Vol. 62, p. 666-691, jul./dez. 2023. DOI: 10.5380/dma.v62i0.84233 e-ISSN 2176-9109

UFPR
DMA DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
BIBLIOTECA DIGITAL DE PERIÓDICOS BDP | UFPR
revistas.ufpr.br

Dinâmica da capacidade tecnológica ambiental: uma análise entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (1990-2015)

Dynamics of environmental technological capacity: An analysis between developed and developing countries (1990-2015)

Rosa Livia Gonçalves MONTENEGRO[1*], Amanda Rodrigues LEONE[1], Ricardo Andersom VENTURA[1]

[1]Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG, Brasil.

[*] E-mail de contato: rosa.livia@ufjf.br

Artigo recebido em 5 de janeiro de 2022, versão final aceita em 16 de janeiro de 2023, publicado em 27 de outubro de 2023.

RESUMO: A literatura sobre sistemas nacionais de inovação (SNIs) destaca que os investimentos em inovação ambiental são influenciados pela magnitude das características multidimensionais de cada nação. Para construírem as bases possíveis ao desenvolvimento tecnológico ambiental, os países precisam avançar em várias questões referentes à infraestrutura científica, tecnológica, educacional e sanitária. Nesse contexto, o presente artigo teve como objetivo investigar a evolução de diferentes características de 40 países (desenvolvidos e em desenvolvimento), no período de 1990 a 2015, considerando um conjunto de variáveis extraído dos bancos de dados da OCDE e do Banco Mundial. Para tanto, a metodologia aplicada baseou-se em Análise de Componentes Principais (ACP) e em um modelo de regressão com dados em painel. Os resultados revelaram que as características científicas e as emissões de gases foram fatores determinantes para o desempenho inovativo ambiental dos países, especialmente os países desenvolvidos, ao longo dos anos. Ademais, observou-se esforços dos países em desenvolvimento, como por exemplo, Brasil, China e Índia, em prol de um novo paradigma tecnológico ambiental.

Palavras-chave: inovação ambiental; países desenvolvidos; países em desenvolvimento; análise de componentes principais; análise de dados em painel.

ABSTRACT: The literature on national innovation systems highlights that investments in environmental innovation are influenced by the magnitude of the multidimensional characteristics of each economy. In order to build the

Desenvolv. e Meio Ambiente usa uma Licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional (cc) BY

possible bases for environmental technological development, countries need to advance in several issues related to scientific, technological, educational and health infrastructure. Thus, the article aims at investigating the evolution of different characterizations (developed and developing countries), in the period between 1990 and 2015. For that purpose, the methodology applied was Principal Component Analysis (PCA) and regression model with panel data. The results revealed that scientific characteristics and gas emissions were determining factors for the countries' innovative environmental performance over the years, especially developed ones. Furthermore, efforts were made by developing countries such as Brazil, China and India, in favor of a new environmental technological paradigm.

Keywords: environmental innovation; developed countries; developing countries; principal component analysis; panel data analysis.

1. Introdução

As preocupações com os danos ambientais provocados pelo crescimento econômico expressivo ao longo do tempo se acentuaram a partir da segunda metade do século XX. Especificamente, no ano de 1987, com a publicação do relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), observou-se o marco inicial da questão sobre o desenvolvimento sustentável. Com isso, a problemática sobre as questões de meio ambiente e tecnologia, especialmente nos países avançados, consolidou-se em uma agenda de diferentes setores e agentes no âmbito da inovação como: governos, corporações, universidades, centros de pesquisa e movimentos sociais.

Desse modo, desde os anos 1980, os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) vêm alterando o padrão de apoio à indústria, incorporando medidas que integram a política de comércio internacional com a pauta industrial e tecnológica. Em vez de subvencionarem empresas por meio de contratos de pesquisa e desenvolvimento específicos e pontuais, os governos desses países passaram a criar condições para que a atividade produtiva se organizasse de forma sistêmica e integrativa. No Brasil, assistiu-se, a partir de meados dos anos 1990, a um investimento crescente em políticas de inovação, como fundos setoriais para financiamento de pesquisas e a formulação da Lei de Inovação. Todavia, o tema da inovação tem se mantido estreitamente ligado com preocupações de ordem econômica, como competitividade, pressões da demanda e investimentos (Andrade, 2004).

Particularmente, nos anos 1990, a lógica de competitividade e inovação incorporou um debate mais específico a respeito de um possível *trade-off* entre regulamentação ambiental e competitividade, reforçando a tese de um compromisso necessário entre crescimento econômico e sustentabilidade. Em contrapartida, imperava também a hipótese de Porter, na qual a imposição de padrões ambientais adequados pode estimular as empresas a adotarem inovações que reduzem os custos totais de um produto ou aumentem o seu valor, melhorando a competitividade das empresas e, consequentemente, do país (Koeller *et al*., 2019).

Nesse âmbito, o conceito de inovação ambiental (IA) surge como uma solução para os efeitos adversos do crescimento econômico e abrange distintas dimensões como a ambiental, a social e a institucional (Rennings, 2000; Koeller *et al*., 2019). A inovação ambiental também demanda a integra-

ção de competências ao longo da cadeia produtiva da empresa, na qual a regulação ambiental incentiva a utilização de novos materiais e tecnologias, diferentes funcionalidades e usos, além de métodos alternativos de descartes para os produtos (Kesidou & Demirel, 2012; Pinsky *et al*., 2015). Dessa forma, a inovação ambiental inclui também a inovação de controle da poluição (tecnologias novas, melhores ou mais baratas), produtos verdes, tecnologias de produção limpa, tecnologias de energia e de transporte sustentáveis, redução de resíduos e técnicas de manejo. Para Kemp & Pearson (2007), a base do conceito de IA está centrada no desempenho ambiental em detrimento das metas ambientais de uma empresa, por exemplo, pois o que importa não são os objetivos e intenções corporativas, mas os resultados ambientais positivos trazidos pela IA.

A OCDE destaca que a inovação ambiental reflete uma redução do impacto ambiental e não somente uma limitação em inovar produtos, processos e métodos organizacionais, mas também incluir inovação em estruturas sociais e institucionais, além de aumentar a competitividade das empresas e países que "ecoinovam" (Kesidou & Demirel, 2012). Vale ressaltar que a concorrência promove a inovação, e uma maior inovação ajuda a garantir maior competitividade. Dessa forma, a inovação ambiental pode ser definida também como qualquer ação tomada para aumentar a eficácia de um sistema, assim como aumentar sua eficiência energética, reduzindo externalidades e o tempo de sua produção (Raynolds *et al*., 2002).

No entanto, as críticas direcionadas às tecnologias ambientais partem do pressuposto de que elas não requerem novos paradigmas tecnológicos ou científicos. Contudo os avanços científicos destacam as direções tecnológicas de países que convergem com o debate ambiental global, como, por exemplo: o consumo de energia e a preservação de recursos naturais. Destarte, as principais críticas referem-se aos países que se apoiam no contexto de produção de inovações mais incrementais, configuradas por tecnologias denominadas como "fim de linha" (*end of pipe*), e que não potencializam as inovações específicas e mais radicais, configuradas pelas tecnologias limpas (*clean technologies*) (Freeman, 1996).

Portanto, a inovação ambiental também exige uma infraestrutura ampla e que contemple diferentes dimensões como: a cultural, a institucional e a organizacional. A questão chave da inovação ambiental integra elementos como a tecnologia, os mercados e a sociedade que contribuem para que as inovações tragam alternativas para questões ambientais, incluindo a produção mais limpa (redução do impacto ambiental no ciclo de vida), os processos mais eficientes (redução de resíduos), as tecnologias alternativas (redução de emissões), novos serviços (substituição ou redução do consumo de produtos) e inovação em sistemas (mensuração e monitoramento) (Pinsky *et al.*, 2015).

Em síntese, o principal objetivo do artigo foi identificar os países que, mesmo com características distintas entre eles, tiveram um padrão de comportamento semelhante de acordo com os componentes especificados. Em outras palavras, países desenvolvidos, como os Estados Unidos e o Japão, e países em desenvolvimento, como a China e a Índia, obtiveram semelhanças em suas configurações quando equiparou-se suas características em relação às tecnologias ambientais e suas dimensões científicas. Além disso, confirmou-se a hipótese de que países mais propensos à produção de tecnologia ambiental seriam aqueles mais consolidados em

termos de infraestrutura científica e também mais poluidores.

Dessa forma, o presente trabalho investigou as configurações multidisciplinares dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, sob o enfoque de um conjunto de variáveis em dois pontos distintos no tempo, entre 1990 e 2015. Após a primeira análise estática, a partir da utilização da técnica multivariada de Análise de Componentes Principais (ACP), investigou-se a dinâmica temporal e verificou-se a importância das distintas dimensões científicas e ambientais, sob o processo de desenvolvimento tecnológico ambiental dos países, considerando os anos de 1990 a 2015. Para a segunda etapa, foi aplicada a metodologia de dados em painel, com o objetivo de especificar a dinâmica sistêmica do conjunto de países que propiciaram a atividade inovativa ambiental, considerando,nessa etapa,intervalos quinquenais contidos ao longo do período entre 1990 e 2015.

