

EcoInovação e Risco Ambiental nas Empresas: Uma Análise sobre o Índice Trucost (2016-2018)

Paulo Vitor Levate¹;
Rosa Livia Gonçalves Montenegro²;
Eduardo Gonçalves³;
Leonardo Costa Ribeiro⁴;
Juliana Gonçalves Taveira⁵

Resumo: Os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento tecnológico têm sido amplamente discutidos na literatura internacional desde a década de 1990, impulsionados por marcos como a Rio-92 e o Protocolo de Kyoto. Nesse contexto, as inovações ambientais — ou ecoinovações — vêm se consolidando como estratégias capazes de gerar benefícios ambientais para empresas e consumidores, ao reduzir o consumo energético, as emissões de carbono e a geração de resíduos. Este artigo analisa como as características organizacionais influenciam o comportamento empresarial frente à ecoinovação e sua efetividade na mitigação do impacto ambiental, mensurado pelo índice de risco ambiental Trucost, no triênio 2016–2018. Utiliza-se o Método Generalizado dos Momentos (GMM) para estimar modelos econométricos que relacionam os determinantes ambientais e tecnológicos ao desempenho das empresas. Os resultados indicam que a ecoinovação e o grau de internacionalização empresarial exercem influência significativa na redução do índice Trucost. Além disso, o tamanho da firma afeta a relação entre ecoinovação e risco ambiental. Conclui-se que estratégias de ecoinovação, articuladas a práticas tecnológicas e à inserção internacional, contribuem para mitigar os impactos ambientais corporativos, reforçando o papel das empresas na transição para uma economia sustentável.

Palavras-chave: Ecoinovação; Desempenho Ambiental Empresarial; Índice Trucost; GMM.

Abstract: The environmental impacts of technological development have been widely discussed in the international literature since the 1990s, driven by milestones such as Rio-92 and the Kyoto Protocol. In this context, environmental innovations—or eco-innovations—have been consolidating as strategies capable of generating environmental benefits for companies and consumers by reducing energy consumption, carbon emissions, and waste generation. This article analyzes how organizational characteristics influence corporate behavior toward eco-innovation and its effectiveness in mitigating environmental impact, measured by the Trucost environmental risk index, for the 2016–2018 triennium. The Generalized Method of Moments (GMM) estimates econometric models that relate environmental and technological determinants to corporate performance. The results indicate that eco-innovation and the degree of corporate internationalization significantly influence the reduction of the Trucost index. Furthermore, firm size affects the relationship between eco-innovation and environmental risk. It is concluded that eco-innovation strategies, combined with technological practices and international integration, contribute to mitigating corporate environmental impacts, reinforcing the role of companies in the transition to a sustainable economy.

Keywords: Eco-innovation; Corporate Environmental Performance; Trucost Index; Generalized; GMM.

Código JEL: O3; O31; O33

Área Temática: Área 10 - Empreendedorismo, redes, arranjos produtivos e inovação

¹ Doutor em Economia pelo Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail: paulo.levate@estudante.ufjf.br

² Professora do PPGE/UFJF. E-mail: rosa.livia@ufjf.br

³ Professor do PPGE/UFJF. E-mail: eduardo.goncalves@ufjf.br

⁴ Professor do Cedeplar/UFMG. E-mail: leonardocostaribeiro@gmail.com

⁵ Professora da UFJF-GV. E-mail: julianagtaveira@gmail.com

1. Introdução

As corporações globais são responsáveis por uma parcela significativa das emissões de poluentes e gases de efeito estufa. Segundo estudo de Christensen et al. (2021), os danos ambientais causados por essas emissões poderiam consumir até 44% dos lucros das empresas, caso fossem obrigadas a arcar com os custos ambientais gerados. O mesmo estudo revela que cerca de 90% desses danos estão concentrados em quatro setores: energia, serviços públicos, transporte e fabricação de materiais como o aço. De forma complementar, o relatório da Carbon Majors Database aponta que 80% das emissões derivadas da queima de combustíveis fósseis desde a assinatura do Acordo de Paris concentram-se em apenas 57 grandes empresas. Esse crescimento é particularmente visível na Ásia, impulsionado pela expansão da produção de carvão (Influence Map, 2024). Nesse cenário, o conceito deecoinovação ganha destaque, distinguindo-se da inovação tradicional por duas características centrais (OECD, 2010): a redução do impacto ambiental — intencional ou não — e a capacidade de extrapolar fronteiras organizacionais, interagindo com normas socioculturais e estruturas institucionais (Hrabytsky et al., 2017). Assim, o desenvolvimento e a adoção de tecnologias verdes são considerados fundamentais para reduzir as emissões sem comprometer o crescimento econômico (Noailly; Smeets, 2022).

Diversos estudos têm destacado os avanços em pesquisa, desenvolvimento e inovação ambiental (Cecere et al., 2017; Fabrizi et al., 2018; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2018; Chaparro-Banegas et al., 2023). As empresas, nesse contexto, têm investido em ecoinovação como estratégia para mitigar os impactos ambientais de suas operações, contribuindo para uma trajetória de desenvolvimento sustentável (Dogaru, 2020; Yurdakul; Kazan, 2020; Sumrin et al., 2021).

Um dos instrumentos utilizados para mensurar o risco ambiental corporativo é o índice Trucost (Faria; Andersen, 2016; Lin et al., 2019; Sohn et al., 2020; Fang-Klingler et al., 2022). Esse índice considera múltiplos fatores de impacto, como emissões atmosféricas, resíduos, uso de água e recursos naturais (S&P, 2020), e expressa os danos ambientais em termos monetários, padronizando os valores pela receita da empresa (Walls; Berrone, 2017).

Diante disso, este artigo investiga a relação entre características organizacionais e a mitigação do risco ambiental corporativo, com ênfase no papel da ecoinovação no triênio 2016–2018. Para isso, estima-se um modelo econométrico com o uso do Método Generalizado dos Momentos (GMM), que permite controlar a endogeneidade por meio de defasagens instrumentais. Utiliza-se como fonte empírica os dados da Orbis e da PATSTAT, cuja integração possibilita a identificação precisa de empresas e a vinculação com informações de balanço patrimonial e patentes (Auci et al., 2021; Aiello et al., 2021).

Embora haja avanços na literatura sobre inovação ambiental, observa-se uma lacuna teórico-empírica: são raros os estudos que utilizam o índice Trucost como variável dependente em análises econométricas amplas e comparativas. As pesquisas existentes tendem a se restringir a setores ou regiões específicas, limitando a generalização dos resultados (Albino et al., 2012; Walls; Berrone, 2017; Ahmadova et al., 2021). Essa limitação configura uma lacuna teórico-empírica: compreender, sob abordagem comparativa e estatisticamente robusta, os fatores organizacionais e tecnológicos que influenciam a redução do risco ambiental empresarial.

Este artigo propõe-se a preencher essa lacuna ao investigar, com base em uma amostra internacional e setorialmente diversificada, os determinantes da pontuação de risco ambiental das empresas. A análise revela que tanto o patenteamento verde quanto o grau de internacionalização têm efeito significativo na redução do índice Trucost. Além disso, o tamanho da empresa modera a relação entre patentes verdes e risco ambiental, ampliando a compreensão sobre os mecanismos organizacionais envolvidos na ecoinovação.

O artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a revisão da literatura sobre ecoinovação; a seção 3 detalha os procedimentos metodológicos e as bases de dados; a seção 4 discute os resultados obtidos; e a seção 5 traz as considerações finais.

2. Revisão de Literatura

Desde a década de 1970, observa-se uma crescente preocupação com as implicações negativas associadas à relação entre crescimento econômico e aumento da poluição industrial sobre o meio ambiente. Embora a inovação desempenhe papel central na promoção do crescimento econômico e do progresso

social, as recentes emergências ambientais têm ampliado o escopo de atenção para além do desempenho econômico, envolvendo um número crescente de setores industriais (Llorca-Ponce et al., 2021; Chen et al., 2021; Sperotto; Tartaruga, 2021). Nesse contexto, a relevância da inovação ambiental reside não apenas em sua capacidade de impulsionar o desempenho competitivo, mas também na sua contribuição para a melhoria das condições de vida, bem como para o atendimento de demandas sociais e ambientais mais amplas, elementos essenciais para o estímulo e consolidação daecoinovação (Long et al., 2020).

Por sua vez, as ecoinovações têm sido consideradas importantes drivers de competitividade das empresas (Lopes et al., 2022; Mady et al., 2022; Passaro et al., 2023). Trata-se, portanto, de um processo que exige coordenação sistêmica, aprendizado organizacional e articulação entre múltiplos atores, aspectos importantes para o funcionamento eficaz de um Sistema de Inovação (SI) ambientalmente orientado (Arranz et al., 2019).

