

**ENEI**

Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação

FACE-UFMG

Inovação, Sustentabilidade e Pandemia

10 a 14 de maio de 2021

# Dinâmica e evolução da capacidade tecnológica ambiental dos países desenvolvidos e em desenvolvimento (1990-2015)

Amanda Leone Rodrigues (UFJF);

Ricardo Andersom Ventura (UFJF);

Rosa Livia Montenegro (UFJF);

---

## Resumo:

A literatura sobre sistemas nacionais de inovação 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. Dessa forma, o artigo tem como objetivo investigar a evolução das diferentes caracterizações entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, no período compreendido entre os anos de 1990 a 2015. Para tanto, a metodologia aplicada aborda a Análise de Componentes Principais (ACP) e um modelo de regressão com dados em painel. A base de dados consiste na utilização de informações provenientes do Banco Mundial e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Os resultados revelaram que as características científicas e as emissões de gases foram fatores determinantes para o desempenho inovador ambiental dos países ao longo dos anos.

## palavras-chave:

Inovação Ambiental; Países desenvolvidos; Países em Desenvolvimento; Análise de Componentes Principais; Análise de Dados em painel.

**Código JEL:** O30; O33; C26

**Área Temática:** 7- Tecnologias Sociais e Ambientais  
7.2- Eco inovações

---

## 1. Introdução

As preocupações com os riscos ambientais provocados pelo crescimento econômico se acentuaram a partir da segunda metade do século XX. Em 1987, com a publicação do relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), observou-se o marco inicial do desenvolvimento ambiental. Com isso, a problemática da inovação, nos países avançados, adentrou na agenda de diferentes setores como governos, corporações, universidades, centros de pesquisa e movimentos sociais.

Desde os anos 80, os países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) vêm alterando o padrão de apoio à indústria, incorporando medidas que integram a política de comércio internacional com a industrial e tecnológica. Em vez de subvencionarem empresas através 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 90, a um investimento crescente em políticas de inovação, como fundos setoriais para financiamento de pesquisas e a formulação da Lei de Inovação. Ocorre que o tema da inovação tem se mantido estreitamente ligado a preocupações de ordem econômica, como competitividade, pressões da demanda e investimento (ANDRADE, 2004).

Em meados dos anos 1990, dentro de uma lógica de competitividade e inovação, surge um debate a respeito de um possível trade-off entre regulamentação ambiental e competitividade, reforçando a tese do trade-off entre crescimento econômico e preservação ambiental. Em contrapartida, imperava 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 seu valor, melhorando a competitividade das empresas e, consequentemente, do país (KOELLER et al., 2019).

A OCDE define inovação como “a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas”(PINSKY et al., 2015). Desse modo, apesar de haverem especificidades de cada conceito de inovação com a incorporação da dimensão ambiental e das diferentes definições pelos seus autores, três termos são indistintamente usados como sinônimos para designá-los—ecoinovação, inovação verde e inovação ambiental – e se referem somente aos aspectos relacionados ao meio ambiente.

O conceito de inovação sustentável é mais abrangente e inclui, além desta dimensão ambiental, a social e a institucional (KOELLER et al., 2019). A inovação sustentável demanda a integração 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 (PINSKY et al., 2015). A literatura sobre inovação destaca determinantes importantes das ecoinovações, principalmente os fatores do lado da oferta, como as capacidades organizacionais das empresas e os mecanismos do lado da demanda, como os requisitos do cliente e os requisitos sociais sobre RSE (responsabilidade social corporativa) (KESIDOU; DEMIREL, 2012).

A eco inovação é um conceito amplo, que inclui inovação no 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. Segundo Rennings (2000), a eco inovação aborda três tipos de mudanças para o desenvolvimento sustentável: inovação tecnológica, social e institucional (PINSKY et al, 2015). Para Kemp e Pearson (2007), a base do termo “eco inovação” está centrada no desempenho ambiental em detrimento das metas ambientais de uma empresa, pois o que interessa não são os objetivos e intenções corporativas, e sim os resultados ambientais positivos trazidos pela eco inovação.

A OCDE ilustra que a ecoinovação difere da inovação genérica, por refletir uma redução do impacto ambiental e não se limitar à inovação em 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). É nítido que concorrência promove a inovação, e uma maior inovação ajuda a garantir maior competitividade. Dessa forma, a inovação é definida como qualquer ação tomada para aumentar a eficácia de um sistema, como aumentar sua eficiência energética; reduzir externalidades; e reduzir o tempo necessário para fornecer o serviço (RAYNOLDS et al., 2002).

A crítica às tecnologias ambientais elaborada por estudiosos da inovação é direcionada para o pressuposto de que elas não requerem novos paradigmas tecnológicos ou científicos, mas avançam dentro de direções consagradas do debate ambiental, como consumo de energia e preservação de recursos. Ademais, as críticas são marcadas por uma perspectiva de tecnologia fim de linha (*end of pipe*), que significa encerrar toda uma trajetória tecnológica em nome de sua viabilidade ambiental (FREEMAN, 1996).