Além da introdução, o presente trabalho se organiza em mais cinco itens. Na seção 2, são apresentadas as mudanças no paradigma tecnológico global. No item seguinte, identifica-se as perspectivas e diferenças entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento de acordo com as inovações ambientais. Na quarta seção, são detalhadas a base de dados e a metodologia aplicada, a saber, análise de componentes principais e dados em painel. Por fim, nas seções 5 e 6, são tecidos os resultados e as considerações finais do trabalho, salientando as contribuições e os principais resultados sob o efeito das dimensões tecnológica, científica e socioeconômica, de acordo com a amostra de países.

2. Mudanças no paradigma tecnológico global

O desenvolvimento de tecnologias ambientais envolve complexidade e é delineado por um processo contínuo de melhorias. Tal processo envolve desde a melhoria e conservação de matérias-primas e energia até a redução do uso de substâncias e resíduos tóxicos e emissões de gases poluentes, ao longo de todo o ciclo de produção (Corrocher *et al*., 2021). Segundo Hall & Vrendenburg (2003), o processo é complexo devido à geração de inovações ambientais que contraria a perspectiva da racionalidade econômica, na qual postula que as ações empresariais devem objetivar o incremento no lucro, exclusivamente (Jabbour, 2010).

Para a compreensão da mudança do paradigma tecnológico em direção a um paradigma no contexto ambiental, é necessário analisar o contexto histórico. No final dos anos 1970, começou a emergir um conjunto de estudos que, de maneira mais sistemática, buscava examinar o papel da mudança tecnológica no desenvolvimento industrial e econômico de países e empresas. A nova abordagem, também conhecida como neo-schumpeteriana ou evolucionista, tem como perfil a defesa da substituição dos atuais métodos de produção e padrões de consumo não sustentáveis e a emergência do desenvolvimento e da rápida difusão de tecnologias mais adequadas ao meio ambiente (Freeman & Soete, 2008). Além disso, pesquisas confirmam uma rota ambientalmente sustentável para a solução da falta de emprego e de problemas relacionados à oferta e à demanda de alimentos (Kivimaa & Mickwitz, 2006).

É válido ressaltar que o aumento da competitividade global, a crescente demanda por eficiência

operacional com redução de custo e qualidade, as regulações socioambientais, a pressão de partes interessadas *(stakeholders*) e a rápida transformação tecnológica desafiam as empresas a inovar com foco na sustentabilidade (Pinsky *et al.*, 2015). Por outro lado, a mesma competitividade, proporcionou um grande impulso financeiro obtido a partir de tendências neoliberalistas, que fizeram com que a atuação dos governos recuasse, colaborando na revolução das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). Mais especificamente, os computadores, a internet e os métodos japoneses de produção forneceram um novo paradigma que possibilitou o rejuvenescimento de tecnologias maduras, tanto por intermédio da reorganização quanto da otimização de recursos e insumos (Kivimaa & Mickwitz, 2006).

Dessa forma, o atual paradigma tecnoeconômico, baseado no potencial das TIC, modificou o espaço econômico e as formas de competição. Uma vez que as formas de competição e as condições para o sucesso em cada tipo de mercado são diferentes, são abertas inúmeras possibilidades para novos entrantes e para produtores inovadores de países em desenvolvimento, por exemplo, desde recursos naturais, passando pela manufatura, até o setor de serviços (Kemp & Pontoglio, 2011). Embora os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) estejam aumentando substancialmente em setores como os de infraestrutura, de energia e agroecológicos, a sustentabilidade não é (ainda) o principal fator que os motiva para a mudança de paradigma (Su & Moaniba, 2017). Na área de infraestrutura de transportes, por exemplo, os congestionamentos e a segurança são questões mais prioritárias na agenda do que o fator sustentabilidade.

Portanto, a literatura sobre inovação mostrou que investimentos graduais em tecnologias ambientais são fortemente influenciados pelas capacidades competitivas das empresas. As empresas que constroem capacidades e práticas organizacionais, como redução no uso de matérias-primas e insumos, reciclagem, prevenção de poluição e design menos poluidores de produtos verdes, têm maiores chances de investimentos em inovação ambiental (Popp, 2011; Kesidou & Demirel, 2012).

Destaca-se que o uso de políticas de ciência e tecnologia para atingir metas ambientais constitui um novo foco para as políticas de tecnologia (Freeman & Soete, 2008). A necessidade de integrar políticas ambientais em outros aspectos de políticas tecnológicas também é reconhecido por vários países (Vona & Patriarca, 2011). Uma vez que políticas ambientais e políticas tecnológicas são integradas e afetam o desenvolvimento de inovações tecnológicas ambientais, surgem diversas sinergias positivas no âmbito do desenvolvimento tecnológico das nações. Embora as prioridades políticas ainda sejam um dos principais obstáculos para a convergência de agendas, especialmente nos países em desenvolvimento (Gonçalves Montenegro *et al.*, 2021). Por fim, países que almejam uma mudança de paradigma com o perfil atrelado às questões ambientais devem buscar, em primeiro lugar, conciliar questões que envolvam uma agenda de sustentabilidade compatível de serem empregadas a longo prazo, além do contínuo crescimento e desenvolvimento do seu perfil tecnológico (Kivimaa & Mickwitz, 2006).

3. Diferenças entre as capacidades tecnológicas ambientais dos países desenvolvidos e em desenvolvimento

Entre as décadas de 1970 e 1980, observou-se uma crescente conscientização pública e preocupação com danos ambientais, fazendo com que ocorresse uma quantidade substancial de inovações em nível global. Em alguns casos, por causa de acidentes específicos, como no Japão. Nos Estados Unidos, Japão e Alemanha, a parcela de patentes ambientais foi superior à parcela correspondente das despesas de redução da poluição no PIB. Além disso, as taxas de inovação ambiental japonesa eram consistentemente altas. Com isso, começam a emergir certas conexões plausíveis entre regulamentação ambiental e inovação. Nesses três países, ao longo do tempo, a inovação respondeu aos gastos com a redução da poluição, um indicador da severidade das regulamentações ambientais. Ademais, as taxas de patentes ambientais nos países em desenvolvimento também foram altas, atingindo 2% em muitos anos no Brasil. Todavia, a inovação doméstica foi apenas um caminho para as novas tecnologias. 'Importações' de tecnologias ambientais (patentes estrangeiras registradas em países em desenvolvimento) foram substanciais. Muitas vezes os países em desenvolvimento, especialmente no leste da Ásia, optaram por obter tecnologias baseadas em equipamentos de combate à poluição, isto é, inovação na redução da poluição *end of pipe* (fim do tubo) (Lanjouw & Mody, 1996).

Ademais, países que possuem sistemas de patentes 'utilitárias' como Coreia e México, mostram atividades significativas de patentes nos campos ambientais. Os inventores estrangeiros normalmente registravam suas patentes 'importantes' e amplamente aplicáveis nos países em desenvolvimento. As patentes estrangeiras também protegem a propriedade intelectual incorporada nos equipamentos de controle de poluição exportados para os países em desenvolvimento (Lanjouw & Mody, 1996). É evidente a existência de um processo industrial "verde" da indústria em andamento, em particular, um processo "verde" dos sistemas de energia. As tecnologias de captura e sequestro de carbono (tecnologias CCS) desempenham um papel importante ao reduzir a diferença de emissão de dióxido de carbono (CO_2). Países como Canadá, Reino Unido, EUA, Cazaquistão, Áustria e França podem ser identificados como tecnologias de posição de liderança, dentro de um portfólio de tecnologias verdes. Em outras palavras, a partir do portfólio mencionado é possível identificar o padrão de acumulação tecnológica verde dos países para a mitigação do clima, além de indicar uma preocupação com o controle da poluição do ar (Gomes & Corazza, 2013).

É possível observar, por exemplo, dados sobre investimentos e criação de novas capacidades, cada vez mais direcionados para opções de energia verde e renovável. O que impressiona no atual aumento de adições à energia renovável é que a China emergiu como, de longe, o ator mais forte, agora respondendo pela maior participação em investimentos, particularmente em energia eólica, em energia solar fotovoltaica e em tecnologia de rede inteligente. O surgimento da China como líder é mais uma indicação da mudança fundamental nas características tecnoeconômicas dos sistemas globais de energia (Mathews, 2013).

Grandes inovações, como a geração de energia solar em desertos utilizando a Tecnologia Solar

Concentrada, prometem tantas oportunidades de investimento associadas quanto empreendedores para encontrá-las. Segundo Porter (1991), a prosperidade de um país é criada – não herdada de recursos naturais – e, portanto, depende da capacidade de inovação e da atualização de sua indústria. A inovação vem de empresas individuais mas, também, é fomentada por regulamentações governamentais criteriosas que refletem as especificidades do país. Porter & Van der Linde (1995) demonstraram que os padrões ambientais adequadamente projetados podem desencadear inovações que poderão compensar em parte ou mais do que totalmente os custos de seu cumprimento.

