente em termos de complexidade econômica e saiu da 92ª posição em 1999 para a 32ª em 2022, enquanto que o segundo saiu da 43ª colocação em 1999 para a 2ª colocação em 2022, sendo ambos os casos exemplos de rápida evolução das capacidades produtivas dos países nos últimos anos.

Alternativamente, países da América do Sul, como Argentina, Peru e Brasil apresentaram baixas colocações no que concerne ao ECI, que pioraram ao longo do tempo. A Argentina ocupava a 58ª posição em 1999, mas caiu, com algumas oscilações, para a 113ª posição do *ranking*. O Peru saiu da 146ª posição em 1999 para a 151ª em 2022, mas chegou a ocupar a 173ª posição em 2010. Por fim, o Brasil, que chegou a ocupar a 33ª posição em 1999, esteve na 83ª posição em 2022, o que indica uma piora substancial na capacidade de produção de produtos tecnologicamente complexos.

Gráfico 1 - ECI (1999 - 2022)
Economic Complexity Index



Fonte: Green Transition Navigator

O gráfico 2 mostra a evolução do GCI ao longo do mesmo período (1999 - 2022) e para os mesmos países. Quando a capacidade de exportar competitivamente produtos verdes complexos é considerada, há algumas alterações no *ranking* de países. A mais facilmente perceptível é que, a Alemanha assume a liderança absoluta do ranking de complexidade verde, isto é, assume a 1ª colocação em toda a série histórica do índice. O Japão, primeiro colocado no *ranking* de complexidade econômica convencional, passa a oscilar entre a 7ª e 11ª posições. Assim como no *ranking* por ECI, França, Reino Unido e Estados Unidos estiveram nas primeiras colocações ao longo de todo o período.

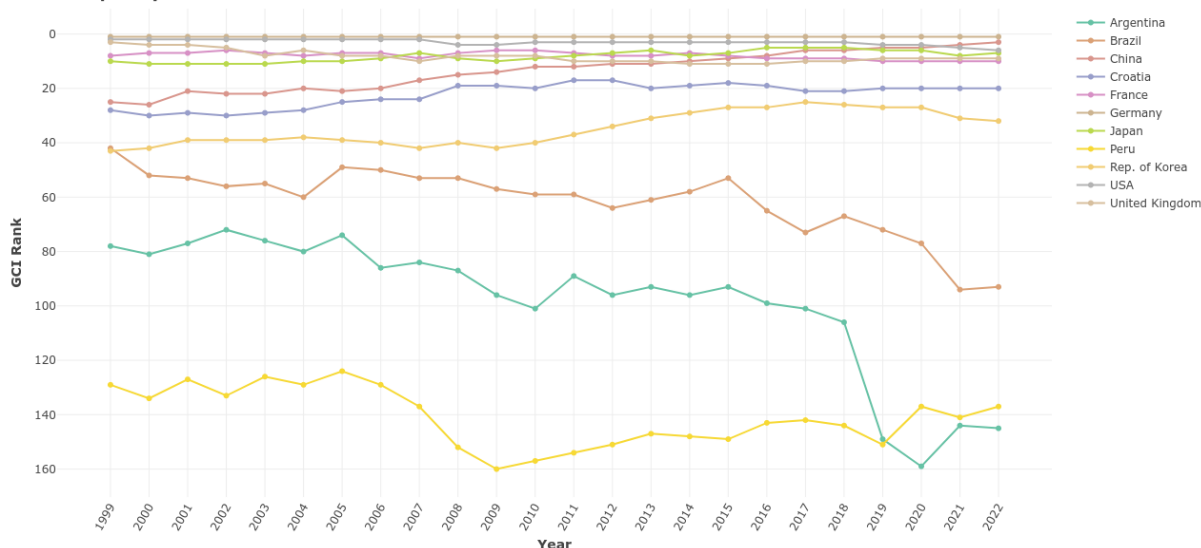
É importante destacar novamente Coréia do Sul e China, visto que a evolução ao longo do tempo dos dois países asiáticos foi consideravelmente diferente da evolução do ECI. O primeiro saiu da 43ª posição em 1999 para a 32ª posição em 2022. Apesar da melhora no *ranking* por GCI, a evolução foi menos expressiva comparativamente ao *ranking* por ECI e é possível notar a discrepância nos ranqueamentos por ECI e GCI respectivamente. Tal discrepância evidencia que apesar da complexidade econômica geral ser um parâmetro importante para os estudos sobre desenvolvimento sustentável, não necessariamente reflete adequadamente a dimensão ambiental da capacidade de produção de produtos complexos dos países. O segundo país, por sua vez, saiu da 25ª colocação em 1999 para a 3ª colocação em 2022, sendo um dos líderes do ranqueamento por complexidade ambiental. Nota-se uma trajetória acelerada de evolução das capacidades de produção e de exportação competitiva de produtos verdes no caso chinês, apesar do expressivo crescimento econômico do país, o que