Portanto, a inovação requer um rearranjo cultural, institucional e organizacional que discuta as condições de armazenamento de materiais, intercâmbios de componentes e gestão de sistemas integrados de informação em padrões complexos e ao mesmo tempo transparentes, colegiados (ANDRADE, 2004). A questão da inovação gira em torno de como tecnologia, mercados e sociedade podem contribuir com inovações que tragam alternativas para questões ambientais, incluindo produção mais limpa (redução do impacto ambiental no ciclo de vida), processos mais eficientes (redução de resíduos), 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).

Dessa forma, o presente trabalho investigará as configurações multidisciplinares dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, sob o enfoque de um conjunto de variáveis em dois pontos no tempo, 1990 e 2015. Após a primeira análise, a partir da utilização da técnica multivariada de análise de componentes principais, será verificada a evolução temporal e a importância das dimensões científicas e ambientais no processo de desenvolvimento tecnológico ambiental. Na última etapa, será aplicada a metodologia de dados em painel com o uso de variáveis instrumentais.

Além da introdução, o presente trabalho se organiza em mais 5 itens. Na seção 2, serão apresentadas as mudanças no paradigma tecnológico global. No item seguinte, as perspectivas e diferenças entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento apresentar-se-ão de acordo com as inovações ambientais. Na quarta seção serão 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, serão tecidos os resultados e as conclusões do trabalho, salientando as contribuições e os principais resultados sob o efeito tecnológico ambiental entre o conjunto de países.

## **2. Mudanças no paradigma tecnologico global**

O desenvolvimento de tecnologias ambientais é, geralmente, um processo mais complexo do que o desenvolvimento de outros tipos de tecnologia. Segundo Hall e Vrenden- burg (2003), a esse processo atribui-se complexidade adicional, pois a geração de inovações ambientalmente adequadas demanda contradizer a perspectiva da racionalidade econômica, que postula que as ações empresariais devem objetivar incremento no lucro, exclusivamente (JABBOUR, 2010).

No final dos anos 70, 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 partir de raízes intelectuais diversas, essa nova abordagem passou a ser popularmente conhecida como neo-schumpeteriana ou evolucionista. Ademais, está sendo gradualmente reconhecido que a sustentabilidade pode ser uma rota eficaz para a recuperação da economia mundial. Tanto o Banco Mundial (2011) quanto a OCDE (2011) argumentaram que 'verde' e 'crescimento' são uma combinação viável para o futuro. Vários pesquisadores têm demonstrado como uma rota ambientalmente sustentável pode levar à solução da falta de emprego e da demanda dos consumidores (KIVIMAA; MICKWITZ, 2006).

Destarte, 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 cada vez mais as empresas a inovar com foco em sustentabilidade (PINSKY et al., 2015). O grande impulso financeiro obtido a partir de tendências neoliberalistas, que fizeram com que a atuação dos governos recuasse, colaborou na revolução das TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação), muitas delas baseando-se em uma onda de tecnologias desenvolvidas pelo governo dos EUA. Os computadores, a internet e os métodos japoneses de produção forneceram um novo paradigma que possibilitou o rejuvenescimento das tecnologias maduras, tanto através da reorganização quanto da otimização de custos por meio da terceirização (KIVIMAA; MICKWITZ, 2006).

Assim, 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, abrem-se inúmeras possibilidades para novos entrantes e para produtores e inovadores de países em desenvolvimento, desde recursos naturais, passando pela manufatura, até serviços. Embora seja claro que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento aumentaram substancialmente nos últimos cinco anos em muitos setores (porto, energia, agro-alimentar), no nível do regime, a sustentabilidade não é (ainda) o principal fator ou preocupação.

No regime de transporte, por exemplo, o congestionamento e a segurança são mais altos na agenda do que a sustentabilidade. Os principais fabricantes de automóveis também enfrentam forte concorrência, aquisições hostis e custos crescentes que recebem mais atenção do que questões de sustentabilidade (SCHOT; GEELS, 2008). Portanto, a literatura sobre inovação mostrou que investimentos crescentes em ecoinovação são influenciados pelas capacidades das empresas. As empresas que constroem capacidades e práticas organizacionais, como redução de fontes, reciclagem, prevenção de poluição e design de produtos verdes, têm maior probabilidade de investir em ecoinovação. Além disso, recursos organizacionais desempenham um papel importante na adoção de ecoinovações (KESIDOU; DEMIREL, 2012).

É válido ressaltar que o uso de políticas de ciência e tecnologia para atingir metas ambientais constitui um novo foco para as políticas de tecnologia, fato destacado no Plano de Ação para Tecnologias Ambientais (ETAP) da União Europeia, com base na Estratégia de Lisboa. A necessidade de integrar políticas ambientais em outros campos de política também foi reconhecida na União Europeia. Uma vez que as políticas ambientais e políticas de tecnologia frequentemente interagem, afetando o desenvolvimento e surgimento de inovações tecnológicas ambientalmente mais sólidas, proporcionam sinergias na forma destas inovações, mas os dois domínios políticos podem também criar casos de conflito de objetivos. A política ambiental inerentemente visa reduzir os impactos ambientais e conservar os recursos naturais. O objetivo fundamental da política nacional de tecnologia é buscar vantagens competitivas para o país em questão e aumentar crescimento da produtividade (KIVIMAA; MICKWITZ, 2006).