As principais iniciativas, cujos custos foram superestimados significativamente, incluem o Protocolo de Montreal, adotado para eliminar gradualmente os compostos que destroem a camada de ozônio, e o Programa de Chuva Ácida dos EUA voltado para reduzir as emissões de dióxido de enxofre (SO_2) de usinas de queima de combustíveis fósseis. Estudos de caso e análises retrospectivas conduzidas para uma variedade de regulamentos mostram que, em todos os casos, a redução de emissões na fonte é muito mais barata do que geralmente se espera. No entanto, a limpeza além da fonte geralmente é muito mais cara do que o previsto.

Embora exista uma grande quantidade de evidências de que as iniciativas ambientais regulatórias podem melhorar a competitividade, é óbvio que isso depende, pelo menos até certo ponto, do desenho das iniciativas em questão (Raynolds *et al.,* 2002). No que diz respeito aos campos ambientais identificados nos dados de patentes, são os fornecedores de máquinas e não os usuários das tecnologias que têm sido a principal fonte de inovação. Os governos locais têm sido particularmente assíduos na aplicação dos padrões de poluição. De acordo com Raynolds *et al.* (2002), os Estados Unidos estavam em uma posição intermediária, e a Alemanha e outros países europeus estavam, em média, na extremidade inferior. Entretanto a Alemanha fez tremendos avanços ao longo do período, não apenas instituindo altos padrões, mas promovendo o desenvolvimento institucional inovador em áreas como reciclagem e rotulagem ecológica. De 1972 a 1976, as despesas totais nos Estados Unidos aumentaram de 15 bilhões de dólares para quase 20 bilhões. Os gastos no Japão com controle de poluição aumentaram de 14 bilhões de dólares, em 1976, para um pico de 19 bilhões, em 1981, um pouco após o pico de gastos nos Estados Unidos (Lanjouw & Mody, 1996).

Embora as estratégias políticas possam ter efeitos diretos produzindo alguns resultados, elas são implementadas principalmente modificando os instrumentos políticos existentes ou criando novos. No caso particular da política tecnológica finlandesa, o subconjunto de instrumentos políticos avaliados são os programas de P&D em tecnologia. As pressões políticas vindas de fora do sistema (público em geral, organizações ambientais) às vezes podem afetar diretamente a formação e o foco da tecnologia (Kivimaa & Mickwitz, 2006). Os fatores de demanda exigem responsabilidade corporativa e a literatura de gestão sobre resíduos sugere que afetarão a decisão da empresa de investir em ecoinovação (Kesidou & Demirel, 2012).

De modo amplo, não se pode desprezar o esforço dos países e conjunto de empresas em prol do desenvolvimento tecnológico ambiental. Observou-se no presente item, tanto do ponto de vista da oferta quanto do comportamento do consumidor, que as mudanças são relevantes ao crescimento econômico e à trajetória tecnológica dos países. No

próximo item, serão apresentadas as ferramentas e as variáveis que permitirão investigar com maior profundidade os diferenciais e as assimetrias existentes entre os países.

4. Metodologia e base de dados

4.1. Análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica de análise multivariada que pode ser usada para analisar inter-relações entre muitas variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes (componentes). O objetivo primordial é encontrar um meio de condensar a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (componentes) com uma perda mínima de informação (Hair Jr. *et al.*, 2009). O número de componentes principais se torna o número de variáveis consideradas na análise, mas geralmente os primeiros componentes são os mais importantes já que explicam a maior parte da variação total (Manly, 1986). Os componentes principais, em geral, são extraídos via matriz de covariância, porém podem ser extraídos também via matriz de correlação. O procedimento matemático utiliza uma transformação ortogonal (ortogonalização de vetores) para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas num conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas. Dessa forma, o número de componentes principais é sempre menor ou igual ao número de variáveis originais (Mingoti, 2005). De modo geral, Mingoti (2005) afirma que a ACP se propõe a reduzir o número de variáveis com que se aplica e possui o objetivo de explicar a estrutura, a variância e a covariância de um vetor aleatório. No caso do artigo, a ACP foi utilizada para verificar e caracterizar a mudança ocorrida entre os países, de acordo com os anos sob análise: 1990 e 2015.

4.2. Dados em painel

Um conjunto de dados longitudinal é aquele que segue uma determinada amostra de indivíduos ao longo do tempo e, portanto, fornece várias observações sobre cada indivíduo na amostra. O termo "dados em painel" refere-se ao agrupamento de observações em uma seção transversal (*cross-section*) de famílias, países e empresas durante vários períodos. Mais importante, os dados longitudinais permitem que um pesquisador analise uma série de questões econômicas importantes que não podem ser tratadas usando conjuntos de dados transversais ou de séries temporais.

O uso de dados em painel também fornece um meio de resolver ou reduzir a magnitude de um problema econométrico chave que frequentemente surge em estudos empíricos, ou seja, a afirmação frequentemente ouvida de que a verdadeira razão pela qual se encontra (ou não encontra) certos efeitos é a presença de variáveis omitidas (mal avaliadas ou não observadas) que estão correlacionadas com variáveis explicativas. Utilizando informações sobre a dinâmica intertemporal e a individualidade das entidades que estão sendo investigadas, é possível controlar melhor, de maneira mais natural, os efeitos de variáveis ausentes ou não observadas.

A metodologia de dados em painel envolve duas dimensões, a saber: uma dimensão de seção transversal e uma dimensão de série temporal.

Espera-se que o cálculo dos estimadores de dados em painel seja mais complicado do que a análise de dados de seção isolada (*cross-section*) ou dados de séries temporais. No entanto, em certos casos, a disponibilidade dos dados do painel pode realmente simplificar o cálculo e a inferência (Alonso-Borrego & Arellano, 1999). Com dados adicionais e mais informativos, é possível produzir estimativas de parâmetros mais confiáveis. Além disso, os dados em painel são mais capazes de estudar a dinâmica do ajuste. Distribuições transversais que parecem relativamente estáveis ocultam uma infinidade de mudanças. Conforme Hsiao (2014), as vantagens desse método em relação aos dados em corte transversal e séries temporais são:

(a) maior capacidade para construção de hipóteses comportamentais mais realistas;

(b) permite a observação de relações dinâmicas entre os indivíduos;

(c) possibilita o controle do impacto de variáveis omitidas;

(d) gera previsões mais precisas para os resultados individuais; e

(e) simplifica a implementação computacional e inferência estatística.

Com relação aos efeitos individuais, eles estão correlacionados com as variáveis explicativas do modelo, e, dessa forma, o estimador de mínimos quadrados ordinários torna-se inconsistente pois pode haver fatores que determinam a variável dependente, mas que não estão sendo considerados. Nesses casos costuma-se utilizar o estimador de efeitos fixos pois permanece consistente e viável. Do modelo de regressão para dados agrupados surgem duas extensões: o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios. Conforme Cameron & Trivedi (2005), os modelos de efeitos fixos apresentam a condição de que as variáveis independentes sejam correlacionadas com os efeitos do nível do indivíduo e, portanto, uma estimação consistente dos parâmetros do modelo requer uma eliminação ou controle dos efeitos fixos. No modelo de efeitos aleatórios, por outro lado, assume-se que o efeito individual é puramente aleatório e não é correlacionado com as variáveis explicativas.

Uma grande limitação da estimativa interna refere-se ao fato de que os coeficientes das variáveis independentes invariantes no tempo não são identificados no modelo *inside*. No caso do presente trabalho, o painel curto mensura a associação entre as alterações de um período específico do indivíduo nos regressores (Levin, Lin, & Chu, 2002) e as alterações de um período específico do indivíduo na variável dependente (Baltagi, 2005). O estimador de primeiras diferenças, no caso, será o estimador pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). As características dos dados, em particular o tamanho do painel, influenciam a escolha de um estimador ideal para os modelos de dados em painel (Wooldridge, 2010).

Dessa forma, o modelo empírico proposto no presente artigo é representado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 EM + \beta_2 PC + \varepsilon \qquad (1)$$

Onde Y representa a variável dependente (desenvolvimento de tecnologias ambientais), $\beta_1 EM$ e $\beta_2 PC$ são as variáveis explicativas (respectivamente as emissões de gases e a produção científica) e ε representa o termo de erro com suas propriedades usuais.