mostra que não necessariamente crescimento econômico e piora de indicadores ambientais andam sempre juntos.

Analisando os 3 países sul americanos, Argentina, Peru e Brasil, constata-se trajetórias semelhantes nas evoluções dos ranqueamentos por ECI e GCI. A Argentina sai da 78ª posição em 1999 para a 145ª posição em 2022, chegando a ocupar a posição de número 159 no ano de 2020. O Peru que ocupava a 129ª colocação em 1999, caiu para a 137ª em 2022, apesar de oscilações. Por fim, o Brasil saiu da 42ª posição no ranking em 1999 para a 93ª posição em 2022. Portanto, constata-se o baixo desempenho destes 3 países da América do Sul, em contraposição à substancial evolução de Coréia do Sul e China também no quesito complexidade verde.

Gráfico 2 - GCI (1999 - 2022)

Green Complexity Index



Fonte: Green Transition Navigator

A análise da evolução do ECI e do GCI para países selecionados permite identificar padrões nos quesitos liderança, evolução e involução: (i) Os líderes, apesar de distintos entre ECI e GCI, se mantiveram na liderança durante todo o período em consideração, evidenciando consistência nas capacidades produtivas convencionais e ambientais; (ii) notadamente, Coréia do Sul e China experienciaram evolução substancial no ECI e no GCI ao longo do intervalo de tempo, o que indica que uma análise mais profunda das trajetórias desses países possa ser importante e (iii) os 3 países sul americanos analisados evidenciaram a involução em ambos ECI e GCI ao longo do período, salientando a necessidade de estudos mais aprofundados sobre as causas do regresso de Argentina, Peru e Brasil em relação à

complexidade econômica e complexidade econômica verde.

4.2 Resultados econométricos

A tabela 1⁴ apresenta os resultados da estimação econométrica do modelo de dados em painel

Tabela 1 - Estimações para painel dinâmico *System GMM*

Var	Coef	P-valor
L1.CO2PC	0.580 (0.108)	0.000***
ECI	-0.011 (0.002)	0.000***
GCI	-0.026 (0.005)	0.000***
PIBRPC	-0.000 (0.000)	0.014*
IND	0.098 (0.039)	0.012*
FBKF	0.043 (0.019)	0.023*
RER	0.004 (0.003)	0.155
IDE	0.002 (0.004)	0.666
POP_DEN	-0.000 (0.005)	0.855
Teste de Arellano-Bond para AR(1) - (A)	z = -0.640	Prob>z = 0.521
Teste de Arellano-Bond para AR (2) - (A)	z = 0.521	Prob>z = 0.303
Teste de Hansen (B)	chi2 = 57.315	Prob>chi2 = 0.999

Fonte: Elaboração própria

⁴ Os termos entre parênteses na tabela 1 são as estimativas dos erros-padrão. “***” significativo a 1% de significância; “*” significativo a 5%.

(A) Hipótese nula: ausência de correlação de ordem n entre os resíduos

(B) Hipótese nula: restrições de sobreidentificação são válidas

A variável de emissões de CO₂ *per capita* defasada em 1 período (L1.CO2PC) foi estatisticamente significativa e apresentou sinal positivo, isto é, as emissões *per capita* do período diretamente anterior, “t-1”, influenciam as emissões no período “t” atual. Tal resultado está em consonância com o esperado, com valores passados afetando valores presentes. O PIB real *per capita* foi estatisticamente significativo com sinal negativo, mas coeficiente pouco expressivo. A taxa de câmbio real, RER, a densidade populacional, POP_DEN, e o Investimento Direto Estrangeiro, IDE, não foram estatisticamente significativas.