### **3. Diferenças entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento de acordo com as inovações ambientais**

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 desencarnadas (patentes estrangeiras registradas em países em desenvolvimento) foram substanciais. Muitas vezes os países em desenvolvimento, especialmente no

leste da Ásia, optaram por obter tecnologias incorporadas em equipamentos de combate à poluição, isto é, inovação na redução da poluição end of pipe (fim do tubo) (LANJOUW; MODY, 1996).

Os países que possuem sistemas de patentes 'utilitárias' (Coréia e México) também 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 CCS desempenham um papel importante ao reduzir a diferença de emissão de CO<sub>2</sub>. 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, 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).

Há, 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 adições de capacidade, em investimentos reais, particularmente em energia eólica, 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 promete tanto oportunidades de investimento associadas quanto empreendedores para encontrá-las. Essas propostas de redes supranacionais de energia renovável representam uma mudança para o livre comércio internacional de energia renovável - um enorme avanço (MATHEWS, 2013). Segundo (Porter, 1991), a prosperidade de um país é criada - não herdada de recursos naturais - e, portanto, depende da capacidade de inovação e 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; LINDE. 1995) demonstraram que os padrões ambientais adequadamente projetados podem desencadear inovações que podem compensar em parte ou mais do que totalmente os custos de seu cumprimento (RAYNOLDS; BRAMLEY; BOUSTIE, 2002).

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 para reduzir as emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) 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 competitividade, é óbvio que isso depende, pelo menos até certo ponto, do desenho das iniciativas em questão (RAYNOLDS; BRAMLEY; BOUSTIE, 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 a pesquisa, 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, por exemplo, 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).

Por outro lado, para que as estratégias políticas possam ter efeitos diretos produzindo alguns resultados, elas devem ser 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 programas (KIVIMAA; MICKWITZ, 2006). Já a demanda, ou seja, expectativas de aumentos na rotatividade da empresa, é um determinante importante das ecoinovações no caso das empresas alemãs, por exemplo. 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).

## **4. Metodologias e base de dados**

Com o objetivo de investigar a dinâmica e a evolução da capacidade ambiental tecnológica, este artigo utiliza duas metodologias, a saber, a análise de componentes principais e os dados em painel. Sendo assim, esta seção busca apresentar as metodologias e seus objetivos quanto ao alcance da proposta da pesquisa e descrever as bases de dados utilizadas para a construção das variáveis.

### **4.1. Análise de Componentes Principais**

A Análise de Componentes Principais 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. 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. 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. O número de componentes principais é sempre menor ou igual ao número de variáveis originais.

### **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 e de maneira mais natural os efeitos de variáveis ausentes ou não observadas. (e.g., Binder, Hsiao, and Pesaran (2000); Levin and Lin (1993); Pesaran, Shin, e Smith (1999), Phillips e Moon (1999, 2000); Quah (1994)).

Os dados em painel envolvem duas dimensões: 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. (ARELLANO; BOVER e LABEAGER, 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)

Controle do impacto de variáveis omitidas; d) Gera previsões mais precisas para os resultados individuais; e) Simplifica a implementação computacional e inferência estatística.

No presente artigo, foi utilizada a metodologia para dados em painel curto, isto é, o conjunto sem a suposição de diferenças individuais. Ressalta-se que o estimador pooled é similar ao estimador de mínimos quadrados ordinários utilizado na regressão linear múltipla. A aplicação do modelo de dados agrupados de forma a ignorar a natureza do painel é restritiva de várias maneiras. Uma delas é considerar a falta de correlação entre erros correspondentes ao mesmo indivíduo. Devido a estrutura dos dados em painel, é necessário lidar com a heterogeneidade individual.

Quando esses efeitos individuais estão correlacionados com as variáveis explicativas do modelo, o estimador de mínimos quadrados ordinários torna-se inconsistente, porque 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 e 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 os regressores.

### **4.3. Dados em painel com controle de endogeneidade**

O estimador interno é um estimador que, diferentemente do OLS agrupado ou entre estimadores, explora os recursos especiais dos dados em painel. Em um painel curto, ele mede a associação entre desvios específicos das variáveis independentes em relação aos valores médios no tempo e desvios específicos da variável dependente em relação ao valor médio no tempo. O estimador interno é o estimador OLS. Uma característica especial desse estimador é que ele produz estimativas consistentes no modelo de efeitos fixos, enquanto o OLS agrupado e entre os estimadores não. distribuição ou variação com uma variável-chave possa ser informativa. Se  $N$  não for muito grande, uma maneira alternativa e mais simples de calcular o estimador interno é a estimativa da variável fictícia de mínimos quadrados. Ainda outra interpretação do estimador interno é o estimador de covariância.