Em suma, a metodologia de dados em painel será aplicada no modelo empírico com o objetivo de estimar as relações propostas no referencial teórico e empírico das seções 2 e 3. De forma geral, o modelo teórico a ser estimado pode ser apresentado da seguinte forma:

$$Y_t = a + X_t\beta_t + \delta_t + \gamma_t + u_t \quad (2)$$

Onde Y_t é a variável dependente, X_t é um k-vetor das variáveis explicativas e u_t são os termos de erro para i= 1,2,3...M unidades de *cross-sections* (países) e para o período t= 1,2,..T (anos). O parâmetro a representa a constante geral do modelo, enquanto δ_t e γ_t caracterizam os efeitos específicos das unidades *cross-sections* e dos períodos (efeitos aleatórios e fixos) respectivamente.

Portanto, as características dos dados, em particular o tamanho da amostra, influenciam a escolha de um estimador ideal para os modelos de dados do painel (Baltagi, 2005). Para um painel com uma dimensão de longo prazo, o estimador Anderson-Hsiao computacionalmente simples tem bom desempenho (Hsiao, 2014). Para o controle dos problemas referentes à endogeneidade, e dada a possibilidade de as variáveis independentes estarem correlacionadas, optou-se pela estimação pelo método das variáveis instrumentais pelos mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro (EC2SLS). O papel do estimador de mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E) constitui na substituição da variável explicativa endógena por uma combinação linear das variáveis predeterminadas do modelo. Assim, utilizá-la no lugar da variável endógena original promove a combinação como uma variável explicativa.

De acordo com Wooldridge (2010), quando se utiliza o corte transversal (séries temporais e dados em painel), ao se aplicar de modo adequado o MQ2E, os resultados obtidos por esse método podem proporcionar uma estimativa mais eficiente na presença de variáveis explicativas endógenas do que as obtidas por MQO. Porém a utilização do MQ2E pode apresentar problemas quanto às variáveis instrumentais serem consideradas fracas, isto é, quando as variáveis instrumentais são correlacionadas com o termo de erro ou tem pequena correlação com as variáveis explicativas endógenas. Desse modo, realizou-se o teste de Sargan que apontou a validade dos instrumentos, como será explicado na seção dos resultados.

4.3. Base de dados

Antes da descrição das variáveis utilizadas nas duas metodologias explicadas na seção anterior, as estatísticas descritivas (Tabela 1) de todas as variáveis foram calculadas, assim como a matriz de correlação (Tabela 2). Os resultados encontram-se abaixo.

A matriz de correlação (Tabela 2) contribuiu para verificar se houve algum caso de autocorrelação entre as variáveis usadas na Análise de Componentes Principais (ACP), o que foi confirmado entre algumas variáveis e não invalida o uso dos instrumentos. No presente artigo, utilizou-se a base de dados da OCDE, de acordo com a abrangência de países e tecnologias relacionadas ao meio ambiente. Ao todo, foram abordados, na pesquisa, 40 países (desenvolvidos e em desenvolvimento), considerando o período entre 1990 e 2015. Os países selecionados para a amostra foram: Argentina, África do

TABELA 1 – Estatística descritiva das variáveis. Tec. ambiental = tecnologia ambiental; prod. científica = produção científica; emissões = emissões de gases poluentes; expec = expectativa de vida ao nascer; sanea = saneamento; depop = densidade populacional; aguapo = água potável; pibper = PIB per capita.

Variáveis	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Tec. ambiental	2,4542	5,9659	0	31,5
Prod. Científica	3,4496	6,6687	6,5	42,3654
Emissões	8,1229	4,5573	0,000001	26,2
Expec	75,6496	5,4103	53,4	83,8
Sanea	91,4717	14,42239	16,4	100
Depop	287,7262	968,9199	2,2	7806,8
Aguapo	97,2992	4,8045	79	100
Pibper	2,9117	3,6372	-11,5	24

FONTE: Elaboração própria.

TABELA 2 – Matriz de Correlação das variáveis. Tec. ambiental = tecnologia ambiental; prod. científica = produção científica; emissões = emissões de gases poluentes; expec = expectativa de vida ao nascer; sanea = saneamento; depop = densidade populacional; aguapo = água potável; pibper = PIB per capita.

Variáveis	Tec. ambiental	Prod. Científica	Emissões	Expec	Sanea	Depop	Aguapo	Pibper
Tecnologia ambiental	1							
Produção Científica	0,6877	1						
Emissões	0,3011	0,2945	1					
Expec	0,2290	0,1360	0,3327	1				
Sanea	0,1982	0,0509	0,4724	0,7556	1			
Depop	-0,0293	-0,0581	0,1001	0,1317	0,0913	1		
Aguapo	0,1371	-0,0028	0,4532	0,7052	0,6766	0,0906	1	
Pibper	-0,0276	0,0265	-0,0440	-0,0325	-0,1008	0,1496	-0,0891	1

FONTE: Elaboração própria.

Sul, Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Bulgária, Canadá, China, Coreia, Cuba, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Índia, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Luxemburgo, Malásia, México, Moldávia, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Romênia, Rússia, Singapura, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia. É importante ressaltar que as duas metodologias avaliam o período de modo distinto. Isto é, a ACP compara especificamente dois anos (1990 e 2015) e a análise em painel utiliza para a análise todos os intervalos quinquenais contidos neste período (ou seja, os anos 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015).

Para a realização das estimações, foram utilizadas variáveis pautadas em distintas dimensões, como as relacionadas à infraestrutura tecnológica, científica e socioeconômica, explicadas a seguir:

i) Tecnologia Ambiental: A variável representa uma *proxy* da atividade tecnológica ambiental dos países da amostra, de acordo com os anos da pesquisa. Ela pode ser definida como uma estratégia de desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao meio ambiente, que foi constituída pelo percentual (%) de invenções de tecnologias ambientais, cujos dados foram extraídos da OCDE. O indicador tem por objetivo configurar o esforço do desenvolvimento tecnológico ambiental e seu papel como promotor de inovações ambientais (Rave *et al*., 2011; Dechezleprêtre *et al.,* 2011).

ii) Produção Científica: O indicador de produção científica é representado pelo percentual (%) de artigos científicos e técnicos dos países, que foram extraídos da base de dados do Banco Mundial. A finalidade para o uso dessa variável é investigar a relação e os efeitos da atividade científica para a capacidade de desenvolvimento tecnológico ambiental, para os países analisados na amostra (Lanjow & Mody, 1996).

iii) Emissões de gases poluentes: O indicador que permitiu verificar o grau e magnitude dos danos das atividades econômicas sobre a saúde e o meio ambiente foi representado pelas emissões de dióxido de carbono (CO_2), medido em toneladas métricas de carbono *per capita*. A fonte da informação foi a base de dados do Banco Mundial. O uso da variável justifica-se por ela estar associada ao problema das mudanças climáticas e pela caracterização dos países mais poluidores em função de suas diferentes dimensões associadas às consequências do gás de efeito estufa (Brunnermeier & Cohen, 2003).

Os indicadores socioeconômicos foram representados pelas seguintes variáveis coletadas na base de dados do Banco Mundial:

iv) Expectativa de vida ao nascer: caracterizada pela média de anos de vida da população dos países.

v) Saneamento: representada pelo percentual da população com deficiência no acesso aos serviços de saneamento básico.

vi) Água potável: configurada pelo percentual de pessoas que possuem restrições ao acesso de serviços básicos de água potável dos países da amostra.

vii) Densidade populacional: o indicador foi construído pela divisão entre o quantitativo da população de cada país e sua respectiva área *(Km^2)*.

As quatro variáveis supracitadas tiveram o objetivo de relacionar o desenvolvimento de tecnologias ambientais, o bem-estar e a qualidade de vida da população dos países. Especificamente, a ideia do

uso de uma dimensão socioeconômica está centrada na compreensão dos países estarem dispostos a uma mudança de paradigma tecnológico ambiental e, ao mesmo tempo, cumprirem com um nível mínimo de infraestrutura socioeconômica.

Por fim, também foi considerado como variável:

viii) PIB *per capita*: o indicador representa o crescimento percentual do produto interno bruto (PIB) *per capita* anual dos países selecionados e também foi extraído da base de dados do Banco Mundial. A utilização dessa variável teve por finalidade associar o grau de desenvolvimento econômico dos países com a capacidade de desenvolvimento tecnológico ambiental. Como a amostra de países é composta por nações de diferentes níveis de desenvolvimento econômico, a análise por intermédio da variável permitiu identificar quais países estariam mais associados a essa proposição.