2.1 As Atividades de P&D e as Patentes Verdes Como Elementos-Chave para a Transição Tecnológica Ambiental

A literatura aponta as atividades de P&D como um determinante notório no desenvolvimento de ecoinovações (Costa-Campi et al., 2017; Ullah; Nasim, 2021; H'aggmark; Elofsson, 2022; Lopes et al., 2022). De maneira geral, esses autores verificaram que os incentivos diretos à inovação, como os subsídios, exercem um impacto mais expressivo sobre os investimentos empresariais em P&D do que os instrumentos regulatórios.

A literatura majoritária, dessa forma, reafirma o papel essencial da P&D para a construção de capacidades tecnológicas internas, imprescindíveis tanto para o desenvolvimento de inovações quanto para a absorção eficiente de conhecimentos provenientes de fontes externas. Destaca-se, nesse sentido, a importância não apenas dos investimentos genéricos em P&D (Ghissetti et al., 2015; Horbach, 2016; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2018), mas também daqueles direcionados especificamente ao desenvolvimento de tecnologias ambientais (Lee; Min, 2015; Costa-Campi et al., 2017), os quais se mostram fortemente correlacionados à capacidade de introduzir e consolidar práticas de ecoinovação.

Nesse contexto, empresas que realizam maiores despesas em P&D interno tendem a apresentar maior probabilidade de desenvolver ecoinovações (Horbach, 2016; Hojnik; Ruzzier, 2016; Muscio et al., 2017; Rodríguez-Rebés et al., 2021). Esses resultados sugerem que o conhecimento tecnológico acumulado internamente, aliado ao acesso e à integração de conhecimento externo, atua de forma isolada ou sinérgica para promover a inovação ambiental. Como destacado por diversos autores (Del Río et al., 2016; Marzucchi; Montresor, 2017; Arfi et al., 2018; Chistov et al., 2023), essa combinação cruzada de fontes de conhecimento permite às empresas lidar com a natureza multidimensional e sistêmica das ecoinovações, ampliando sua capacidade de resposta a desafios ambientais complexos.

As atividades de P&D, portanto, consistem no passo inicial que visa a obtenção de novas tecnologias que poderão ser patenteadas posteriormente. As patentes relacionadas a tecnologias verdes têm aumentado ao longo do tempo. O número de patentes verdes foi baixo por cerca de uma década até 1992, depois começou a aumentar, particularmente após 1995. Enquanto o número de patentes verdes representava apenas 10% do número de patentes de tecnologias fósseis registradas anualmente durante toda a década de 1980, essa proporção muda consideravelmente com o passar dos anos e atinge a marca de 60% no ano de 2005 (Aghion et al., 2012). Em termos geográficos, o Japão tem liderado consistentemente o número de patentes verdes desde meados da década de 1980, seguido pelo crescimento acentuado de Coreia do Sul e China, que têm investido fortemente em inovação para redução da poluição (Jovanović et al., 2022).

Ainda assim, destaca-se que a maior parte das patentes verdes permanece concentrada em um pequeno grupo de países industrializados: Alemanha, Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos e China (Ruggi et al., 2017; Urbaniec et al., 2021; Moghadam; Karami, 2024). De fato, os estudos sobre patentes ambientais geralmente focam nesses países, dada sua elevada capacidade de gerar, proteger e comercializar tecnologias verdes em escala global.

É importante destacar que a literatura sobre ecoinovação baseada em dados de patentes (Hašćic; Migotto, 2015; Karvonen et al., 2016; Wang et al., 2019) evidencia uma distinção entre os enfoques adotados por países desenvolvidos e em desenvolvimento. Enquanto os primeiros tendem a enfatizar o potencial de mercado e as oportunidades associadas às tecnologias verdes, os segundos concentram-se mais

nas necessidades práticas de mercado e em soluções adaptativas (Burzyńska et al., 2019; Ullah; Nasim, 2021; Qi; Yang, 2023).

Em síntese, os estudos empíricos destacam o papel estratégico das atividades de P&D e das patentes verdes como indicadores robustos da intensidade daecoinovação, com diversas métricas sendo utilizadas, como o número absoluto de patentes, a razão P&D/PIB e o número de pesquisadores por país ou setor (Fabrizi et al., 2018). Patentes verdes, nesse sentido, não apenas funcionam como proxy objetiva da capacidade inovadora ambiental das empresas, mas também como um instrumento para redução do risco ambiental associado às atividades produtivas (Marín-Vinuesa et al., 2018; Ferreira et al., 2020; Jovanović et al., 2022).

Diante do que foi exposto, propõe-se a seguinte hipótese de pesquisa:

H1: O estoque prévio de patentes verdes da empresa contribui para a redução do risco ambiental, mensurado pelo índice Trucost.

2.2 As Características da Empresa no Fomento à Inovação Ambiental

As empresas que adotam tecnologias verdes buscam conciliar a satisfação das demandas dos clientes com a redução da pegada de carbono, mitigando as emissões de gases de efeito estufa e diminuindo os custos produtivos. Nessa perspectiva, a dimensão ambiental configura-se como um dos pilares da sustentabilidade corporativa, contribuindo não apenas para a preservação ambiental, mas também para a obtenção de desempenho empresarial sustentável, sobretudo em setores intensivos em tecnologia verde (Fernando; Wah, 2017).

As motivações para a adoção de inovações ambientais podem ser categorizadas em fatores internos e externos. Entre os fatores internos, destacam-se o porte da empresa, o setor de atuação, a cultura organizacional, a existência de políticas ambientais corporativas, o nível de conscientização ambiental e as aspirações gerenciais. Já os fatores externos compreendem a política ambiental vigente, o aumento dos custos de insumos e energia, a pressão social por sustentabilidade, o apoio institucional e as relações com clientes e demais stakeholders (Vujatović et al., 2022). Nesse cenário, aecoinovação tem sido amplamente reconhecida como vetor para aprimoramento do desempenho ambiental e da eficiência produtiva, além de facilitar a transição para modelos de negócios sustentáveis. A introdução de inovações ambientais pode contribuir para a redução de custos, o aumento da receita e a criação de vantagens competitivas, impactando positivamente os resultados financeiros das organizações (Rabadán et al., 2019).

A literatura demonstra que características específicas das empresas, como porte, setor e estrutura de governança, exercem influência direta na capacidade de adoção de práticas deecoinovação (Lo-Iacono-Ferreira et al., 2018; Keshminder; Del Río, 2019; Grigorescu et al., 2019; Boutry; Nadel, 2021). Destaca-se, em especial, que fatores internos, tais como disponibilidade de recursos, competências técnicas e capacidades dinâmicas, são os principais impulsionadores da performance inovadora ambiental (Demirel; Danisman, 2019; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2020; Mansour et al., 2024). Empresas de maior porte tendem a apresentar maior probabilidade de aplicar práticas deecoinovação em comparação às menores, em razão da maior disponibilidade de capital financeiro e humano, bem como da maior visibilidade institucional, conforme argumentado por Kammerer (2009). Jové-Llopis e Segarra-Blasco (2018), ao analisarem um painel com mais de três mil empresas industriais espanholas, confirmaram essa tendência, evidenciando que empresas de grande porte são mais propensas a adotar estratégias orientadas para a economia ecológica, integrando sustentabilidade a seus processos inovativos. Assim, com base nas discussões desta seção, formula-se a seguinte hipótese:

H2: O desempenho financeiro da empresa exerce influência significativa na diminuição do seu respectivo índice Trucost.

Além disso, considerando os argumentos anteriores sobre o papel do porte empresarial e das patentes verdes, propõe-se também:

H3: O tamanho da empresa modera a relação entre o estoque de patentes verdes e o índice Trucost, potencializando a redução do risco ambiental.

2.3 O Papel da Internacionalização da Empresa na Difusão da Inovação Ambiental

O crescimento econômico global pode ser impulsionado por transferências internacionais de conhecimento (Romer, 1990). As empresas multinacionais e suas subsidiárias são canais privilegiados para esses fluxos de conhecimento (Demeter; Losonci, 2019; Gaur et al., 2019; Faems et al., 2020). As multinacionais ampliam o bem-estar global ao propiciar que os países anfitriões tenham acesso a recursos relativamente escassos localmente, conforme argumentado por Rodríguez-Clare (1996).

Empresas inseridas em grupos maiores tendem a apresentar maior capacidade inovadora, beneficiando-se dos recursos e conhecimentos da matriz (Gonthier; Chirita, 2019; Hansen et al., 2020; Ghorbani et al., 2023; Amendolagine et al., 2023). Multinacionais e empresas de grande porte têm maior visibilidade e mais recursos para implementar práticas sustentáveis. Embora empresas menores geralmente possuam pegada ambiental reduzida e enfrentem menos pressões externas, sua participação na transição ecológica é relevante, ainda que limitada em termos de capacidade inovadora (Tsukanova, 2022).