Uma grande limitação da estimativa interna é que os coeficientes dos regressores invariantes no tempo não são identificados no modelo inside. O estimador de primeiras diferenças também explora os recursos especiais dos dados do painel. Em um painel curto, ele mede a associação entre alterações de um período específicas do indivíduo nos regressores e alterações de um período específicas do indivíduo na variável dependente. O estimador de primeiras diferenças é o estimador OLS. Como o estimador interno, esse estimador gera estimativas consistentes no modelo de efeitos fixos, embora os coeficientes das variáveis invariantes no tempo não sejam identificados.

As características dos dados, em particular o tamanho do painel, influenciam a escolha de um estimador ideal para os modelos de dados do painel. No entanto, quando a dimensão temporal do painel é menor ou igual a 10 observações, e o painel não sofre muito com a falta de dados, devido à ineficiência das estimativas de Anderson-Hsiao, o uso de um estimador de LSDV corrigido é preferido. Vale ressaltar que o uso de variáveis simuladas para estimar efeitos individuais - em um modelo que inclui um valor defasado da variável dependente - resulta em estimativas tendenciosas quando a dimensão temporal do painel ( $T$ ) é pequena. Nickell (1981) deriva uma fórmula para o viés, mostrando que o viés se aproxima de zero quando  $T$  se aproxima do infinito. Uma segunda razão pela qual os painéis macro típicos podem exigir técnicas de estimativa diferentes daquelas usadas em painéis micro é que trabalhos recentes investigando a adequação de estimadores concorrentes geraram resultados conflitantes, exibindo que as características dos dados influenciam o desempenho de um estimador.

Portanto, as características dos dados, em particular o tamanho do painel, influenciam a escolha de um estimador ideal para os modelos de dados do painel. Para um painel com uma dimensão de longo prazo, o estimador Anderson-Hsiao computacionalmente simples tem bom desempenho. No entanto, quando a dimensão temporal do painel é menor ou igual a 10 observações, e o painel não sofre muito com a falta de dados, devido à ineficiência das estimativas de Anderson-Hsiao, o uso de um estimador de LSDV corrigido é desejável.

#### 4.4. Base de Dados

Antes da descrição das variáveis utilizadas nas duas metodologias, foram calculadas estatísticas descritivas de todas as variáveis, assim como a matriz de correlação. Os resultados encontram-se nos Anexos 1 e 2, respectivamente. A matriz de correlação contribui para verificar se há algum caso de autocorrelação entre as variáveis usadas na Análise de Componentes Principais (ACP). No artigo utilizou-se a base secundária de dados da OECD, de acordo com a abrangência de países e tecnologias relacionadas ao meio ambiente e à tecnologia. Ao todo, foram coletados 40 países (desenvolvidos e em desenvolvimento), para um período de 6 anos (1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015). Foi constatada a presença de um painel mais balanceado no ano de 2015, devido a existência de informações referentes a todos os países, tendo sido esse, portanto, o ano de maior relevância.

Para a realização das estimações, foram utilizadas variáveis pautadas nas dimensões de infraestrutura tecnológica, científica e socioeconômica, são elas:

- i) Tecnologia Ambiental (desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao meio-ambiente (% invenções) (OECD);
- ii) Produção Científica: Artigos científicos e técnicos (%) (Banco Mundial);
- iii) Emissões: Emissões de CO<sub>2</sub> (toneladas métricas per capita) (Banco Mundial);
- iv) Expectativa de vida ao nascer (média anos) (Banco Mundial);
- v) Saneamento: Pessoas que utilizam pelo menos serviços de saneamento básico (% da população) (Banco Mundial);
- vi) Água potável: Pessoas que utilizam pelo menos serviços básicos de água potável (% da população) (Banco Mundial);
- vii) Densidade populacional (pessoas por km<sup>2</sup> de área terrestre) (Banco Mundial);
- viii) PIB per capita: Crescimento do PIB per capita (anual %) (Banco Mundial);

É importante ressaltar que a motivação para o uso da variável emissões permitiu captar o efeito que as emissões possuem em um país mais poluidor, tendo sido verificado, posteriormente se aquele determinado país possuía algum tipo de incentivo para realizar um esforço no desenvolvimento de tecnologias ambientais. Outras variáveis foram úteis para explicitar a dimensão da infraestrutura socioeconômica, sendo elas: expectativa de vida ao nascer, saneamento e água potáveis. Ao utilizar a variável “densidade populacional”, verificou-se se ela estaria condizente com a literatura sobre inovação ambiental, isto é, buscou-se indagar se países mais populosos poluiriam mais e desenvolveriam, por conseguinte, mais tecnologias ambientais. Por fim, no presente estudo, o PIB per capita foi utilizado como uma proxy para o desenvolvimento econômico.

#### 5. Resultados

Como forma de caracterizar e comparar a evolução dos 40 países por intermédio das oito variáveis escolhidas originalmente (vetor aleatório original), serão apresentados em primeiro lugar, os resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) para o ano de 1990. O Quadro 1 reúne os resultados obtidos da ACP com base nas variâncias percentuais individuais e acumulada.



Quadro 1- 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.