As variáveis de estrutura produtiva, formação bruta de capital fixo (FBKF) e participação do setor manufatureiro no PIB (IND) foram ambas estatisticamente significativas e apresentaram sinais positivos, evidenciando relações diretas entre as duas variáveis e as emissões de gases de CO₂ *per capita*. O coeficiente da variável IND foi maior que o da variável FBKF, indicando que um aumento da participação do setor manufatureiro no PIB está associado a aumentos das emissões de gases de efeito estufa. Tal resultado corrobora a hipótese de que a estrutura produtiva, está relacionada com a poluição, sendo países “industriais” mais propensos a maiores níveis de emissão *per capita*.

Por fim, ao analisar os resultados das variáveis de complexidade, ambos o ECI e o GCI foram estatisticamente significativos e apresentaram sinais negativos. Com efeito, a relação inversa entre as emissões de CO₂ *per capita* e o Índice de Complexidade Econômica corroboram os resultados encontrados por Lapatinas *et al.* (2019) e Romero & Grankow (2021) e reforçam a relação teórica estabelecida pela corrente Novo-Desenvolvimentista ecológica, que postula a importância da incorporação da complexidade econômica quando se trata de crescimento econômico ambientalmente sustentável (GUARINI & OREIRO, 2022; TEIXEIRA, FILHO & OREIRO, 2023).

Adicionalmente, é importante observar que o Índice de Complexidade Verde desenvolvido por Mealy & Teytelboym (2022) apresenta sinal negativo, mas coeficiente maior que o Índice de Complexidade Econômica convencional. Isso indica que o desempenho do índice que considera as capacidades produtiva e comercial dos países com relação a produtos ambientalmente benéficos é melhor comparativamente ao ECI no que tange a refletir a influência da complexidade econômica sobre a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Tal resultado ainda reforça a relevância da proposta da visão ecológica do Novo-Desenvolvimentismo, a mudança estrutural ecológica. Este conceito consiste na visão de que o aumento da participação do setor manufatureiro verde no PIB é condição indispensável para o crescimento econômico sustentável, vinculando a dinâmica tecnológica

relacionada à acumulação de capital e a dinâmica social ligada a reorientação verde dos componentes da DA (GUARINI & OREIRO, 2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou, além de elencar os principais determinantes das emissões de CO₂, verificar a relação entre a emissão de gases de efeito estufa e complexidade econômica sob um arcabouço teórico baseado na macroeconomia ecológica pós-keynesiana e na visão ecológica do Novo-Desenvolvimentismo.

Para atingir tais objetivos, foi realizada análise descritiva da evolução do Índice de Complexidade Econômica (ECI) convencional e do Índice de Complexidade Verde (GCI) desenvolvido por Mealy & Teytelboym (2022). Adicionalmente, foi estimado modelo de dados em painel dinâmico utilizando *System GMM* para verificar possíveis determinantes das emissões de CO₂ *per capita*, mas, principalmente, para entender a relação entre gases de efeito estufa e complexidade econômica quando se leva em conta a complexidade ponderada pela sustentabilidade ambiental dos bens e serviços produzidos e comercializados por 43 países selecionados, representada por meio do GCI.

A análise da evolução dos dois índices de complexidade, ECI e GCI, evidenciou três padrões nos aspectos de liderança, evolução e involução dos rankings de complexidade. Primeiro, os líderes, apesar de distintos entre ECI e GCI, se mantiveram na liderança durante todo o período em consideração, evidenciando consistência nas capacidades produtivas convencionais e ambientais. Segundo, Coréia do Sul e China experienciaram evolução substancial no ECI e no GCI ao longo do intervalo de tempo, o que indica que uma análise mais profunda das trajetórias desses países possa ser importante. Por último, os 3 países sul americanos analisados mostraram involução em ambos ECI e GCI ao longo do período, salientando a necessidade de estudos mais aprofundados sobre as causas do regresso de Argentina, Peru e Brasil em relação à complexidade econômica e à complexidade econômica verde.

Os resultados do painel dinâmico indicaram que a formação bruta de capital fixo e a participação do setor manufatureiro no PIB, variáveis que refletem a estrutura produtiva de um país, influenciam positivamente as emissões de CO₂, ao passo em que o PIB real per capita afeta negativamente a variável dependente, mas em magnitude pouco expressiva. Ademais, a taxa de câmbio real, a densidade populacional e o investimento direto estrangeiro não foram estatisticamente significativos.