5. Resultados

Como forma de caracterizar e comparar a dinâmica estática (comparando os anos de 1990 e 2015) para os 40 países da amostra, por intermédio das oito variáveis escolhidas originalmente (vetor aleatório original), são apresentados, em primeiro lugar, os resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) para os dois respectivos anos. A primeira etapa consistiu na realização do teste de adequação KMO em que tanto para o ano de 1990 e 2015 seu resultado foi acima de 0,50 (0,72 e 0,71, respectivamente). O que indica que as variáveis estão adequadamente ajustadas aos dados, e testando a consistência geral dos dados. Os valores do teste de esfericidade de Bartlett com níveis de significância ($p<0,05$) indicam que a matriz é favorável, rejeitando a hipótese nula de que a matriz de dados é similar a uma matriz identidade. Em geral, os resultados dos testes de KMO e de esfericidade de Bartlett tendem a ser uniformes, aceitando ou negando a possibilidade de fatoração da matriz de dados. Do mesmo modo, tal resultado indica que valores altos (entre 0,5 e 1,0) representam que a análise é apropriada, enquanto abaixo de 0,5 indicam que a análise pode ser inadequada. Os testes de Bartlett e KMO são testes utilizados na análise fatorial, sendo o método de análise do artigo (ACP) um integrante dessa categoria da análise fatorial (Hair Jr. *et al.,* 2009, p. 33). A Tabela 3 reúne os resultados obtidos da ACP com base nas variâncias percentuais individuais e acumulada.

TABELA 3 – Variância dos componentes para o ano 1990.

Componentes	Variância	
	Individual	Acumulada
Comp1	41%	41%
Comp2	20%	61%
Comp3	15%	76%
Comp4	10%	86%
Comp5	7%	93%
Comp6	3%	96%
Comp7	3%	99%
Comp8	1%	100%

FONTE: Elaboração própria.

Com base nos resultados da Tabela 3, o primeiro componente foi representado por 41% da variabilidade total dos dados. O segundo componente

responde por 20% dessa variabilidade e o terceiro componente responde por 15% da variância dos dados. Apesar de tradicionalmente optar-se por um número mínimo de componentes que representem no mínimo 70% da variância total, optou-se apenas pelos 3 primeiros componentes – responsáveis por 76% da variância total.

Com o objetivo de analisar as três configurações representadas pela variabilidade das diferentes variáveis, observa-se na Tabela 4 que o componente 1 é caracterizado por países com elevado potencial em emissões e alta expectativa de vida e boa infraestrutura em saneamento e água potável. Tais resultados são pertinentes devido à associação desses fatores como sendo características fundamentais para que os países alcancem o acúmulo de capacitações e competências daí originado como fonte de vantagem competitiva nos mercados (Grassi, 2005). Alguns países se enquadraram nesse componente, tais como: Alemanha, Canadá, França e Suécia. Do mesmo modo, há um conflito em que os países em desenvolvimento não estão predispostos a subsidiar os investimentos em tecnologias ambientais em decorrência da maior poluição entre os países desenvolvidos. Da mesma maneira, as grandes empresas dos países mais economicamente desenvolvidos são relutantes em diminuir seu ritmo de crescimento (Dechezleprêtre *et al.*, 2011).

Quanto ao componente 2, destacam-se duas características importantes, a tecnologia ambiental e a produção científica. Embora as estratégias políticas possam ter efeitos diretos produzindo resultados distintos entre os países, elas são implementadas principalmente modificando os instrumentos políticos existentes ou criando novos. As duas variáveis observadas, permitem afirmar que a política tecnológica utiliza investimentos com foco diretamente na formação de pesquisadores e no desenvolvimento da ciência (Kivimaa & Mickwitz, 2006). Nesse componente, estão os seguintes países: Brasil, China, Estados Unidos e Japão.

TABELA 4 – Perfil dos componentes principais para o ano de 1990. Tec. ambiental = tecnologia ambiental; prod. científica = produção científica; emissões = emissões de gases poluentes; expec = expectativa de vida ao nascer; sanea = saneamento; depop = densidade populacional; aguapo = água potável; pibper = PIB per capita.

Variáveis	Comp1	Comp2	Comp3
Tec. Ambiental	0,2648	0,6097	0,089
Emissões	0,3855	0,0497	0,1424
Prod. Científica	0,2155	0,6707	0,041
Expec	0,4861	-0,1342	-0,1573
Sanea	0,4952	-0,2208	-0,176
Pibper	0,1262	-0,0836	0,6495
Depop	0,1017	-0,1965	0,6838
Aguapo	0,4765	-0,2521	-0,1579

FONTE: Elaboração própria.

Sobre o componente 3, o peso da variável de desenvolvimento econômico e da densidade populacional foi superior em relação às outras variáveis. Assim, é provável que os países que se enquadram nesse componente promoveram inovações em áreas onde possuíam vantagens dinâmicas em mercados locais importantes e também possuem uma dotação natural ou uma base de habilidades acumulada (Gomes & Corazza, 2013). Os países que podem ser caracterizados nesse componente são: Bulgária, Coreia, Índia e Irlanda. A Tabela 5 apresenta a síntese das caracterizações por componentes, em todos os países da amostra para o ano de 1990.

TABELA 5 – Caracterização dos três componentes principais (1990).

País	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Argentina	-1,034351	-0,2487052	-1,237098
África de Sul	-3,332525	0,9125923	0,033234
Alemanha	1,921067	1,801984	0,5102628
Austrália	1,42766	-0,3926399	-0,3236831
Áustria	0,7306564	-0,6772912	-0,1518361
Bélgica	0,9793237	-0,7561709	0,0123458
Brasil	-2,370473	0,3176614	-1,026674
Bulgária	-0,5229743	-0,3246996	-1,725409
Canadá	1,396398	-0,0926139	-0,8458932
China	-3,203624	1,422586	0,7854256
Coreia	0,2730777	-0,6968927	1,164996
Cuba	-1,004215	-0,2669355	-1,161335
Dinamarca	0,690721	-0,675652	-0,4291998
Espanha	0,7423655	-0,6071578	-0,2447261
Estados Unidos	3,479418	5,422677	0,1753365
Finlândia	0,6888483	-0,5883005	-0,6926317
França	0,9926561	0,1962813	-0,3063689
Grécia	0,517223	-0,7209883	-0,984506
Holanda	1,135751	-0,6016564	0,2370236
India	-5,901452	1,827339	1,899555
Irlanda	0,2666271	-0,6695542	0,8408422
Israel	0,8492457	-0,8311065	-0,0086871
Itália	0,9555174	-0,2261243	-0,3429964
Japão	2,697898	3,182062	0,6819794
Luxemburgo	1,899266	-0,7230932	0,5219972
Malásia	-0,4259448	-0,688008	0,3360727
México	-1,802073	0,0994769	0,3429439
Moldávia	-3,064019	0,4080561	0,0684892
Noruega	0,6267168	-0,7559013	-0,5977623
Polônia	-0,3733376	-0,215721	-0,3056293
Portugal	0,05139	-0,7742993	-0,0246374
Reino Unido	1,234222	0,5879955	-0,3924864

República Tcheca	0,5936627	-0,7198466	0,5991502
Romenia	-0,6342476	-0,4451214	0,7662708
Russia	-1,646395	0,2582571	-1,060736
Singapura	1,848434	-2,058014	4,660334
Suécia	0,699654	-0,5734013	-0,9191993
Suíça	0,820496	-0,6415522	-0,3248592
Turquia	-1,693528	-0,1757968	1,017729
Ucrânia	-0,5091352	-0,2897252	-1,547633

FONTE: Elaboração própria.

Em relação ao ano de 2015, o componente 1 é representado por 36% da variabilidade total dos dados (Tabela 6). O segundo componente responde por 23% dessa variabilidade e o terceiro componente responde por 13% da variância dos dados. Apesar de tradicionalmente optar-se por um número mínimo de componentes que representem no mínimo 70% da variância total, optou-se apenas pelos 3 primeiros componentes – responsáveis por 72% da variância total.

TABELA 6 – Variância dos componentes para o ano 2015.

Componentes	Variância	
	Individual	Acumulada
Comp1	36%	36%
Comp2	23%	59%
Comp3	13%	72%
Comp4	12%	85%
Comp5	8%	92%
Comp6	3%	96%
Comp7	3%	98%
Comp8	2%	100%

FONTE: Elaboração própria.

De acordo com os resultados da Tabela 7, no grupo do componente 1, observou-se países como a Austrália, Áustria e Bélgica com elevado nível de emissões, expectativa de vida, saneamento e infraestrutura relacionada a água potável. No componente 2, novamente, observou-se países desenvolvedores de tecnologia ambiental e com produção científica. Para o ano de 2015, alguns países transitaram para esse componente, como foi o caso da China, Índia e Japão. Por fim, o componente 3, caracterizou-se também com a característica de um elevado nível de desenvolvimento econômico, além de variáveis com significativo peso como a produção científica e a expectativa de vida. Nesse sentido, o caráter sistêmico – que envolve e auxilia a orientação e o desenvolvimento das políticas – engloba interesses diversos, isto é, basicamente o que contribui para que uma política seja mais bem-sucedida que a outra é a interação entre os objetivos públicos e privados. Contudo o que direcionará a inovação para o objetivo da sustentabilidade ambiental consiste necessariamente no fortalecimento do papel do Estado na defesa dos objetivos públicos, apesar do setor privado ser apoiado quanto aos ajustes

necessários às mudanças nesse direcionamento (Freeman&Soete, 2008; Mazzucato, 2014).