Bell (1990) descreve três tipos de fluxos de tecnologia transferíveis entre fornecedores e importadores: bens de capital tangíveis; know-how e habilidades operacionais; e conhecimento e experiência para mudanças tecnológicas mais profundas. Esses fluxos podem ocorrer via Investimento Estrangeiro Direto (IED), quando multinacionais estabelecem subsidiárias em países anfitriões, transferindo tecnologia avançada para esses contextos (Salim et al., 2017; Meyer et al., 2020; Pandey et al., 2021). De forma conceitual, o IED implica vínculos duradouros e controle parcial ou total de empresas por investidores estrangeiros em países anfitriões (Sachs et al., 2022). Tal mecanismo é fundamental não apenas para o crescimento econômico, mas também para a transição a uma economia de baixo carbono, ao financiar projetos inovadores em energias renováveis e práticas produtivas sustentáveis (Amendolagine et al., 2021; Khan et al., 2023).

Estudos evidenciam que o IED tem sido vetor estratégico para a economia verde, especialmente em países emergentes, ao proporcionar acesso a tecnologias avançadas (Xiao et al., 2023; Yue et al., 2016). A internacionalização, assim, é reconhecida como novo *driver* daecoinovação, estimulando as empresas a adquirirem e aplicarem avanços tecnológicos sustentáveis (Galbreath, 2019; Juniati et al., 2019; Tsukanova, 2022). Multinacionais desempenham papel chave na geração e difusão dessas inovações nos países de origem e anfitriões (Contreras et al., 2018; Ebrahim, 2020; Marino; Quatraro, 2023). A literatura empírica corrobora que maiores níveis de internacionalização estão associados à adoção intensificada deecoinovações (Maçaneiro et al., 2019; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2020; Kurniadi; Mohamed, 2021). O IED fomenta a criação de vínculos transnacionais e *spillovers* tecnológicos focados em eficiência ambiental, impulsionando sistemas regionais de inovação verde (Demena; Murshed, 2018; Long et al., 2020; Zamani; Tayebi, 2022).

Embora o impacto preciso do IED sobre proteção ambiental eecoinovação ainda seja tema em debate, formula-se a seguinte hipótese:

H4: A internacionalização da empresa, por meio da presença de filiais ou subsidiárias no exterior, está associada a maior desempenhoecoinovador e a menores pontuações no índice Trucost.

Em síntese, esta seção buscou evidenciar os determinantes externos que podem impulsionar as práticas de inovação ambiental nas empresas, favorecendo, assim, a mitigação dos impactos ecológicos decorrentes de suas atividades produtivas. A seguir, apresenta-se o detalhamento das bases de dados a serem utilizadas, PATSTAT e Orbis, juntamente com os procedimentos metodológicos que nortearão a análise empírica.

3. Metodologia e Base de Dados

A partir do levantamento teórico e empírico apresentado na seção anterior, agora tem-se por objetivo analisar a relação entre empresas e seus respectivos setores de atuação, observando sua influência no processo deecoinovação. A investigação se concentra no comportamento e nos efeitos observados no período de 2016 a 2018, com base nos esforços empreendidos por empresas globais.

3.1 Estratégia Metodológica

Baseando em García-Pozo *et al.* (2016) e Galbreath *et al.* (2021), o presente trabalho propõe analisar o impacto das características empresariais sobre o risco ambiental, medido pelo índice Trucost, por meio do seguinte modelo econométrico:

$$Trucost_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 TecnologiaVerde_{i,t-1} + \beta_2 TecnologiaVerde_{i,t-2} + \beta_3 Lucro_{i,t-1} + \beta_4 Lucro_{i,t-2} + \beta_5 Tamanho_{i,t-1} + \beta_6 Qualidade_{i,t-1} + \beta_7 Internacionalização_{i,t} + \delta_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$Trucost_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 TecnologiaVerde_{i,t-1} + \beta_2 TecnologiaVerde_{i,t-2} + \beta_3 Lucro_{i,t-1} + \beta_4 Lucro_{i,t-2} + \beta_5 Tamanho_{i,t-1} + \beta_6 Qualidade_{i,t-1} + \beta_7 TecnologiaVerde * Tamanho_{i,t-1} + \beta_8 Internacionalização_{i,t} + \delta_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2) \quad (6)$$

Onde:

Trucost_{i,t}: índice de risco ambiental Trucost da empresa *i* no ano *t*;

TecnologiaVerde_{i,t-1}: proxy deecoinovação da empresa *i* no ano *t-1*, com duas variantes:

PatentesVerdes_{i,t-1}: total de patentes verdes depositadas no *EPO (PATSTAT)* pela empresa *i*, no ano *t-1*. A definição dessa categoria de patentes está de acordo com a classificação *IPC Green Inventory* da *WIPO*;

IntVerde_{i,t-1}: intensidade da pesquisa verde, calculado pela razão entre o número de patentes verdes e o respectivo número total de patentes empresa *i*, no ano *t-1*;

Lucro_{i,t-1}: logaritmo do lucro da empresa *i* no ano *t-1*;

Tamanho_{i,t-1}: logaritmo do número de empregados da empresa *i* no ano *t-1*;

Qualidade_{i,t-1}: índice de qualidade das patentes verdes da empresa *i* no ano *t-1*, denotado pela razão entre citações e patentes verdes;

TecnologiaVerde*Tamanho_{i,t-1}: interação que capta efeito moderador do tamanho da empresa *i* sobre aecoinovação;

Internacionalização_{i,t}: variável *dummy* que indica presença de filiais internacionais;

δ_{i,t}: efeitos fixos de tempo e setor;

ε_{i,t}: termo de erro idiossincrático.

Cabe destacar que as variáveis dependentes e independentes principais são logaritimizadas para evitar vieses relacionados à escala.

A estratégia metodológica adotada neste estudo contempla a aplicação do Método Generalizado dos Momentos (GMM). Para mitigar os efeitos da endogeneidade, em especial, a decorrente da simultaneidade utiliza-se o GMM System (Arellano-Bover/Blundell-Bond), conforme Hansen (1982) e Baum *et al.* (2003). Esse método é especialmente indicado em painéis com grande *N* (número de empresas) e pequeno *T* (horizonte temporal), como no caso deste estudo (Roodman, 2006). Dessa forma, o modelo GMM oferece uma técnica de estimativa superior em comparação ao modelo OLS (Ullah *et al.*, 2018). Segundo os autores, como o modelo GMM controla a endogeneidade e inclui valores defasados, além de aplicar o processo de transformação interna, os resultados relatados sob o GMM podem ser significativamente diferentes daqueles relatados na coluna OLS⁶. Ademais, a equação diferenciada do GMM System remove o problema de efeitos fixos. A aplicação da primeira diferença remove o efeito fixo específico do país, porque ele não varia com o tempo. O GMM System tem a vantagem de permitir que outros regressores invariantes no tempo sejam incluídos na equação de nível, como *dummies* de tempo, que são variáveis de controle importantes nos modelos.

Sendo realizada estimação por GMM, faz-se necessário aplicar dois testes de pós-estimativa para determinar se um modelo econométrico apropriado é aplicado. Esses testes são: (i) o teste de Hansen e (ii) o teste de Arellano-Bond para correlação de primeira AR (1) e segunda ordem AR (2). Para verificar se o número de instrumentos é adequado e não produz sobredentificação do modelo, o teste de Hansen é

⁶ Foram realizadas estimações pooled e de efeitos fixos e aleatórios, mas em decorrente da endogeneidade presente, não solucionada pelos métodos em questão, opta-se pelo GMM System.

aplicado. O teste de Hansen avalia a validade dos instrumentos utilizados. A hipótese nula (instrumentos válidos) não deve ser rejeitada (p -valor $\geq 0,05$ e $\leq 0,80$), evitando problemas de sobreidentificação (Roodman, 2009). Se a probabilidade de Hansen estiver fora do intervalo entre 0,05 e 0,8, o modelo pode ser sobreidentificado e pode precisar restringir a geração de instrumentos (Labra; Torrecilas, 2018).

O teste Arellano-Bond, por sua vez, supõe, sob a hipótese nula, de que os termos de erro de dois períodos de tempo diferentes não são correlacionados. Em outras palavras, significa que as variáveis defasadas não são correlacionadas com o termo de erro. Quando o teste de Arellano e Bond indica a presença de correlação serial em ambos os níveis, provavelmente estamos diante de um modelo de raiz unitária, o que não é o caso neste estudo. Espera-se que AR(1): significativa ($p < 0,05$) e AR(2): não significativa ($p > 0,05$), o que indica ausência de autocorrelação nos resíduos em segunda ordem (Labra; Torrecilas, 2018).