O componente 1 é 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 configurações, observa-se no Quadro 2 que o componente 1 caracteriza países com peso elevado em emissões, alta expectativa de vida e boa infraestrutura em saneamento e água potável. Tais resultados são pertinentes devido a 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 neste 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).

Quadro 2- Caracterização dos três componentes principais (1990)

| País             | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Argentina        | -1.034351    | -.2487052    | -1.237098    |
| África de Sul    | -3.332525    | .9125923     | .033234      |
| Alemanha         | 1.921067     | 1.801984     | .5102628     |
| Austrália        | 1.42766      | -.3926399    | -.3236831    |
| Áustria          | .7306564     | -.6772912    | -.1518361    |
| Bélgica          | .9793237     | -.7561709    | .0123458     |
| Brasil           | -2.370473    | .3176614     | -1.026674    |
| Bulgária         | -.5229743    | -.3246996    | -1.725409    |
| Canadá           | 1.396398     | -.0926139    | -.8458932    |
| China            | -3.203624    | 1.422586     | .7854256     |
| Coreia           | .2730777     | -.6968927    | 1.164996     |
| Cuba             | -1.004215    | -.2669355    | -1.161335    |
| Dinamarca        | .690721      | -.675652     | -.4291998    |
| Espanha          | .7423655     | -.6071578    | -.2447261    |
| Estados Unidos   | 3.479418     | 5.422677     | .1753365     |
| Finlândia        | .6888483     | -.5883005    | -.6926317    |
| França           | .9926561     | .1962813     | -.3063689    |
| Grécia           | .517223      | -.7209883    | -.984506     |
| Holanda          | 1.135751     | -.6016564    | .2370236     |
| Índia            | -5.901452    | 1.827339     | 1.899555     |
| Irlanda          | .2666271     | -.6695542    | .8408422     |
| Israel           | .8492457     | -.8311065    | -.0086871    |
| Itália           | .9555174     | -.2261243    | -.3429964    |
| Japão            | 2.697898     | 3.182062     | .6819794     |
| Luxemburgo       | 1.899266     | -.7230932    | .5219972     |
| Malásia          | -.4259448    | -.688008     | .3360727     |
| México           | -1.802073    | .0994769     | .3429439     |
| Moldávia         | -3.064019    | .4080561     | .0684892     |
| Noruega          | .6267168     | -.7559013    | -.5977623    |
| Polónia          | -.3733376    | -.215721     | -.3056293    |
| Portugal         | .05139       | -.7742993    | -.0246374    |
| Reino Unido      | 1.234222     | .5879955     | -.3924864    |
| República Tcheca | .5936627     | -.7198466    | .5991502     |
| Romenia          | -.6342476    | -.4451214    | .7662708     |
| Rússia           | -1.646395    | .2582571     | -1.060736    |
| Singapura        | 1.848434     | -2.058014    | 4.660334     |
| Suécia           | .699654      | -.5734013    | -.9191993    |
| Suíça            | .820496      | -.6415522    | -.3248592    |
| Turquia          | -1.693528    | -.1757968    | 1.017729     |
| Ucrânia          | -.5091352    | -.2897252    | -1.547633    |

Fonte: Elaboração própria.

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.

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.

Em relação ao ano de 2015, o componente 1 é representado por 36% da variabilidade total dos dados. 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.

Quadro 3- 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.

Com relação ao Quadro 4, 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 com o 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 e, 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 direciona a inovação para o objetivo da sustentabilidade ambiental, são necessariamente, os objetivos públicos, apesar do setor privado garantir os ajustes necessários às mudanças nesse direcionamento (FREEMAN; SOETE, 2008).

Quadro 4 - Caracterização do três componentes principais (2015)

| País             | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Argentina        | -.5215397    | -.7802174    | -.1163472    |
| África de Sul    | -4.042569    | .6763371     | -1.177368    |
| Alemanha         | 1.262958     | 1.225978     | -.2717408    |
| Austrália        | 1.645349     | .1210173     | -.4708577    |
| Áustria          | .7657413     | -.7828103    | -.374951     |
| Bélgica          | .8472543     | -.6787989    | -.1130664    |
| Brasil           | -1.469701    | -.403159     | -1.229854    |
| Bulgária         | -1.045554    | -.5662442    | .4005088     |
| Canadá           | 1.477364     | .3275784     | -.6573345    |
| China            | -1.839487    | 3.969953     | 1.017824     |
| Coreia           | 1.605722     | 1.004534     | -.0757502    |
| Cuba             | -1.157725    | -.6138711    | .5978216     |
| Dinamarca        | .5973594     | -.8115869    | .0034034     |
| Espanha          | .7536378     | -.6072248    | .6429675     |
| Estados Unidos   | 2.291847     | 5.843663     | -.3423523    |
| Finlândia        | .8986054     | -.6920837    | -.3623099    |
| França           | .7683278     | -.1329637    | -.0283784    |
| Grécia           | .5895565     | -.9196497    | -.2756402    |
| Holanda          | .9867853     | -.3677435    | -.1018399    |
| Índia            | -5.178717    | 1.210518     | 1.207452     |
| Irlanda          | -.2612487    | -.2934246    | 4.750557     |
| Israel           | .9672402     | -.7866826    | -.2825801    |
| Itália           | .6648042     | -.3430489    | .0002155     |
| Japão            | 1.913722     | 2.394198     | -.1484203    |
| Luxemburgo       | 1.619676     | -.158426     | -.297308     |
| Malásia          | -.3890437    | -.3316346    | .0556313     |
| México           | -1.108895    | -.6326202    | .0001159     |
| Moldávia         | -4.265053    | .0448527     | -.5129549    |
| Noruega          | .9525446     | -.671011     | -.1606276    |
| Polónia          | .0763717     | -.419011     | .2879617     |
| Portugal         | .4378116     | -1.010682    | .2199133     |
| Reino Unido      | .7995434     | .1200843     | .0170865     |
| República Tcheca | .5638642     | -.53664      | .5104468     |
| Romenia          | -1.248835    | -.7054501    | .6425403     |
| Rússia           | -1.058302    | .4051823     | -1.451264    |
| Singapura        | 1.930646     | -1.252961    | .0438733     |
| Suécia           | .6167083     | -.8496785    | .4951217     |
| Suíça            | .7288054     | -.9708178    | -.1140473    |
| Turquia          | -.3492633    | -.6051577    | .4499577     |
| Ucrânia          | -1.826315    | -.4202968    | -2.778405    |