Os índices de complexidade econômica, ECI e GCI apresentaram sinal negativo. Tal

resultado corrobora as evidências encontradas por Lapatinas *et al* (2019) e Romero & Grankow (2021) acerca da capacidade da complexidade econômica de reduzir as emissões de CO₂. Destaca-se que o GCI apresentou coeficiente negativo mais expressivo comparativamente ao ECI, indicando que, quando o aspecto ambiental é levado em conta na mensuração da complexidade econômica, chega-se a um indicador mais adequado para a relação entre emissão de CO₂ e complexidade.

As evidências encontradas com relação à estrutura produtiva e principalmente à complexidade reforçam a relação teórica estabelecida pela corrente Novo-Desenvolvimentista ecológica, que postula a importância da incorporação da complexidade econômica tanto na modelagem macroeconômica quanto no debate sobre estratégias de crescimento ambientalmente sustentável.

REFERÊNCIAS

ADGER, W.N.; HUQ, S.; BROWN, K.; CONWAY, D.; HULME, M. Adaptation to climate change in the developing world. **Progress in Development Studies**. 3,3 pp. 179–195, 2003.

ALTHOUSE, J.; GUARINI, G.; PORCILE, J.G. Ecological macroeconomics in the open economy: sustainability, unequal exchange and policy coordination in a center-periphery model. **Ecological Economics**, Vol. 172, 2020.

ARELLANO, Manuel; BOND, Stephen. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **The Review of Economic Studies**, Vol. 58, 1991.

ARELLANO, Manuel; BOVER, Olympia. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. **Journal of Econometrics**, Vol. 68, 1995.

AZAM, Muhammad; KHAN, Abdul Qayyum. Testing the environmental Kuznets curve hypothesis: a comparative empirical study for low, lower middle, upper middle and high income countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 63, 2016.

BANCO MUNDIAL. World Development Report: Development and the environment. **Oxford University Press**, New York, 1992.

BERG, M.; HARTLEY, B.; RICHTERS, O. Stock-Flow Consistent Input–Output Models as a Bridge Between Post-Keynesian and Ecological Economics. **FMM Conference 2015, Berlin: The Spectre of Stagnation? Europe in the World Economy**. 2015.

BEYENE, Sisay Demissew; KOTOSZ, Balázs. Testing the environmental Kuznets curve hypothesis: an empirical study for East African countries. **International Journal of Environmental Studies**, v. 77, n. 4, 2020.

BLUNDELL, Richard; BOND, Stephen. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. **Journal of Econometrics**, Vol. 87, 1998.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. Novo desenvolvimentismo e ortodoxia convencional. Globalização, **Estado e desenvolvimento: dilemas do Brasil no novo milênio**, v. 20, n. 3, p. 63-96, 2007.

BROCK, Brock; TAYLOR, Scott. The Green Solow Model. **Journal of Economic Growth**, Vol. 15, 2010.

CARAVAGGIO, Nicola. A global empirical re-assessment of the environmental Kuznets curve for deforestation. **Forest Policy and Economics**, Vol. 119, 2020.

COPELAND, B.R.; TAYLOR, M.S. North-South trade and the environment. **The Quarterly Journal of Economics**, Vol. 109, No. 3., pp. 755-787, Ago., 1994.

DAVIDSON, Paul. The economics of natural resources. **Challenge**, Vol. 22., 1979.

DECHEZLEPRETRE, A.; SATO, M. The impacts of environmental regulations on competitiveness. **Review of Environmental Economics and Policy**, Vol. 11, 2017.

DESTEK, M.A.; OKUMUS, I. Does Pollution Haven Hypothesis holds in newly industrialized countries? Evidence from ecological footprint. **Environmental Science and Pollution Research**, vol.26, 2019.

FONTANA, G. SAWYER, M. Towards Post-Keynesian ecological macroeconomics. **Ecological Economics**, Vol. 121, 2016..

GABRIEL, Luciano Ferreira. Crescimento econômico, hiato tecnológico, estrutura produtiva e taxa de câmbio real: análises teóricas e empíricas. Belo Horizonte, MG. **Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.**

GALINDO, L.; GUARINI, G; PORCILE, G. Environmental innovations, income distribution, international competitiveness and environmental policies: a Kaleckian

growth model with a balance of payments constraint. **Structural Change and Economic Dynamics**, 53, 16-25, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.01.002>

GILL, F.L.; VISWANATHAN, K.K.; KARIM, M.Z.A. The critical review of the Pollution Haven Hypothesis. **International Journal of Energy Economics and Policy**. Vol. 8, pp 167-174, 2018.