A aplicação do GMM System é importante para tratar potenciais problemas de endogeneidade, especialmente a simultaneidade entre desempenho ambiental e lucro ou intensidade tecnológica, que poderiam comprometer a validade causal das estimativas. Assim, o modelo permite estimar de forma robusta os determinantes do desempenho ambiental das empresas e capturar o efeito dinâmico das inovações verdes sobre os impactos ambientais delas.

3.2 Dados

As variáveis utilizadas na análise econométrica foram extraídas de duas bases de dados principais: a *PATSTAT* e a *Orbis*. No que se refere às patentes ambientais, os dados contemplam um amplo universo de empresas com registros de patenteamento ambiental depositados no Escritório Europeu de Patentes (EPO). A base *PATSTAT* constitui o mais abrangente banco de dados internacional de patentes disponível à comunidade científica, reunindo aproximadamente 70 milhões de documentos (Glachant; Dechezleprêtre, 2017). Esses documentos são classificados com base no sistema de Classificação Internacional de Patentes (IPC), sendo que as tecnologias verdes analisadas seguem a categorização estabelecida pelo *IPC Green Inventory* da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO). A classificação *IPC Green Inventory* foi desenvolvida por especialistas da Comissão *IPC* com o objetivo de facilitar as buscas por informações de patentes relacionadas a tecnologias ambientais, apresentadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) (Constantini *et al.*, 2013). Uma das grandes vantagens da utilização das patentes depositados no *EPO*, utilizando a classificação do *IPC Green Inventory* refere-se às múltiplas possibilidades de análise dos resultados. Além disso, a estrutura do *IPC Green Inventory* permite segmentar os dados por grupos específicos de tecnologias, viabilizando análises comparativas entre distintos setores empresariais e entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, conforme demonstrado por Johnstone *et al.* (2008) e Montenegro *et al.* (2022).

O conjunto de dados *Orbis* fornece informações sobre códigos financeiros, de propriedade, de forma jurídica e de patentes para médias e grandes empresas e sociedades de responsabilidade limitada com balanços internacionais, para todos os setores de atividade (Auci *et al.*, 2021). Com base na respectiva fonte de dados, é possível avaliar as variáveis referentes ao faturamento, ao lucro e ao número de empregados das empresas. Entre os dados disponíveis, verifica-se também a questão de internacionalização, ao considerar a presença de subsidiárias e destacar o país-sede onde se encontra a empresa matriz. Logo, a principal vantagem de utilizar o conjunto de dados *Orbis-PATSTAT* relaciona-se com a disponibilidade de um identificador único de empresa, que permite a correspondência entre patentes a nível de empresa e dados de balanço contidos no arquivo *Orbis Europe do Bureau van Dijk* (Aiello *et al.*, 2021).

Com base na descrição das variáveis do modelo, destaca-se a variável dependente do modelo, descrita como $Trucost_{i,j,t}$. O índice *Trucost* combina um rigoroso processo de pesquisa com sua modelagem econômica proprietária para responder à crescente demanda por maior transparência sobre o desempenho ambiental corporativo, maior consistência nos relatórios ambientais corporativos e relatórios ambientais corporativos padronizados, facilitando aos participantes do mercado a comparação dos passivos de diferentes empresas (S&P, 2020). Os impactos ambientais atribuíveis a um negócio são calculados usando intensidades ambientais expressas como poluente ou utilização de recursos por unidade de receita. Estes são calculados através da obtenção de dados sobre emissões ou recursos por setor e da utilização destes dados em conjunto com dados financeiros para criar intensidades ambientais. As intensidades são aplicadas

às informações financeiras fornecidas pelo *Bureau of Economic Analysis* dos Estados Unidos para permitir o cálculo dos impactos ambientais da cadeia de abastecimento de uma empresa (S&P, 2020).

As intensidades ambientais são calculadas em termos de toneladas métricas ou metros cúbicos por unidade de receita. Essas intensidades denominam uma quantidade de impacto ambiental, como emissões de gases com efeito de estufa ou água, com outro ponto de dados: um fator de normalização. As métricas de intensidade padrão Trucost denominam os impactos ambientais pelas receitas anuais consolidadas de uma empresa em milhões de dólares americanos, por exemplo, a intensidade de carbono estaria nas unidades: tCO₂e/US\$ milhões de receitas. As intensidades ambientais são úteis na comparação de empresas dentro e entre diferentes setores. Essas métricas podem controlar diferentes características da empresa, como o tamanho, possibilitando avaliar a eficiência ambiental de uma empresa (S&P, 2020). Os impactos são calculados em seis categorias diferente, mas correlatas, a saber: Emissões de gases de efeito estufa, Poluentes atmosféricos, Poluentes da terra e da água, Produção de resíduos, Consumo de água e Uso de recursos naturais. O valor do índice geral Trucost consiste na soma dos valores obtidos nessas seis categorias mencionadas.

No que diz respeito às demais variáveis do modelo, a variável *TecnologiaVerde*_{*i,t-1*}, assume duas variantes no modelo. Primeiro, considera-se o número de patentes depositadas pela empresa *i* no anos *t-1* e *t-2* na *EPO*, que contenham pelo menos um código *IPC* relacionado à tecnologia verde, como os descritos no Quadro A.1, com base nos códigos *IPC Green Inventory* da *WIPO*.⁷ A relevância da questão do patenteamento envolve o fato de que, por exemplo, as patentes energéticas com tecnologias isentas de carbono podem contribuir para a redução das emissões de CO₂ corporativas. (Wang *et al.*, 2012). Num segundo momento, a variante assume como *IntVerde*_{*i,t-n*} e é definida como $IntVerde_{it} = \frac{PatentesVerdes_{it}}{Patentes_{it}}$.

O uso dessa variável permite verificar o quanto do esforço tecnológico da empresa é dedicado às inovações ambientais. Quanto mais a empresa se dedica a esse tipo de inovação, menor tende a ser a tendência do impacto ambiental gerado pelas suas atividades produtivas (Hojnik; Ruzzier, 2016).

A variável *Lucro*_{*i,t-n*} denota o lucro contábil da empresa *i* nos anos *t-1* e *t-2*. Existe uma relação positiva entre a prevenção da poluição e o desempenho financeiro, bem como uma trajetória crescente de lucro permite um investimento maior em ações que atenuem o impacto ambiental gerado pelas atividades produtivas (Jansson, 2022). Essa relação de causalidade reversa observada, atribui, assim um caráter endógeno à variável de Lucro em relação ao índice Trucost.

A variável *Tamanho*_{*i,t-1*} representa o número de empregados empresa *i* no ano *t*. O uso dessa variável permite verificar se o tamanho da empresa interfere no seu comportamento ecoinovador, visando a redução do impacto ambiental causado pelas suas respectivas atividades. Logo, o tamanho da empresa teria um efeito positivo no seu desempenho ambiental (Dong *et al.*, 2014).

A variável *Qualidade*_{*i,t-1*} é definida como $Q_{it-1} = \frac{CitaçõesVerdes_{it-1}}{PatentesVerdes_{it-1}}$. Utiliza-se o número de citações, por esta refletir a importância tecnológica de uma patente. Muitas citações anteriores significam que a patente serve como base para inovações subsequentes e é esperado que, quanto mais citações uma região receba, mais relevante é o conhecimento ali gerado (Ponchek, 2015). Quanto maior o número de citações recebidas por uma patente, maior a qualidade e, com isso, maior a relevância do conhecimento ali realizado. Com isso, a qualidade do conhecimento gerado pela empresa, via patentes, permitiria efeitos positivos na sustentabilidade empresarial.

A variável *dummy* *Internacionalização*_{*i,t*} tem por objetivo verificar se a presença de filiais no exterior influencia as decisões da empresa matriz quanto à incorporação da sustentabilidade em suas atividades. A inserção internacional de uma empresa tende a gerar impactos positivos sobre seu desempenho ambiental, contribuindo para a mitigação dos efeitos negativos associados às suas operações produtivas (Brohil; Suzuki, 2023).

Por fim, controlam-se as diferenças entre os setores econômicos, uma vez que estes apresentam níveis distintos de intensidade e capacidade de ecoinovação (Del Río *et al.*, 2016). Para esse fim, são incluídas no modelo 20 *dummies* setoriais. Adicionalmente, considerando a heterogeneidade da amostra e

⁷ *World Intellectual Property Organization*, em português, Organização Mundial de Propriedade Intelectual

a necessidade de capturar efeitos invariantes ao longo do tempo, também serão incorporadas dummies temporais à especificação econométrica.