TABELA 7 – Perfil dos componentes principais para o ano de 2015. Tec. ambiental = tecnologia ambiental; prod. científica = produção científica; emissões = emissões de gases poluentes; expec = expectativa de vida ao nascer; sanea = saneamento; depop = densidade populacional; aguapo = água potável; pibper = PIB per capita.

Variáveis	Comp1	Comp2	Comp3
Tec, Ambiental	0,2035	0,6133	0,1771
Emissões	0,3404	0,2899	-0,1579
Prod, Científica	0,0455	0,6709	0,0535
Expec	0,5234	-0,1061	0,2308
Sanea	0,5373	-0,1401	-0,1315
Pibper	-0,0184	0,051	0,9477
Depop	0,116	-0,0988	0,0164
Aguapo	0,514	-0,2157	0,0459

FONTE: Elaboração própria.

Dessa forma, é possível resgatar o debate levantado no referencial empírico, momento em que ocorre entre as décadas de 1970 e 1980 uma crescente preocupação com danos ambientais, provocando o primeiro movimento em direção às inovações ambientais em âmbito global. Nos Estados Unidos, no Japão e na Alemanha, a parcela de patentes ambientais foi superior à parcela correspondente das despesas de redução da poluição no PIB. Com isso, a partir desse período, surgiu uma conexão forte entre regulamentação ambiental e inovação. Nos três países supracitados, a inovação respondeu aos gastos com a redução da poluição, potencializados também pelas regulamentações ambientais. Ademais, a geração de patentes ambientais nos países em desenvolvimento também foi alta, como no caso do Brasil. As transferências de tecnologias ambientais foram substanciais nos países em desenvolvimento, especialmente nos países localizados no leste da Ásia, que optaram por obter tecnologias incorporadas em equipamentos de combate à poluição, isto é, inovação na redução da poluição "fim de linha" (Lanjouw & Mody, 1996).

Sob esse enfoque, a expansão da indústria "verde" e as vantagens da transição para um sistema energético sustentável, desempenharam um papel importante ao reduzir os níveis de emissões de CO_2. Países como Canadá, Reino Unido, EUA e França foram identificados como os que possuem tecnologias de ponta, dentro de um portfólio de tecnologias verdes, ou seja, identificam o padrão de acumulação tecnológica verde dos países para a mitigação do clima, além de indicar uma preocupação com o controle da poluição do ar (Gomes & Corazza, 2013). É válido ressaltar os avanços no setor de energia renovável, no qual a China se destaca. O setor responde por grande parcela da capacidade de produção em energia eólica, em energia solar fotovoltaica e em tecnologia de rede inteligente. O surgimento da China como líder é mais uma indicação da mudança fundamental nas características tecnoeconômicas dos sistemas globais de energia (Mathews, 2013).

A Tabela 8 apresenta a síntese das caracterizações por componentes (os escores), em todos os países da amostra para o ano de 2015.

Com isso, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP), observou-se que as configurações entre os países foram bem distintas entre os dois anos considerados (1990 e 2015). Paralelamente ao resultado comparativo e estático, verificado pela ACP em tais anos específicos, estimou-se o modelo de dados em painel com o objetivo de investigar

TABELA 8 – Caracterização dos três componentes principais (2015).

País	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Argentina	-0,5215397	-0,7802174	-0,1163472
África de Sul	-4,042569	0,6763371	-1,177368
Alemanha	1,262958	1,225978	-0,2717408
Austrália	1,645349	0,1210173	-0,4708577
Áustria	0,7657413	-0,7828103	-0,374951
Bélgica	0,8472543	-0,6787989	-0,1130664
Brasil	-1,469701	-0,403159	-1,229854
Bulgária	-1,045554	-0,5662442	0,4005088
Canadá	1,477364	0,3275784	-0,6573345
China	-1,839487	3,969953	1,017824
Coreia	1,605722	1,004534	-0,0757502
Cuba	-1,157725	-0,6138711	0,5978216
Dinamarca	0,5973594	-0,8115869	0,0034034
Espanha	0,7536378	-0,6072248	0,6429675
Estados Unidos	2,291847	5,843663	-0,3423523
Finlandia	0,8986054	-0,6920837	-0,3623099
França	0,7683278	-0,1329637	-0,0283784
Grécia	0,5895565	-0,9196497	-0,2756402
Holanda	0,9867853	-0,3677435	-0,1018399
India	-5,178717	1,210518	1,207452
Irlanda	-0,2612487	-0,2934246	4,750557
Israel	0,9672402	-0,7866826	-0,2825801
Itália	0,6648042	-0,3430489	0,0002155
Japão	1,913722	2,394198	-0,1484203
Luxemburgo	1,619676	-0,158426	-0,297308
Malásia	-0,3890437	-0,3316346	0,0556313
México	-1,108895	-0,6326202	0,0001159
Moldávia	-4,265053	0,0448527	-0,5129549

Noruega	0,9525446	-0,671011	-0,1606276
Polonia	0,0763717	-0,419011	0,2879617
Portugal	0,4378116	-1,010682	0,2199133
Reino Unido	0,7995434	0,1200843	0,0170865
Republica Tcheca	0,5638642	-0,53664	0,5104468
Romenia	-1,248835	-0,7054501	0,6425403
Russia	-1,058302	0,4051823	-1,451264
Singapura	1,930646	-1,252961	0,0438733
Suécia	0,6167083	-0,8496785	0,4951217
Suiça	0,7288054	-0,9708178	-0,1140473
Turquia	-0,3492633	-0,6051577	0,4499577
Ucrânia	-1,826315	-0,4202968	-2,778405

FONTE: Elaboração própria.

a evolução dinâmica e temporal nos intervalos quinquenais distribuídos ao longo do período de 1990 a 2015.

Para a análise econométrica aplicada, em primeiro lugar, estimou-se o modelo empírico especificado na seção 4.2 (equação 1) de acordo com os estimadores: Within: *Oneway + Twoways Oneway (individual e time), Twoways*[1]*, Pooled, First Differences*[2] e *Between*[3]. Dos resultados que indicam a escolha do melhor modelo de efeito aleatório e o melhor modelo de efeito fixo entre os *oneway time, oneway individual, e twoways (time + individual)* antes de realizar o teste de *Hausman*. O teste formulado por Hausman tem uma distribuição $\chi 2$ assintótica. Se a hipótese nula for rejeitada (H_0: efeitos aleatórios são consistentes e H_1: efeitos aleatórios não são consistentes). A conclusão foi que o modelo de efeitos aleatórios é adequado, sendo preferível. Nesse caso, o teste de *Hausman* não rejeitou a hipótese nula de que os efeitos aleatórios são consistentes e indicou que a melhor escolha é a modelagem por efeitos aleatórios.

Com base nos resultados da Tabela 9, o resultado da estimação dos modelos de efeito aleatório fornece informações sobre a variância dos componentes dos erros, um referente ao componente de corte transversal ou específico dos indivíduos representado por individual, o outro termo idiossin-

[1] O estimador two way é a combinação de efeitos fixos para as unidades de análise e para períodos temporais. No caso, somente foi possível a estimação pelos efeitos fixos (Wooldridge, 2010).

[2] O estimador de primeiras diferenças (ou First differences, FD) consistem na remoção de efeitos fixos individuais (μi). No entanto, verifica-se um aumento de erros-padrão e diminuição de observações (Wooldridge, 2010).

[3] Da mesma forma que no estimador de primeiras diferenças, não é possível obter diretamente estimativas para os efeitos fixos. O estimador do tipo "between" não apresenta vantagens em relação aos demais estimadores (Wooldridge, 2010).

TABELA 9 – Resultados da estimação pelo método das variáveis instrumentais (EC2SLS).

One way Individual			***One way Time***			***Two ways***		***Pooled, First Differences (FD), Between***			
Variável dependente: Tecnologia Ambiental			Variável dependente: Tecnologia Ambiental			Variável dependente: Tecnologia Ambiental		Variável dependente: Tecnologia Ambiental			
	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios		Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios		Efeitos Fixos		Pooled	FD	Between
Produção Científica	0,00001**	0,00001**	Produção Científica	0,00001**	0,00001**	Produção Científica	0,00005**	Produção Científica	0,0001***	0,00002***	0,0001*
	(0,00001)	(0,00001)		(0,00003)	(0,00002)		(0,00002)		(0,00002)	(0,00001)	(0,0001)
Emissões	0,232	0,249	Emissões	0,453***	0,421***	Emissões	−0,563	Emissões	0,413***	−0,108	0,539
	(0,200)	(0,203)		(0,160)	(0,146)		(0,490)		(0,143)	(0,167)	(0,356)
Constante		−0,015	Constante		-3,978***	Constante		Constante	−3,744***	−0,137*	−4,898
		(1,738)			(1,473)				(1,401)	(0,072)	(3,727)
Observações	240	240	Observações	240	240	Observações	240	Observações	240	200	40
R^2	0,162	0,173	R^2	0,486	0,478	R^2	0,054	R^2	0,474	0,085	0,506
R^2 ajustado	-0,012	0,166	R^2 ajustado	0,471	0,473	R^2 ajustado	−0,171	R^2 ajustado	0,470	0,076	0,480
F	13,066***	14,505***	F	19,398***	22,453***	F	11,488***	F	23,104***	10,895***	4,378

Teste de Hausman: p-value = 0,847 Teste de Hausman: p-value = 0,69

NOTA 1: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

NOTA 2: entre parentêses encontra-se o desvio padrão.