Fonte: Elaboração própria.

Nesse sentido, pode-se destacar que entre as décadas de 1970 e 1980, verificou-se uma crescente preocupação com danos ambientais, provocando uma quantidade substancial de inovações a nível global. Nos Estados Unidos, Japão e 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, potencializado 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 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).

A expansão da indústria “verde” e as vantagens da transição para um sistema energético sustentável, desempenham um papel importante ao reduzir os níveis de emissões de CO<sub>2</sub>. Países como Canadá, Reino Unido, EUA, Cazaquistão, Áustria e França podem ser 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).

Existem, por exemplo, dados sobre investimentos e criação de novas capacidades direcionados para as opções de energia verde e renovável. 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 partir da análise de componentes principais, observou-se que as configurações entre os países foram distintas entre os dois anos (1990 e 2015). Ademais, paralelamente ao resultado estático verificado pela ACP, estimou-se o modelo de dados em painel com o objetivo de investigar a dimensão temporal entre os anos de 1990 e 2015.

Em primeiro lugar, realizou-se uma análise com o método pooled, diferenciando efeitos fixos e efeitos aleatórios. O teste de Hausman apontou que os efeitos aleatórios seriam os mais indicados, isto é, não rejeitou a hipótese nula de que os efeitos aleatórios seriam consistentes. Para o controle dos problemas referente 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). Conforme Gujarati (2011), o papel do MQ2E é substituir a variável explicativa endógena por uma combinação linear das variáveis predeterminadas do modelo e utilizá-la no lugar da variável endógena original essa combinação como a 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 este 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 validade dos instrumentos.

Vale ressaltar que a variável endógena foi “emissões”, e seus instrumentos foram: expectativa de vida, saneamento, desenvolvimento populacional, PIB per capita e água potável. Não obstante, a motivação para o uso de Variáveis Instrumentais advém do problema causado por variáveis omitidas em um Modelo de Regressão Simples. Quando confrontados com a perspectiva de vies de variáveis omitidas (ou heterogeneidade não observada), é possível ignorar o problema e sofrer as consequências de estimadores tendenciosos e inconsistentes. Assim, é adequado encontrar e usar uma variável proxy apropriada para a variável não observada. Do mesmo modo, é possível assumir que a variável omitida não muda ao longo do tempo e usa os efeitos fixos ou os métodos de primeira diferenciação. A ideia sobre usar o método das variáveis instrumentais consiste em deixar a variável não observada no termo do erro, mas, em vez de estimar o modelo pelo método OLS, utiliza-se um método de estimativa que reconhece a presença da variável omitida. Assim, esse método 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 as emissões e a produção científica - para explicar a produção de tecnologias ambientais. Ressalta-se que a estimação foi realizada a partir do método das variáveis instrumentais, pelos mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro (EC2SLS). Dessa maneira, com o objetivo minimizar o problema da endogeneidade, optou-se por instrumentalizar a variável emissões, uma vez que apresentou-se como uma variável

endógena. Não obstante, o conjunto de instrumentos foi composto por variáveis de caráter sociodemográfico. Por sua vez, o teste de Sargan indicou a validade dos instrumentos tendo sido significativo a 5%, sinalizando que o conjunto de instrumentos utilizados é consistente. Os resultados podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados das estimações

| Tec Amb.         | Pooled       | EF           | EA           | EC2SLS       |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Emissões         | 0.1412745*** | 0.1534004*** | 0.164393***  | 0.4000478*** |
| Prod. Científica | 0.0000587 ** | 0.0000149*** | 0.0000182*** | 0.0000156*** |
| R2               | 0,48         |              |              |              |

Teste de Hausman: 0.34 (0.5574)

Variável Instrumentalizada: Emissões

Variáveis Instrumentais: Expec.; Sanea.; Depop; Pibper; Aguapo

Teste de Sargan: 17.813 (0.0582)\*\*

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

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com os resultados, 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 CO2 referem-se aos níveis correntes de atividade econômica, isto é, elas mensuram também os danos da atividade econômica a saúde humana e/ou meio ambiente. Além disso, a significância para o gás de efeito estufa pode estar atribuído ao fato dele estar mais relacionado ao problema da mudança climática. Apesar da estabilização e radical 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 (BARRETT, 2009).