Cabe ainda ressaltar que as defasagens das variáveis em $t-1$ e $t-2$, no caso de Tecnologia Verde, mostram-se necessárias, pois visa captar características que levam um certo tempo de aprendizado e maturação para produzirem seus efeitos plenos. Ademais, no caso da variável Lucro, as defasagens vão até $t-2$ pois os lucros de períodos anteriores e o planejamento da utilização desse lucro podem interferir em como a empresa pode tornar sua produção mais sustentável/menos poluente.

Em resumo, as variáveis selecionadas refletem diretamente os elementos teóricos presentes neste trabalho. A variável Trucost representa o impacto ambiental das atividades produtivas. As variáveis TecnologiaVerde e IntVerde capturam o esforço de inovação ambiental, aspecto central da investigação. As demais variáveis (Lucro, Tamanho, Qualidade, Internacionalização) representam dimensões organizacionais internas que, segundo a literatura, podem atuar como *drivers* ou barreiras à sustentabilidade ambiental. A inclusão de *dummies* setoriais e temporais permite controlar a heterogeneidade estrutural entre setores e efeitos comuns a todos os anos.

4. Resultados

A partir da forma funcional principal (equação 1), realizaram-se estimações econométricas. Em (1) considera-se como variável explicativa o log do total de patentes verdes da empresa, enquanto que em (2) utiliza-se a razão entre o número de patentes verdes e o total de patentes possuídas pela empresa.

Os coeficientes estimados para ambas as medidas de esforço tecnológico verde apresentam sinais negativos e significativos, o que reforça a relevância das atividades de inovação ambiental no sentido de mitigar os impactos das atividades produtivas sobre o meio ambiente (Tabela 1). Conforme os resultados reportados, um aumento de 1% no número de patentes verdes nos períodos $t-1$ e $t-2$ está associado a uma redução no índice Trucost de 0,23% e 0,28%, respectivamente. De maneira ainda mais expressiva, um acréscimo de 1% na intensidade da produção tecnológica verde nos mesmos períodos resulta em uma queda de 0,91% e 1,03% no valor do índice Trucost. Esses resultados confirmam a hipótese *H1*, que postula uma relação negativa entre inovação tecnológica verde e impacto ambiental corporativo.

Tais resultados estão em consonância com a literatura especializada. Wang *et al.* (2012), ao analisarem 30 províncias da China entre 1997 e 2008, constataram que as patentes energéticas associadas a tecnologias livres de carbono contribuíram para a redução das emissões de CO₂. De forma semelhante, Tolliver *et al.* (2021) observam um crescimento substancial no número de registros de patentes verdes e na emissão de títulos verdes por empresas no Japão, China e Coreia do Sul, em resposta à crescente pressão por desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável. Oyebanji *et al.* (2022) também evidenciam que as patentes verdes possuem incentivos econômicos relevantes e reduzem a exposição das empresas aos riscos ambientais, mostrando que um aumento de 1% nessas patentes pode resultar em uma queda de até 11% nas emissões de carbono das empresas. Por fim, Apergis e Aydin (2023), analisando empresas do setor energético dos EUA, no período de 1980 a 2015, identificam que um incremento de 10% em patentes verdes eleva a sustentabilidade ambiental entre 0,1% e 0,3%, no curto e no longo prazo, respectivamente.

Em relação à variável Lucro, os coeficientes estimados apresentam sinal positivo e estatisticamente significativo, indicando que aumentos na lucratividade das empresas estão associados a um aumento no índice Trucost, ou seja, a uma maior exposição a riscos ambientais. Especificamente, um crescimento de 1% no lucro em $t-1$ eleva o índice em 0,30%, e em $t-2$, 0,21%. Esses resultados contrastam com parte da literatura, como demonstrado em Moneva e Ortas (2010), que, ao utilizarem um modelo de mínimos quadrados parciais para avaliar 230 empresas europeias, observaram que um melhor desempenho ambiental tende a se traduzir em um desempenho financeiro mais sólido no futuro. No mesmo sentido, Jia e Li (2022), com dados de empresas australianas, identificaram que melhores práticas ambientais reduzem a probabilidade de dificuldades financeiras, especialmente entre empresas mais expostas a riscos econômicos.

Tabela 1 – Resultados do Modelo Básico via Estimação GMM System

Variáveis e Testes	(1)	(2)
PatentesVerdes _{t-1}	-0,231*** (0,045)	-
PatentesVerdes _{t-2}	-0,280*** (0,051)	-
IntVerde _{t-1}	-	-0,911*** (0,329)
IntVerde _{t-2}	-	-1,033*** (0,372)
Lucro _{t-1}	0,303*** (0,067)	0,313*** (0,070)
Lucro _{t-2}	0,216*** (0,052)	0,223*** (0,054)
Tamanho _{t-1}	-0,288*** (0,064)	-0,307*** (0,069)
Qualidade _{t-1}	-0,198*** (0,076)	-0,470*** (0,129)
Internacionalização	-1,229*** (0,119)	-1,241*** (0,124)
Constante	-1,242* (0,663)	-1,298* (0,688)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim
<i>Dummies</i> de setor	Sim	Sim
Observações	113.714	113.714
<i>Lags</i> instrumentalizados	5 e 6	5 e 6
Teste Hansen	0,199	0,208
Teste AR (1)	0,000	0,000
Teste AR (2)	-	-
Teste Portmanteau ⁸	0,2644	0,2672

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses. *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10.

Apesar dos resultados anteriormente apresentados, rejeita-se apenas parcialmente a hipótese *H2*. Tal recusa parcial decorre do fato de que pode existir uma relação positiva entre o desempenho ambiental, refletido, por exemplo, em menores níveis de emissões, e lucros mais elevados. Embora um melhor desempenho ambiental, mensurado por indicadores objetivos (como emissões) ou subjetivos (como percepções), possa gerar efeitos distintos sobre os lucros absolutos, evidências sugerem que, em termos gerais, um comportamento ambientalmente responsável tende a elevar os lucros absolutos das empresas. Essa aparente contradição é explicável, uma vez que o impacto das percepções ambientais no desempenho financeiro pode ser ambíguo e altamente subjetivo, como ressaltado por Earnhart (2018).

No que se refere às variáveis de controle, os resultados obtidos para Qualidade e Tamanho também revelam efeitos negativos e significativos sobre o índice Trucost. Esses resultados reforçam a importância tanto do conhecimento técnico gerado internamente pela empresa quanto da sua escala produtiva como

⁸ Por conta do curto período de tempo curto, por conta da disponibilidade de dados sobre a variável dependente, o teste AR(2) não é computado pelo comando `xtabond2`. Mas isso não inviabiliza a estimação. Alternativamente, utiliza-se o comando `xtdpdgm`, que computa o índice de autocorrelação serial dos erros geral por meio do comando `xtdpdserial`. A não-rejeição à H_0 deste teste garante que não há autocorrelação de segunda ordem e os resultados conseguidos com o primeiro comando, portanto, são válidos (Jochmans, 2018).

mecanismos para reduzir os impactos ambientais. Conforme a Tabela 4, um aumento de 1% na qualidade das patentes verdes em $t-1$ está associado a uma redução de 0,2% a 0,47% no índice Trucost, a depender da especificação do modelo. De forma análoga, um aumento de 1% no número de empregados (*proxy* de tamanho) gera uma queda de aproximadamente 0,30% no índice Trucost, em ambas as perspectivas de análise.

Tais evidências estão alinhadas a Xiang e Geng (2024), que mostram que patentes verdes com maior amplitude de conhecimento produzem efeitos mais intensos na mitigação de resíduos e poluição industrial do que aquelas de menor alcance técnico. Da mesma forma, Portillo-Tarragone *et al.* (2019), ao analisarem empresas espanholas, evidenciam que empresas maiores apresentam maior capacidade de implementar e sustentar processos deecoinovação, impactando positivamente seu desempenho ambiental.

Quanto à variável dummy de internacionalização, observa-se um efeito negativo e estatisticamente significativo sobre o índice Trucost, indicando que a presença de filiais e subsidiárias no exterior contribui para a redução do risco ambiental associado às atividades da empresa e de sua matriz. Esse resultado reforça a hipótese de que a inserção internacional pode funcionar como um catalisador da ecoinovação, ao facilitar o acesso a tecnologias mais limpas, práticas sustentáveis e canais colaborativos com atores globais. Nesse sentido, Peñasco *et al.* (2017) destacam que a cooperação internacional complementa as capacidades internas de inovação das empresas, sendo essencial em um contexto de produção e P&D cada vez mais transnacional. Carchano *et al.* (2024) corroboram esse achado ao indicar que quanto maior o grau de internacionalização, maior a probabilidade de uma empresa adotar práticas de ecoinovação e mitigar o risco ambiental associado à sua produção.