FONTE: Elaboração própria.

crático, que varia com o corte transversal e com o tempo (Within: *Oneway + Twoways*). Logo, com o uso do teste de *Hausman,* foi possível decidir pelo modelo de efeito aleatório. Para o controle dos problemas referentes à endogeneidade (mencionados no item 4.2), e dada a possibilidade de as variáveis independentes estarem correlacionadas, optou-se pela estimação pelo método das variáveis instrumentais pelos mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro (EC2SLS).

Desse modo, a variável endógena foi o indicador de emissões de gases poluentes e, as variáveis instrumentais utilizadas foram: a expectativa de vida, o saneamento, a densidade populacional, o PIB *per capita* e o indicador de água potável. Não obstante, a motivação para o uso de variáveis instrumentais justificou-se de acordo com o problema causado pelas variáveis omitidas. Em outras palavras, quando confrontados com a perspectiva de vieses de variáveis omitidas (ou heterogeneidade não observada), é possível ignorar o problema e sofrer as consequências de estimadores tendenciosos e inconsistentes. Logo, o uso do método das variáveis instrumentais que reconhece a presença da variável omitida consiste em deixar a variável não observada no termo do erro, em vez de estimar somente o modelo pelo método MQO (*pooled*). Assim, a estimação pelo método das variáveis instrumentais pelos mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro (EC2SLS) possibilitou definir um conjunto de instrumentos que satisfizeram os critérios de serem fortemente correlacionados com as variáveis endógenas, tendo sido possível reduzir, por conseguinte, o problema de endogeneidade.

A estimação com dados em painel utilizou variáveis explicativas como o nível de emissões e a produção científica para explicar o desenvolvimento de inovações ambientais. A estimação realizada a partir do método das variáveis instrumentais, pelos mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro (EC2SLS) permitiu minimizar o problema da endogeneidade, instrumentalizando a variável emissões. Não obstante, o conjunto de instrumentos composto por variáveis de caráter sociodemográfico foi validado pelo teste de Sargan, no qual indicou a validade dos instrumentos a 5% de significância, sinalizando que o conjunto de instrumentos utilizados é consistente. Os resultados podem ser verificados na Tabela 10.

TABELA 10 – Resultados da estimação pelo método das variáveis instrumentais (EC2SLS).

Variável dependente: Tecnologia Ambiental	
	EC2SLS
Produção Científica	0,000156***
	(0,00002)
Emissões	0,4000478***
	(0,16994)
Constante	-1,33179
	(1,5223)
Observações	240
Teste de Hausman: 0,34	
Teste de Sargan: 17,813**	
Variável instrumentalizada: Emissões	
Variáveis Instrumentrais: Expec; Sanea; Depop; Aguapo	

NOTAS: Níveis de significância: ***: Significativo a 1%; **: Significativo a 5%;

Entre parênteses encontra-se o desvio padrão.

FONTE: Elaboração própria.

De acordo com os resultados baseados no modelo estimado pelo método das variáveis instrumentais (EC2SLS) (Tabela 10), tanto as emissões de gases poluentes quanto a produção científica são significativas para a produção de tecnologia ambiental nos países da amostra. As emissões de gases CO_2 referem-se aos níveis e aos danos da atividade econômica à saúde humana e ao meio ambiente. Dessa maneira, apesar da estabilização eradical diminuição das emissões de gases pelos países mais poluidores ao longo do tempo, a revolução tecnológica é mais que necessária a longo, médio e curto prazo (Barret, 2009).

Outro ponto importante quanto ao uso desse indicador refere-se à questão das regulações ambientais. Devido à complexidade em considerar indicadores individuais para cada país sobre o fator intrínseco das regulações ambientais, o indicador também pode ser considerado como uma *proxy* indireta de padrões ambientais (Crespi, 2013). Logo, os países que emitem um nível elevado de gases CO_2 também podem ser afetados por uma rigorosa e eficaz regulamentação ambiental, em que são estimulados a desenvolverem as tecnologias ambientais (Crespi, 2013). Dessa forma, a partir dos resultados apresentados, ainda que as características entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento sejam distintas, a capacidade inovativa ambiental entre os países possui uma forte relação com as emissões de gases CO_2.

Quanto à produção científica, sabe-se que o processo de geração de novas tecnologias engloba um caráter cada vez mais sistêmico, no qual o estreitamento da relação entre os agentes econômicos, instituições de pesquisa e universidades são essenciais à formação, desenvolvimento e consolidação de sistemas nacionais de inovação (SNIs) – Kemp & Pearson (2007); Kemp & Pontoglio (2011); Kesidou & Demirel (2012); Kivimaa & Mickwitz (2006); Lanjouw & Mody (1996). Nesse sentido, a partir de diversos estágios dos SNIs e de suas diferentes dimensões (científica, econômica, ambiental), é possível observar que o desenvolvimento tecnológico ambiental não deve ser analisado como um fenômeno isolado no espaço e no tempo, mas como resultado de várias trajetórias cumulativas, construídas historicamente de acordo com as especificidades institucionais e políticas.

Em outras palavras, as tecnologias ambientais são atualmente mais desenvolvidas em países que exibem um elevado desenvolvimento econômico, e não são difundidas no mundo econômico na velocidade e escala necessária (Haščič*et al*., 2010). Porém ressalta-se que o esforço e a produção de tecnologias ambientais dos países em desenvolvimento, mesmo que em menor intensidade, são mais específicas para as necessidades dessas economias. Todavia entende-se que essas tecnologias não são produzidas em uma escala maior devido aos entraves estruturais científicos e econômicos, além da escassez de incentivos para o desenvolvimento destas.

6. Considerações finais

As interações entre os agentes econômicos, as instituições de pesquisa e os organismos governamentais estimulam ações em prol da capacidade de desenvolvimento de inovação ambiental dos países. Para que haja um ambiente propício ao desenvolvimento dessas inovações, é necessário que as nações criem e promovam condições para uma infraestrutura adequada, com o objetivo de aperfeiçoar as tecnologias existentes e instigando

o desenvolvimento de novas. A questão abordada tornou-se o objetivo deste artigo, isto é, identificar características específicas que levam ao desenvolvimento tecnológico ambiental, entre as nações desenvolvidas e as em desenvolvimento. Nesse caso, os resultados do presente artigo revelaram que os avanços econômicos são, de certa forma, equilibrados entre a manutenção do crescimento econômico e a suscetibilidade ambiental, referentes aos impactos do meio ambiente a médio e longo prazo. Logo, as inovações ambientais compreendem como a forma mais eficiente e capaz de manter o equilíbrio entre o crescimento econômico e a busca de uma melhor qualidade de vida.

No que diz respeito às assimetrias científicas e tecnológicas, verificou-se uma elevada capacidade de desenvolvimento tecnológico ambiental por parte de países desenvolvidos, principalmente advinda dos Estados Unidos. É válido ressaltar que tal resultado indica que as assimetrias entre o desenvolvimento dos podem estar atreladas ao grau de maturidade do Sistema Nacional de Inovação das nações. A análise de que países desenvolvidos são os mais propícios a realizarem esforços em direção à produção de tecnologias ambientais foi confirmada, não somente para o caso dos Estados Unidos, mas também em outras economias desenvolvidas, como, por exemplo, Japão e Alemanha.

Contudo, para que a geração de conhecimento tecnológico se torne cada vez mais sólida, é fundamental a construção de uma rede integrada de atores e uma atmosfera adequada que permita diminuir as incertezas e endogeneizar o progresso tecnológico a ser adquirido. Os atores destacados representam as universidades, o governo, os centros de pesquisa, além do engajamento de empresas que propiciam aperfeiçoamento de tecnologias existentes e o desenvolvimento de inovações. Em outras palavras, os esforços para a promoção de tecnologias mais limpas e sustentáveis envolvem amplos fatores, de difícil mensurabilidade e alta complexidade.

No artigo, a metodologia de Análise de Componentes Principais identificou diferenças significantes nas caracterizações entre países como a Alemanha e o Japão. Ademais, em países como o Canadá, a Dinamarca e a Espanha, observou-se características que possuem reflexo de políticas tecnológicas e infraestruturais bem-sucedidas, mas que ainda não abrangem por completo respostas mais incisivas no aspecto ambiental. Após as estimações realizadas com a metodologia de dados em painel, visualizou-se esforços tecnológicos ambientais em conjunto, especialmente de países como o Brasil, Estados Unidos, China, Índia e Japão. Não obstante, também foi constatado que a produção científica esteve acompanhada de contínuas emissões de gases poluentes em prol do desenvolvimento tecnológico ambiental.