Outro ponto importante quanto ao uso deste 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 CO2 também são afetados por uma rigorosa e eficaz regulamentação ambiental, sendo portanto, estimulados a desenvolverem as tecnologias ambientais (CRESPI, 2013). Desse modo, 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 CO2.

Quanto a 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 SNIs. Nesse sentido, a partir de diversos estágios dos Sistemas Nacionais de Inovação e de suas diferentes dimensões (científica, econômica, ambiental) é possível observar que a inovação ambiental não deve ser analisada 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 (HAŠČIĆ 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. Outrossim, é sabido 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 organismos governamentais estipulam ações recíprocas que geram a capacidade de desenvolvimento de condições de inovação. Para que seja estabelecido um ambiente propício ao desenvolvimento das inovações ambientais, é necessário que os países criem e promovam uma infraestrutura adequada, visando o aperfeiçoamento de tecnologias existentes e instigando o desenvolvimento de novas. A inovação requer um rearranjo cultural, institucional e organizacional que discuta as condições de armazenamento de materiais, intercâmbios de componentes e gestão de sistemas integrados de informação em padrões complexos, mas, ao mesmo tempo, transparentes, colegiados.

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. Tudo indica que tais assimetrias estejam atreladas a um Sistema Nacional de Inovação mais ou menos maduro. 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 economias como Japão e Alemanha.

Contudo, a geração de conhecimento tecnológico depende da construção de uma rede de atores, como: universidades, governo, centros de pesquisa, além do engajamento de outras empresas. Isto é, os esforços ao encontro de tecnologias mais limpas e sustentáveis envolvem amplos fatores, de difícil mensurabilidade.

No presente estudo, a Análise de Componentes Principais mostrou que houve diferenças nas caracterizações entre países como Alemanha e Japão. Com as estimações realizadas com a metodologia de dados em painel, visualizou-se que foram realizados esforços tecnológicos ambientais em países como o Brasil, Estados Unidos, China, Índia e Japão. Não obstante, também foi constatado que a produção tecnológica ambiental esteve acompanhada de constantes emissões de gases poluentes.

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 de resolver as questões ambientais referentes aos países estudados.

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. Contudo, as questões são amplamente complexas e precisam ser melhor dialogadas tanto entre os setores envolvidos, quanto pela maior participação da sociedade nesse processo. No tocante, 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.

Por fim, o objetivo deste artigo foi evidenciar que a construção de um parâmetro ideal e a viabilização de novos projetos - cujos modelos ambientais sejam levados à risca - exige que se leve em consideração importantes pormenores de questões complexas.. Em especial, aquelas que são tratadas como objetivos ambientais que requerem mudanças significativas nas tecnologias sistêmicas e interligadas entre distintos setores. As mudanças, nesse caso, devem ser pensadas não somente sob um ponto de vista específico, de um problema pontual, mas como um investimento lento, gradual e de longo prazo, beneficiando a adoção de melhores estratégias em prol do desenvolvimento de tecnologias limpas.

## Dynamics and evolution of the environmental technological capacity of developed and developing countries (1990-2015)

**Abstract:** The literature on national innovation systems highlights that investments in environmental innovation are influenced by the magnitude of the multidimensional characteristics of each nation. In order to build the possible bases for environmental technological development, countries need to advance on several issues related to scientific, technological, educational and health infrastructure. Thus, the article aims to investigate the evolution of different characterizations between developed and developing countries, in the period between 1990 and 2015. For this purpose, the applied methodology addresses the Principal Component Analysis (PCA) and a regression model with panel data. The database consists of the use of information from the World Bank and the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). The results revealed that scientific characteristics and gas emissions were determining factors for the countries' innovative environmental performance over the years.

**Keywords:** Environmental Innovation; Developed countries; Developing countries; Principal component analysis; Panel Data Analysis.