Corroborando tais evidências, Cheng *et al.* (2019) identificam que o investimento estrangeiro direto (IED) tem impacto negativo sobre as emissões per capita de carbono. De forma semelhante, Brohil e Suzuki (2023), com base em um painel de empresas do Sul da Ásia (1995–2018), mostram que o IED contribui positivamente para a sustentabilidade, por meio da difusão de tecnologias ambientais e eficientes no uso de recursos naturais. Assim, confirma-se a hipótese *H4*, que propunha a existência de uma relação positiva entre internacionalização e mitigação do risco ambiental das empresas.

A validade dos resultados obtidos por *GMM System* é confirmada por testes estatísticos apropriados. O teste de autocorrelação de primeira ordem (AR(1)) rejeita a hipótese nula ao nível de 1% de significância, indicando consistência nas estimações. Já o teste AR(2), mesmo não apresentado diretamente, não indicou presença de autocorrelação de segunda ordem, conforme também validado pelo teste de Portmanteau, que não rejeita a hipótese nula de ausência de autocorrelação serial. Por fim, o teste de Hansen, aplicado às duas especificações, não rejeita a hipótese de validade dos instrumentos, dado que os valores obtidos estão no intervalo adequado ($0,05 < \text{Hansen} < 0,80$), assegurando a robustez dos instrumentos utilizados e a correção dos problemas de endogeneidade. Dessa forma, os resultados apresentados na Tabela 4 são considerados robustos e estatisticamente válidos, justificando a utilização do estimador *GMM System* para o presente estudo.

Com o objetivo de aprofundar a análise e testar a robustez dos achados, a próxima etapa consiste na estimação da equação (2), que visa verificar o efeito moderador do tamanho da empresa sobre o estoque acumulado de patentes verdes, além de observar como as demais variáveis se comportam sob essa nova modelagem. Os respectivos resultados são apresentados na Tabela 2.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 2, por sua vez, revela que a interação entre *Patentes Verdes* e *Tamanho da empresa* ($\text{PatenteVerde} \times \text{Tamanho}$) apresenta coeficiente negativo e estatisticamente significativo ao nível de 1%. Esse resultado indica que o efeito benéfico das patentes verdes na mitigação do risco ambiental, anteriormente evidenciado, é moderado negativamente pelo tamanho da empresa. Em outras palavras, o impacto positivo do esforço tecnológico verde sobre a redução do índice Trucost é atenuado à medida que a empresa cresce em dimensão.

Tabela 2 – Resultados do Modelo com o Efeito Moderador do Tamanho da Empresa na Produção Tecnológica Verde via Estimação *GMM System*

Variáveis e Testes	(1)	(2)
PatentesVerdes _{t-1}	-0,095*** (0,028)	-
PatentesVerdes _{t-2}	-0,131*** (0,033)	-
IntVerde _{t-1}	-	-0,387*** (0,164)
IntVerde _{t-2}	-	-0,385*** (0,166)
Lucro _{t-1}	0,268*** (0,065)	0,269*** (0,065)
Lucro _{t-2}	0,184*** (0,049)	0,184*** (0,049)
Tamanho _{t-1}	-0,254*** (0,062)	-0,256*** (0,062)
Qualidade _{t-1}	-0,151** (0,060)	-0,194*** (0,069)
PatenteVerde*Tamanho	-0,062*** (0,011)	-0,093*** (0,016)
Internacionalização	-1,159*** (0,113)	-1,157*** (0,112)
Constante	-0,859 (0,631)	-0,823 (0,617)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim
<i>Dummies</i> de setor	Sim	Sim
Observações	113.714	113.714
N de países		
<i>Lags</i> instrumentalizados	5 e 6	5 e 6
Teste Hansen	0,182	0,203
Teste AR (1)	0,000	0,000
Teste AR (2)	-	-
Teste Portmanteau ⁹	0,2641	0,2652

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses. *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10.

Comparando-se os coeficientes estimados, verifica-se que sem o efeito moderador do tamanho, um aumento de 1% nas patentes verdes em t-1 e t-2, está associado à diminuição do índice Trucost em 0,23% e 0,28%, respectivamente. Contudo, com a inclusão do efeito moderador, os mesmos aumentos nas patentes verdes em t-1 e t-2 levam a uma redução menor: 0,09% e 0,13%, respectivamente. Esse resultado pode ser interpretado com base na literatura, que aponta para uma mudança no perfil das fontes de conhecimento utilizadas pelas empresas ao longo de seu crescimento. Segundo Martínez-Ros e Kunapatarawong (2019), com base em dados do Painel Espanhol de Inovação Tecnológica (2007–2011), à medida que empresas

⁹ Por conta do período de tempo amostral curto e por conta da disponibilidade de dados sobre a variável dependente, o teste AR(2) não é computado pelo comando `xtabond2`. Mas isso não inviabiliza a estimação. Alternativamente, utiliza-se o comando `xtdpdgm`, que computa o índice de autocorrelação serial dos erros geral por meio do comando `xtdpdserial`. A não-rejeição à H_0 deste teste garante que não há autocorrelação de segunda ordem e os resultados conseguidos no primeiro caso, portanto, são válidos (Jochmans, 2018).

evoluem de pequenas para grandes, há uma transição do uso de conhecimento interno para o conhecimento externo, o que pode diluir a intensidade e a eficácia das inovações verdes endógenas. Assim, confirma-se a hipótese *H3*, que propunha a existência de um efeito moderador do tamanho sobre a relação entre inovação ambiental e desempenho ambiental da empresa.

Importante destacar que, mesmo com a inclusão do termo de interação, as demais variáveis do modelo preservam a direção e a significância dos coeficientes estimados na Tabela 1, o que evidencia a robustez e a estabilidade dos resultados. No que tange aos testes de validade do modelo, os resultados da Tabela 2 seguem a mesma lógica das estimativas anteriores. O teste AR(1) rejeita a hipótese nula de ausência de autocorrelação serial de primeira ordem, ao nível de 1% de significância. O teste AR(2), embora não relatado diretamente, não indica problemas de autocorrelação de segunda ordem, como reforçado pelo teste Portmanteau, que não rejeita a hipótese nula de ausência de autocorrelação em qualquer ordem. O teste de Hansen, por sua vez, não rejeita a hipótese de validade dos instrumentos (valores dentro do intervalo $0,05 < \text{Hansen} < 0,80$), garantindo a adequação do estimador *GMM System* ao modelo.

Os resultados obtidos nesta etapa reforçam as conclusões anteriores: o índice de risco ambiental das empresas está fortemente relacionado às suas características estruturais e estratégias operacionais, especialmente no que se refere ao esforço em inovação verde, lucratividade, porte e grau de internacionalização. Ressalta-se que, embora o tamanho modere o impacto das patentes verdes sobre o desempenho ambiental, essa moderação não elimina o efeito benéfico, que permanece estatisticamente significativo, ainda que de menor magnitude. Por fim, constatou-se que empresas tecnologicamente orientadas e internacionalizadas, sujeitas a um maior rigor regulatório e pressionadas por padrões globais, destacam-se como protagonistas na redução do impacto ambiental das atividades produtivas, como refletido na diminuição do índice Trucost.

5. Conclusão

Em um cenário global crescentemente pressionado por desafios climáticos, escassez de recursos naturais e expectativas elevadas dos stakeholders quanto à responsabilidade socioambiental das corporações, compreender a relação entreecoinovação e desempenho ambiental mostra-se não apenas pertinente, mas fundamental para o futuro da gestão empresarial. Partindo do pressuposto de que a inovação orientada à sustentabilidade constitui uma alavanca estratégica para a redução de custos ambientais e riscos operacionais, buscou-se compreender como diferentes organizações vêm se comportando e quais fatores contribuem para minimizar sua pegada ecológica. Este artigo, portanto, investigou a complexa relação entreecoinovação e a gestão dos riscos ambientais nas empresas, com ênfase no papel desempenhado por essas organizações nos processos de inovação ambiental em seus respectivos países, no triênio 2016-2018. A pesquisa partiu do pressuposto de que empresas inovadoras em termos ambientais são mais eficazes na redução de seus impactos ecológicos mensuráveis, particularmente aqueles quantificados por metodologias robustas como o índice Trucost, que converte danos ambientais em valores monetários.

Para a validação das hipóteses propostas, recorreu-se à integração de duas bases de dados robustas, Orbis e PATSTAT. A principal vantagem metodológica dessa combinação reside na possibilidade de identificação única das empresas, permitindo o vínculo direto entre informações de patentes, especialmente as verdes, e dados financeiros extraídos dos balanços contidos na base Orbis *Europe do Bureau van Dijk*, a qual cobre cerca de 95% da capitalização de mercado global. A investigação concentrou-se na análise de dados em painel no nível das empresas, por meio da estimação do modelo *GMM System*. A escolha desse método deve-se à sua capacidade de controlar a endogeneidade por simultaneidade, ao utilizar defasagens temporais como instrumentos válidos para variáveis potencialmente endógenas.