GOWDY, John. Bioeconomics and Post Keynesian economics: a search for common ground. **Ecological Economics**, Vol. 3, 1991.

GRAZINI, Chiara; GUARINI, Giulio. The impact of economic complexity and green policies on environmental efficiency. **Economia e Políticas públicas**. Vol. 11, 2023.

GRAZINI, Chiara; GUARINI, Giulio; OREIRO, José Luis. Integrating environmental sustainability into macroeconomic frameworks: The Eco-Keynesian cross. **Economia e Políticas Públicas**. Vol. 12, n.1, jan/jun. 2024.

GRAZINI, C.; GUARINI, G.; OREIRO, J. L. Harrod-Domar Dilemma, Thirlwall's Law and Green New Developmentalism. **Revista de Economía Política**, 44(4), e243616, 2024.

GUARINI, G.; PORCILE, G. Sustainability in a post-Keynesian growth model for an open economy. **Ecological Economics**. Vol. 126, 2016.

GUARINI, G. The macroeconomic impact of the Porter Hypothesis: sustainability and environmental policies in a Post-Keynesian model. **Review of Political Economy**. Vol. 32, 2020.

GUARINI, G.; OREIRO, J.L.C. An ecological view of New-Developmentalism: a proposal of integration. **Brazilian Journal of Political Economy**, Vol. 42, No. 1. 2022.

GUARINI, G.; OREIRO, J.L.C. Ecological transition and structural change: a new developmentalist analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**. Vol. 90, 2023.

HIDALGO, C. A.; KLINGER, B.; BARABÁSI, A. L.; HAUSMANN, R. The product space conditions the development of nations. **Science**, Vol. 317, 27 jul. 2007.

HIDALGO, C.A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Vol. 106, 2009.

IPCC - Intergovernmental Panel for Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., 2023.

JACKSON, Tim. Prosperity without growth? The transition to a sustainable economy. **Sustainable Development Commission**, Londres, 2009.

JOHNSTONE, Nick; HAŠČIČ, Ivan; KALAMOVA, Margarita. Environmental policy designs characteristics and technological innovation: evidence from patent data. **Environment WP No. 16**, OECD Environment Directorate, 2010.

JONES, Larry; MANUELLI, Rodolfo. Endogenous policy choice: the case of pollution and growth. **Review of Economic Dynamics**, Vol. 4, 2001.

KAR, Kumar Ashim. Environmental Kuznets curve for CO₂ emissions in Baltic countries: an empirical investigation. **Environmental Science and Pollution Research**, Vol. 29, 2022.

KEMP-BENEDICT, E.; GHOSH, E. Downshifting in the Fast Lane: A Post-Keynesian model of a consumer-led transition. **Economies**, 6(1). 2018.

KRONENBERG, T. Finding common ground between ecological economics and post-Keynesian economics. **Ecological Economics**, 69(7), 1488-1494, 2010.

LAPATINAS, Athanasios; GARAS, Antonios; BOLETI, Eirini; KYRIAKOU, Alexandra. Economic complexity and environmental performance: evidence from a world sample. **Munich Personal Repec Archive**, MPRA Paper No. 92833, 2019.

LI, Shixiang; SHI, Jianru; WU, Qiaosheng. Environmental Kuznets curve: empirical

relationship between energy consumption and economic growth in upper-middle-income regions of China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, 2020.

LOPÉZ, Ramon; YOON, Sang. Pollution-income dynamics. **Economics Letters**, Vol. 124, 2014.

MEALY, P.; TEYTELBOYM, A. Economic complexity and the green economy. **Research Policy**, Vol. 51, 2022.

NOAA National Centers for Environmental Information. **Monthly Global Climate Report for Annual 2022**. Publicado online em Jan. 2023, acesso: Outubro, 2023. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213>.

ONU - Organização das Nações Unidas. Sustainable development goals report 2023: Towards a rescue plan for planet and people. **Special Edition, UN**, 2023.

OREIRO, J.L.C. Green New-Developmentalism: Theoretical foundations and economic modelling. V **International Workshop of New Developmentalism**, conference paper, 2022.