Desse modo, acredita-se que o fomento de tecnologias ambientais – apesar de ter contribuído para que os países evoluíssem no desenvolvimento científico e econômico das atividades de seus Sistemas Nacionais de Inovação – ainda permanece distante da pauta prioritária sobre questões ambientais, em relação aos países da amostra do presente estudo.

Em geral, a diversidade de propostas políticas e o objetivo comum de desenvolvimento de tecnologias ambientais dependerá, essencialmente, da orientação das mudanças técnicas na condução de metas e objetivos específicos. No tocante a isso, há diversos meios para que se incentive e se subsidie o desenvolvimento das tecnologias ambientais. Da mesma forma, políticas que viabilizem a evolução dessas tecnologias por intermédio de instrumentos

econômicos ou pela regulação direta das emissões comercializáveis, por exemplo, são algumas das decisões que devem ser amplamente debatidas entre as economias.

Por fim, o artigo revela a necessidade de atualização de políticas tecnológicas mais focadas na mitigação de impacto ambiental, especialmente as industriais. Do mesmo modo, as mudanças, nesse caso, devem ser pensadas não somente sob um ponto de vista específico, de um problema pontual, mas como um processo de resultados lentos, graduais e de longo prazo, beneficiando a adoção de melhores estratégias em prol do desenvolvimento de tecnologias limpas e da qualidade de vida da sociedade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa BIC/UFJF pelo apoio financeiro à execução desta pesquisa.

Referências

Alonso-Borrego, C.; Arellano, M. Symmetrically normalized instrumental-variable estimation using panel data. *Journal of Business & Economic Statistics,* 17(1), 36-49, 1999. doi: 10.2307/1392237

Andrade, T. Inovação tecnológica e meio ambiente: a construção de novos enfoques. *Ambiente & Sociedade*, *7*(1), 89-105. 2004. doi:10.1590/s1414-753x2004000100006

Baltagi, B. H. *Econometric analysis of panel data*. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 3. ed., 2005.

Barret, S. The coming global climate-technology revolution. *Journal of Economic Perspectives,* 23(2), 53-75, 2009. doi: 10.1257/jep.23.2.53

Brunnermeier, S. B.; Cohen, M. A. Determinants of environmental innovation in the US manufacturing industries. *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(2), 278-293, 2003. doi: 10.1016/S0095-0696(02)00058-X

Cameron, A. C.; Trivedi, P. K. *Microeconometrics*: methods and applications. Cambridge University Press, 2005.

Corrocher, N.; Malerba, F.; Morrison, A. Technological regimes, patent growth, and catching-up in green technologies. *Industrial and Corporate Change*, 1-24, 2021. doi: 10.1093/icc/dtab025

Crespi, F. Environmental policy and induced technological change in european industries. *In:* Constantini, V.; Mazzanti, M. (Eds.). *The Dynamics of Environmental and Economic Systems:* innovation, environmental policy and competitiveness. Springer: Dordrecht, 2013, p.143-157.

Dechezleprêtre, A.; Glachant, M.; Haščič, I.; Johnstone, N.; Ménière, Y. Invention and transfer of climate change-mitigation technologies: a global analysis. *Review of Environmental Economics and Policy*, 5(1), 109-130, 2011. doi: 10.2139/ssrn.1414227

Freeman, C. The greening of technology and models of innovation. *Technological forecasting and social change*, 53(1), 27-39, 1996. doi: 10.1016/0040-1625(96)00060-1

Freeman, C.; Soete, L. *A economia da inovação industrial*. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

Gomes, G. N.; Corazza, R. I. Technological knowledge production towards climate change mitigation. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689-1699, 2013. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004

Gonçalves Montenegro, R. L.; Ribeiro, L. C.; Britto, G. The effects of environmental technologies: evidences of different national innovation systems. *Journal of Cleaner Production*, 284, 2021. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124742

Grassi, R. Concorrência schumpeteriana e capacitações dinâmicas: explicitando elos teóricos. *Revista Brasileira Economia de Empreendedorismo*, 5(1), 29-46, 2005. Disponível em: https://portalrevistas.ucb.br/index.php/rbee/article/view/4309

Hair Jr., J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman, 6. ed., 2009.

Hall, J.; Vredenburg, H. The challenges of innovating for sustainable development. *Sloan Management Review*, 45(1), 61-68, 2003. Disponível em: https://sloanreview.mit.edu/article/the-challenges-of-innovating-for-sustainable-development/

Haščič, I.; Johnstone, N.; Watson, F.; Kaminker, C. Climate policy and technological innovation and transfer: an overview of trends and recent empirical results. *OECD Environment Working Paper*, 30, OECD Publishing, 2010. doi: 10.1787/19970900

Hsiao, C. *Analysis of panel data*. Cambridge University Press: New York, 3. ed., 2014.

Jabbour, C. J. C. Tecnologias ambientais: em busca de um significado. *Revista de Administracão Publica*, *44*(3), 591-611, 2010. doi:10.1590/S0034-76122010000300003

Kemp, R.; Pearson, P. Final Report MEI Project about measuring eco-innovation. *UM Merit, Maastricht, 10(2), 1-120, 2007. Disponível em:* https://lab.merit.unu.edu/wp-content/uploads/2021/05/Final-report-MEI-project-about-measuring-eco-innovation-1.pdf

Kemp, R.; Pontoglio, S. The innovation effects of environmental policy instruments: a typical case of the blind men and the elephant? *Ecological Economics,* 72, 28-36, 2011. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.09.014

Kesidou, E.; Demirel, P. On the drivers of eco-innovations: empirical evidence from the UK. *Research Policy*, 41(5), 862-870, 2012. doi: 10.1016/j.respol.2012.01.005

Kivimaa, P.; Mickwitz, P. The challenge of greening technologies-Environmental policy integration in Finnish technology policies. *Research Policy*, *35*(5), 729-744, 2006. doi: 10.1016/j.respol.2006.03.006

Koeller, P.; Miranda, P.; Lustosa, M. C.; Podcameni, G. Ecoinovação: revisitando o conceito. *In:* ***Anais do IV Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação***. São Paulo: Blucher, 2019. doi: 10.5151/iv-enei-2019-5.3-026

Lanjouw, J. O.; Mody, A. Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology. *Research Policy,* 25, 549-571, 1996. doi: 10.1016/0048-7333(95)00853-5

Levin, A.; Lin, C. F; Chu, C-S. J. Unit root tests in panel data, asymptotic and finite sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24, 2002.

Manly, B. F. J. *Multivariate statistical methods*: a primer. London: Chapman and Hall, 1986.

Mathews, J. A. The renewable energies technology surge: a new techno-economic paradigm in the making? *Futures*, *46*, 10-22, 2013. doi: 10.1016/j.futures.2012.12.001

Mazzucato, M. *O Estado empreendedor:* demistificando o mito do setor público vs. setor privado. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

Mingoti, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada:* uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

Pinsky, V. C.; Moretti, S. L. D. A.; Kruglianskas, I.; Plonski, G. A. Inovação sustentável: uma perspectiva comparada da literatura internacional e nacional. *Review of Administration and Innovation - RAI*, 12(3), 226-250, 2015. doi: 10.11606/rai.v12i3.101486

Popp, D. International techonology transfer, climate change, and the clean development mechanism. *Review of Environmental Economics and Policy,* 5(1), 131-152, 2011. doi: 10.1093/reep/req018

Porter, M. America's green strategy. *Scientific American*, 264(4), 160-173, 1991. doi: 10.1038/scientificamerican0491-16

Porter, M. E.; Van der Linde, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118, 1995. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/2138392

Raynolds, M.; Bramley, M.; Boustie, S. *Competitiveness and greenhouse gas reduction policies* - A Canadian NGO Perspective. Disponível em: https://www.oecd.org/env/cc/2484475.pdf

Rave, T.; Goetzke, F.; Larch, M. The determinants of environmental innovations and patenting: germany reconsidered. *IFO Working Papers, 97,* 2011. Disponível em: https://ideas.repec.org/p/ces/ifowps/_97.html#biblio-body

Rennings, K. Redefining innovation - eco-inovation research and the contribution from ecological economics.

Ecological Economics, 32, 319-332, 2000. doi: 10.1016/S0921-8009(99)00112-3

Su, H. N.; Moaniba, I. M. Does innovation respond to climate change? Empirical evidence from patents and greenhouse gas emissions. *Technological Forecasting and Social Change,* 122, 49-62, 2017. doi: 10.1016/j.techfore.2017.04.017

Vona, F.; Patriarca, F. Income inequality and the development of environmental technologies. *Ecological Economics,* 70(11), 2201-2213, 2011. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.06.027

Wooldridge, J. M. *Econometric analyis of cross section and panel data*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2. ed., 2010.