Os resultados obtidos por esse modelo demonstraram de forma robusta que variáveis intrínsecas às empresas influenciam diretamente a magnitude do índice Trucost. Destaca-se, em primeiro lugar, o impacto das patentes verdes, cujo estoque prévio se mostrou negativamente relacionado ao risco ambiental, confirmando a eficácia daecoinovação como ferramenta de mitigação, ratificando a hipótese *H1*. O lucro, por sua vez, apresentou sinal positivo e significativo, sugerindo que melhores desempenhos financeiros, em alguns casos, podem estar associados a maior risco ambiental, um resultado que contraria parte da literatura e confirma apenas parcialmente a hipótese *H2*.

Adicionalmente, a variável de internacionalização, captada por meio da presença de filiais ou subsidiárias no exterior, revelou um efeito negativo sobre o índice Trucost, indicando que a exposição a diferentes regimes regulatórios pode impulsionar comportamentos corporativos mais sustentáveis, corroborando o enunciado da hipótese *H4*. No que tange às variáveis de controle restantes, os resultados obtidos para Qualidade e Tamanho também revelam efeitos negativos e significativos sobre o índice Trucost. No que se refere ao tamanho das empresas, os resultados apontaram também para um efeito moderador, isto é, empresas maiores tendem a reduzir parcialmente a intensidade do impacto positivo das patentes verdes, possivelmente em função da mudança na origem das fontes de conhecimento utilizadas, deslocando-se de internos para externos à medida que a empresa cresce. Ainda assim, a relevância das inovações verdes não é anulada nesse contexto. Tal afirmativa remete ao que foi expresso na hipótese *H3*.

Com base nos resultados, este artigo oferece importantes contribuições para a formulação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento dos SIs. Destaca-se a necessidade de promover políticas colaborativas que integrem empresas, governos e instituições de pesquisa, incentivando o compartilhamento de conhecimento e a utilização de tecnologias limpas. Tais estratégias contribuem não apenas para a redução dos riscos ambientais, como também reforçam a resiliência das empresas em mercados cada vez mais orientados pela sustentabilidade.

No campo prático, os achados deste estudo têm implicações diretas para gestores, formuladores de políticas públicas e investidores. Para os gestores empresariais, os dados reforçam a necessidade de integrar a sustentabilidade ao núcleo estratégico da organização. Para os formuladores de políticas públicas, os resultados indicam que instrumentos regulatórios e fiscais que incentivam a inovação ambiental, como créditos verdes, subsídios à P&D verde e penalizações por externalidades, são eficazes para catalisar mudanças estruturais no setor produtivo. Para investidores e analistas financeiros, destaca-se que empresas com altos níveis deecoinovação e baixo índice Trucost são menos expostas a riscos ambientais regulatórios, reputacionais e operacionais, representando assim opções mais resilientes e sustentáveis no longo prazo. Isso reforça a importância da integração de métricas ambientais monetizadas na avaliação de portfólios e na análise de risco de ativos financeiros.

Como toda pesquisa, esta também apresenta limitações. A principal delas refere-se à indisponibilidade de dados do índice Trucost após 2018, o que impede uma avaliação mais atualizada dos efeitos das políticas climáticas recentes. Estudos futuros poderão avançar nesse aspecto ao incorporar séries temporais mais recentes, bem como explorar recortes setoriais e regionais mais específicos, ampliando a compreensão da eficácia das estratégias de ecoinovação em contextos distintos.

Ademais, seria desejável investigar como empresas de pequeno porte, especialmente em países em desenvolvimento, podem acessar e aplicar métricas como o índice Trucost, muitas vezes indisponíveis ou inacessíveis a organizações de menor porte. Em termos de pesquisas futuras, recomenda-se expandir a análise para diferentes contextos culturais e institucionais, avaliando como fatores externos, como legislação ambiental, pressão social e maturidade do mercado de capitais, influenciam a adoção da ecoinovação e a gestão baseada em métricas ambientais monetizadas. Estudos comparativos internacionais também poderiam oferecer insights relevantes sobre a difusão de boas práticas e barreiras estruturais.

Referências

- AHMADOVA, G.; HURTADO-TORRES, N. E.; ARAGÓN-CORREA, J. A. Environmental sustainability and internationalization of the European manufacturing industry. In: Hurtado-Torres, N. E.; Bermudez-Edo, M. C.; Ortiz-de Mandojana, N.; Aragón-Correa, J. A.: **Challenges of the European Firms: Digitalization, Sustainability, and Internationalization**, Editorial Kit-Book, Granada: Spain. 2021.
- AIELLO, F.; CARDAMONE, P.; MANNARINO, L.; PUPO, V. Green patenting and corporate social responsibility: Does family involvement in business matter? **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 28(4), 1386–1396, 2021.
- ALBINO, V.; DANGELICO, R. M.; PONTRANDOLFO, P. Do inter-organizational collaborations enhance a firm's environmental performance? A study of the largest US companies. **Journal of Cleaner Production**, 37, 304–315, 2012.

AMENDOLAGINE, V.; HANSEN, U. E.; LEMA, R.; RABELLOTTI, R.; RIBAUDO, D. Do green foreign direct investments increase the innovative capability of MNE subsidiaries? **World Development**, 170, 106342, 2023.

APERGIS, N.; AYDIN, T. D. M. Renewable and non-renewable energy consumption, energy technology investment, green technological innovation, and environmental sustainability in the United States: testing the EKC and LCC hypotheses with novel Fourier estimation. **Environmental Science Pollution Res** 30, 125570–125584, 2023.

ARFI, W. BEM; HIKKEROVA, L.; SAHUT, J.-M. External knowledge sources, green innovation and performance. **Technological Forecasting and Social Change**, 129, 210–220, 2018.

ARRANZ, N.; ARROYABE, M.; LI, J.; FERNANDEZ DE ARROYABE, J. C. Innovation as a driver of eco-innovation in the firm: An approach from the dynamic capabilities theory. **Business Strategy and the Environment**, 29(3), 1494–1503, 2020.

AUCI, S.; BARBIERI, N.; COROMALDI, M.; VIGNANI, D. Innovation for climate change adaptation and technical efficiency: an empirical analysis in the European agricultural sector. **Economia Política**, 38, 597–623, 2021.

BAUM, C. F.; SCHAFFER, M. E.; STILLMAN, S. Instrumental variables and GMM: Estimation and testing. **The Stata Journal**, 3(1), 1–31, 2003.

BROHI, A. A.; SUZUKI, Y. Does green innovation moderate between FDI and environmental sustainability? Empirical evidence from South Asia. **Plos One**, 18(11), 2023.

BURZYŃSKA, D.; JABŁOŃSKA, M.; DZIUBA, R. Opportunities and conditions for the development of green entrepreneurship in the polish textile sector. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, 2 128, 13–19, 2018.

CARCHANO, M.; CARRASCO, I.; GONZÁLEZ, Á.; SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J. Analysis the nexus between internationalization and financial performance in wine industry: The effect of proactive environmental strategy and eco-innovation. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 31(6), 5954–5970, 2024.

CECERE, G.; CORROCHER, N.; MANCUSI, M. L. Financial constraints and public funding for eco-innovation: Empirical evidence on European SMEs, **Working Paper, No. 46**, Università Cattolica del Sacro Cuore, Dipartimento di Economia e Finanza (DISCE), Milano, 2017.

CHAPARRO-BANEGAS, N.; MAS-TUR, A.; PARK, H. W.; ROIG-TIERNO, N. Factors driving national eco-innovation: New routes to sustainable development. **Sustainable Development**, 31(4), 2711–2725, 2023.

CHEN, Z.; ZHANG, X.; CHEN, F. Do carbon emission trading schemes stimulate green innovation in enterprises? Evidence from China. **Technological Forecasting and Social Change**, 168, 120744, 2021.

CHENG, C.; REN, X.; WANG, Z.; YAN, C. Heterogeneous impacts of renewable energy and environmental patents on CO2 emission-Evidence from the BRIICS. **Science of the total environment**, 668, 1328-1338, 2019.

CHISTOV, V.; CARRILLO-HERMOSILLA, J.; ARAMBURU, N. Open eco-innovation. Aligning cooperation and external knowledge with the levels of eco-innovation radicalness. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, 9(2), 100049, 2023.

CHRISTENSEN, H. B.; HAIL, L.; LEUZ, C. Mandatory CSR and sustainability reporting: Economic analysis and literature review. **Review of Accounting Studies**, 26(3), 1176–1248, 2021.

CONTRERAS, J. L.; HALL, B. H.; HELMERS, C. Green technology diffusion: A post-mortem analysis of the eco-patent commons (No. w25271). **National Bureau of Economic Research**. 2018.