PASTEN, Roberto; FIGUEROA, Eugenio. Beyond additive preferences: Economic behavior and the income pollution path. **Resource and Energy Economics**, Vol. 41, 2012.

PORTER, M.E.; VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, Vol.9, No.4, 1995.

REZAI, A.; TAYLOR, L.; MECHLER, R. Ecological Macroeconomics: An Application to Climate Change. **Ecological Economics**, 85, 69-76, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.10.008>

ROMERO, João Prates; GRANKOW, Camila. Economic complexity and greenhouse gas emissions. **World Development**, Vol. 139, 2021.

RONCAGLIA, Alessandro. Energy and market power: an alternative approach to the economics of oil. **Journal of Post Keynesian Economics**, Vol. 25, 2003.

ROODMAN, DAVID. A Short Note on the Theme of Too Many Instruments. **Center for Global Development**, Working Paper - Number 125, 2007.

ROSSER JR, J. Barkley. Reconsidering ergodicity and fundamental uncertainty. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 38, n. 3, p. 331-354, 2015.

SAES, B. M.; ROMEIRO, A. R. Ecological macroeconomics: a methodological review. **Economia e Sociedade**, 28(2); 365-392, 2019.
<https://doi.org/10.1590/1982-3533.2019v28n2art04>

SANTOS, Jeruza Haber Alves dos. Ensaio sobre política econômica, taxa de câmbio real e crescimento econômico em países em desenvolvimento. 2018. 89 f. **Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa**. 2018.

SHAHBAZ, Muhammad; OZTURK, Ilhan; AFZA, Talat; ALI, Amjad. Revisiting the environmental Kuznets curve in a global economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol. 23, 2013.

SOLOW, Robert Merton. A contribution to the theory of economic growth. **Quarterly Journal of Economics**, Vol. 70, 1956.

STOKEY, Nancy. Are there limits to growth? **International Economic Review**, Vol. 39, n.1, 1998.

SURI, Vivek; CHAPMAN, Duane. Economic growth, trade and the energy: Implications for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, Vol. 25, 1998.

TALEBZADEHHOSSEINI, S.; SCHEINERT, S. R.; GARIBAY, I. Growing Green: The Role of Path Dependency and Structural Jumps in Green Economy Expansion. **Journal on Policy and Complex Systems**, Volume 6, Number 1, 1-26, 2020. <https://doi.org/10.18278/jpcs.6.1.2>

TAYLOR, L.; REZAI, A.; FOLEY, D.K. An integrated approach to climate change, income distribution, employment, and economic growth. **Ecological Economics**, Vol. 121, 2016.

TEIXEIRA, D.M.C.; FILHO, H.L.F.; OREIRO, J.L.C. Environmental sustainability and the economic complexity: policy implications for a New-Developmentalism strategy. **35th Annual Conference of the European Association For Evolutionary Political Economy**, University of Leeds, 2023.

THIRLWALL, A. P. The nature of economic growth: an alternative framework for understanding the performance of nations. **Edward Elgar Publishing**, 2003.

TOL, Richard. The economic impacts of climate change. **Review of Environmental Economics and Policy**. Chicago University Press, 2018.

VERCELLI, Alessandro. Sustainable development, rationality and time. Em: S. Faucheux et al. (eds.), **Sustainable Development: Concepts, Rationalities and Strategies**. Kluwer Academic Publishers, 1998.

VICTOR, Peter. Managing without growth: slower by design, not disaster. **Edward Elgar**, Cheltenham, UK. 2008.

VICTOR, Peter; ROSENBLUTH, Gideon. Managing without growth. **Ecological Economics**, Vol. 61, 2007.

WANG,H.; CHEN, Z.; WU, X.; NIE, X. Can a carbon trading system promote the transformation of a low-carbon economy under the framework of the Porter Hypothesis? Empirical analysis based on the PSM-DID method. **Energy Policy**, Vol.

129, 2019.

WCED, World Commission on Environment and Development. Our common future. **Oxford University Press**, 1987.

ZHU, Yongbin; SHI, Yajuan; WU, Jing; WU, Leying; XIONG, Weng. Exploring the characteristics of CO₂ emissions embodied in international trade and the fair share of responsibility. **Ecological Economics**, Vol. 146, 2018