## Referências bibliográficas

- ALONSO-BORREGO, C.; ARELLANO, M. **Symmetrically Normalized Instrumental-Variable Estimation Using Panel Data**. v. 17, n. 1, p. 36–49, 1999.
- ANDRADE, T. DE. Inovação tecnológica e meio ambiente: a construção de novos enfoques. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 1, p. 89–105, 2004.
- ARELLANO, M.; BOVER, O.; LABEAGA, J. M. **Autoregressive Models with Sample Selectivity for Panel Data**. in Analysis of Panels and Limited Dependent Variable. Models, edited by C. Hsiao, K. Lahiri, L.F. Lee and M.H. Pesaran, pp. 23–48. Cambridge: Cambridge University Press.1999.
- BARRETT, S. **Rethinking Global Climate Change Governance**. v. 3, p. 0–13, 2009.
- BITENCOURT, D. V.; SILVA, J. C.; SANTOS, L. C. P. INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE: NOVOS MODELOS E PROPOSIÇÕES. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**, v. 3, n. 1, p. 43, 2018.
- BINDER, M., C. HSIAO, AND M.H. PESARAN. Estimation and Inference in Short Panel Vector Autoregression with Unit Roots and Cointegration. **Mimeo, Cambridge University**. 2000.
- CRESPI, F. Environmental Policy and Induced Technological Change in European Industries. In: V. CONSTANTINI, M. MAZZANTI. **The Dynamics of Environmental and Economic Systems: Innovation, Environmental Policy and Competitiveness**. Springer: Dordrecht, 2013. cap. 8, p.143-157.
- DECHEZLEPRÊTRE, A. et al. Invention and Transfer of Climate Change – **Mitigation Technologies : A Global Analysis**. 2011.
- FREEMAN, C. **The Greening of Technology and Models of Innovation**. v. 39, p. 27–39, 1996.
- GOMES, G. N.; CORAZZA, R. I. TECHNOLOGICAL KNOWLEDGE PRODUCTION TOWARDS CLIMATE CHANGE MITIGATION. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.
- GRASSI, R. A. Concorrência Schumpeteriana e capacitações dinâmicas: explicitando os elos teóricos. **Revista Brasileira de Economia de Empresas**, v. 5, n. 1, p. 29–46, 2005.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- HAŠČIČ, I. et al. **Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results**. n. 30, p. 0–64, 2010.
- HSIAO, C. **Analysis of Panel Data**. Cambridge University Press. Third Edition. 2014.
- JABBOUR, C. J. C. Tecnologias ambientais: Em busca de um significado. **Revista de Administracao Publica**, v. 44, n. 3, p. 591–611, 2010.
- KESIDOU, E.; DEMIREL, P. On the drivers of eco-innovations: Empirical evidence from the UK. **Research Policy**, v. 41, n. 5, p. 862–870, 2012.
- KIVIMAA, P.; MICKWITZ, P. The challenge of greening technologies-Environmental policy integration in Finnish technology policies. **Research Policy**, v. 35, n. 5, p. 729–744, 2006.
- KOELLER, P. et al. **Ecoinovação: revisitando o conceito**. 2019
- LANJOUW, J. O.; MODY, A. **Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology**. v. 25, p. 549–571, 1996.
- LEVIN, A.; LIN, C. **Unit root tests in panel data :asymptotic and ÿnite-sample properties**. v. 108, p. 1–24, 1993.
- MATHEWS, J. A. The renewable energies technology surge: A new techno-economic paradigm in the making? **Futures**, v. 46, n. 2013, p. 10–22, 2013.

NICKELL, S. **Biases in Dynamic Models with Fixed Effects**. p. 1417–26, 1981.

OSCAR, T. Panel data analysis fixed and random effects using Stata. **Data and Statistical Services**, v. 3, n. December, p. 1–40, 2010.

PEREZ, C. A green and socially equitable direction for the ICT paradigm. **Globelics Working Paper Series**, n. 2014– 01, 2014.

PESARAN, M.H., Y. SHIN, AND R.J. SMITH. Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. **Journal of the American Statistical Association**, 94, 621–634. 1999.

PHILLIPS, P.C.B., AND H.R. MOON. Linear Regression Limit Theory for Nonstationary Panel Data. **Econometrica**, 67, 1057–1111. 1999.

PHILLIPS, P.C.B., AND H.R. MOON. Nonstationary Panel Data Analysis: An Overview of Some Recent Developments. **Econometrics Review**, 19, 263–286. 2000.

PINSKY, V. C. et al. Inovação Sustentável: Uma Perspectiva Comparada Da Literatura Internacional E Nacional. **Review of Administration and Innovation - RAI**, v. 12, n. 3, p. 226, 2015.

PORTER, M. E., America's green strategy. **Scientific American**. v. 264, n.4, 1991.

PORTER, M. E.; LINDE, C. VAN DER. **Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship**. v. 9, n. 4, p. 97–118, 1995.

QUAH, D. Exploiting Cross-Section Variations for Unit Root Inference in Dynamic Data. **Economic Letters**, 44, 9–19. 1994.

RAYNOLDS, M.; BRAMLEY, M.; BOUSTIE, S. Competitiveness and Greenhouse Gas Reduction Policies A Canadian **NGO Perspective**. n. November, 2002.

SCHOT, J.; GEELS, F. W. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: Theory, findings, research agenda, and policy. **Technology Analysis and Strategic Management**, v. 20, n. 5, p. 537–554, 2008.

Phillips e Moon (1999, 2000);

## Anexos

### Anexo 1- Estatística descritiva das variáveis

| 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.

### Anexo 2 – Matriz de correlação

| Variáveis        | Tec.<br>ambiental | Prod.<br>Científica | Emissões | Expec   | Sanea   | Depop  | Aguapo  | Pibper |
|------------------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|--------|---------|--------|
| Tec. ambiental   | 1                 |                     |          |         |         |        |         |        |
| Prod. 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.