COSTA-CAMPI, M. T.; GARCÍA-QUEVEDO, J.; MARTÍNEZ-ROS, E. What are the determinants of investment in environmental R&D? **Energy Policy**, 104, 455–465, 2017.

DEL RÍO, P.; PEÑASCO, C.; ROMERO-JORDÁN, D. What drives eco-innovators? A critical review of the empirical literature based on econometric methods. **Journal of Cleaner Production**, 112, 2158–2170, 2016.

DEMENA, B. A.; MURSHED, S. M. Transmission channels matter: Identifying spillovers from FDI. **The Journal of International Trade & Economic Development**, 27(7), 701-728, 2018.

DEMETER, K.; LOSONCI, D. Transferring lean knowledge within multinational networks. **Production Planning & Control**, 30(2–3), 211–224, 2019.

DEMIREL, P.; DANISMAN, G. O. Eco-innovation and firm growth in the circular economy: Evidence from European small-and medium-sized enterprises. **Business Strategy and the Environment**, 28(8), 1608–1618.

DOGARU, L. Eco-innovation and the contribution of companies to the sustainable development. **Procedia Manufacturing**, 46, 294–298, 2020.

DONG, Y.; WANG, X.; JIN, J.; QIAO, Y.; SHI, L. Effects of eco-innovation typology on its performance: Empirical evidence from Chinese enterprises. **Journal of Engineering and Technology Management**, 34, 78–98, 2014.

EARNHART, D. The effect of corporate environmental performance on corporate financial performance. **Annual Review of Resource Economics**, 10(1), 425–444, 2018.

EBRAHIM, T. Y. Clean and sustainable technology innovation. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 45, 113–117, 2020.

FABRIZI, A.; GUARINI, G.; MELICIANI, V. Green patents, regulatory policies and research network policies. **Research Policy**, 47(6), 1018–1031, 2018.

FAEMS, D.; BOS, B.; NOSELEIT, F.; LETEN, B. Multistep knowledge transfer in multinational corporation networks: when do subsidiaries benefit from unconnected sister alliances? **Journal of Management**, 46(3), 414–442, 2020.

FANG-KLINGLER, J.; STROH, M.; WISSER, F. **Back to the Future: The Role of Forward-looking Climate Metrics in Decarbonization Portfolios**. Available at SSRN 4135443. 2022.

FARIA, L. G. D.; ANDERSEN, M. M. Sectoral patterns versus firm-level heterogeneity-The dynamics of eco-innovation strategies in the automotive sector. **Technological Forecasting and Social Change**, 117, 266–281, 2017.

FERNANDO, Y.; WAH, W. X. The impact of eco-innovation drivers on environmental performance: Empirical results from the green technology sector in Malaysia. **Sustainable Production and Consumption**, 12, p. 27–43, 2017.

FERREIRA, J. J.; FERNANDES, C. I.; FERREIRA, F. A. Technology transfer, climate change mitigation, and environmental patent impact on sustainability and economic growth: A comparison of European countries. **Technological Forecasting and Social Change**, 150, 119770, 2020.

GALBREATH, J.; CHANG, C.-Y.; TISCH, D. Are exporting firms linked to cleaner production? A study of eco-innovation in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, 303, 127029, 2021.

GARCÍA-POZO, A.; SÁNCHEZ-OLLERO, J.-L.; ONS-CAPPA, M. ECO-innovation and economic crisis: a comparative analysis of environmental good practices and labour productivity in the Spanish hotel industry. **Journal of Cleaner Production**, 138, 131–138, 2016.

GAUR, A. S.; MA, H.; GE, B. MNC strategy, knowledge transfer context, and knowledge flow in MNEs. **Journal of Knowledge Management**, 23(9), 1885–1900, 2019.

GHISETTI, C.; MARZUCCHI, A.; MONTRESOR, S. The open eco-innovation mode. An empirical investigation of eleven European countries. **Research Policy** 44 (5), 1080–1093, 2015.

HÄGGMARK, T.; ELOFSSON, K. The drivers of private and public eco-innovations in six large countries. **Journal of Cleaner Production**, 364, 132628, 2022.

HANSEN, L. Large sample properties of generalized method of moments estimators. **Econometrica** 50(3): 1029–1054, 1982.

HANSEN, U. E.; LARSEN, T. H.; BHASIN, S.; BURGERS, R.; LARSEN, H. Innovation capability building in subsidiaries of multinational companies in emerging economies: Insights from the wind turbine industry. **Journal of Cleaner Production**, 244 118746, 2020.

HAŠČIČ, I.; MIGOTTO, M. **Measuring Environmental Innovation Using Patent Data**; OECD: Paris, France, 2015.

HOJNIK, J.; RUZZIER, M. What drives eco-innovation? A review of an emerging literature. **Environmental Innovation Society Transition**, 19, 31–41, 2016.

HORBACH, J. Empirical determinants of eco-innovation in European countries using the community innovation survey. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, 1–14, 2016.

HRABYNSKYI, I.; HORIN, N.; UKRAYINETS, L. Barriers and drivers to ecoinnovation: Comparative analysis of Germany, Poland and Ukraine. **Ekonomicko-Manazerske Spektrum**, 11(1), 13–24, 2017.

INFLUENCE MAP. **The Carbon Majors Database: Launch Report**, April 2024.

JANSSON, C. Can green producers achieve strong profitability without engaging in high-risk activities? **Management Decision**, 60(13), 92–104, 2022.

JIA, J.; LI, Z. Corporate environmental performance and financial distress: evidence from Australia. **Australian Accounting Review**, 32(2), 188–200, 2022.

JOVANOVIĆ, M.; KRSTIĆ, B.; BEREZJEV, L. Green patents as a determinant of sustainable economic growth. **Economics of Sustainable Development**, 6(2), 1–15, 2022.

JOVÉ-LLOPIS, E.; SEGARRA-BLASCO, A. Eco-innovation strategies: A panel data analysis of Spanish manufacturing firms. **Business Strategy and the Environment**, 27(8), 1209–1220, 2018.

_____. Why does eco-innovation differ in service firms? Some insights from Spain. **Business Strategy and the Environment**, 29(3), 918–938, 2020.

KAMMERER, D. The effects of customer benefit and regulation on environmental product innovation. Empirical evidence from appliance manufacturers in Germany. **Ecological Economics** 68, 2285–2295, 2009.

KARVONEN, M.; KAPOOR, R.; UUSITALO, A.; OJANEN, V. Technology competition in the internal combustion engine waste heat recovery: A patent landscape analysis. **Journal of Cleaner Production**, 112, 3735–3743, 2016.

KHAN, J.; NAHEED, R.; SHAHEEN, W. A.; NAUMAN, M. **Fostering Green Economic Growth: Exploring the Synergy of Green Innovation, Energy Efficiency, and Foreign Direct Investment in OECD Nations**. 2023.

KURNIADI, M. A.; MOHAMED, H. **Green and Global: Internationalization of eco-innovated Born Global firms: Case Study of biocomposite plastic industry**. 2021.

LABRA, R.; TORRECILLAS, C. Estimating dynamic Panel data. A practical approach to perform long panels. **Revista Colombiana de Estadística** 41 (1), 31–52, 2018.

LEE, K.-H.; MIN, B. Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. **Journal of Cleaner Production**, 108, 534–542, 2015.

LIN, W.-L.; CHEAH, J.-H.; AZALI, M.; HO, J. A.; YIP, N. Does firm size matter? Evidence on the impact of the green innovation strategy on corporate financial performance in the automotive sector. **Journal of Cleaner Production**, 229, 974–988, 2019.

LLORCA-PONCE, A.; RIUS-SOROLLA, G.; FERREIRO-SEOANE, F. J. Is Innovation a driver of sustainability? An analysis from a Spanish region. **Sustainability**, 13(16), 9286, 2021.

LONG, R.; GUO, H.; ZHENG, D.; CHANG, R.; NA, S. Research on the measurement, evolution, and driving factors of green innovation efficiency in Yangtze River Economic Belt: A Super-SBM and spatial Durbin model. **Complexity**, 2020, 1–14, 2020.

LOPES, J. M.; GOMES, S.; PACHECO, R.; MONTEIRO, E.; SANTOS, C. Drivers of sustainable innovation strategies for increased competition among companies. **Sustainability**, 14(9), 5471, 2022.

MADY, K.; ABDUL HALIM, M. A. S.; OMAR, K. Drivers of multiple eco-innovation and the impact on sustainable competitive advantage: evidence from manufacturing SMEs in Egypt. **International Journal of Innovation Science**, 14(1), 40–61, 2022.

MANSOUR, M., SALEH, M. W. A., MARASHDEH, Z., MAREI, A., ALKHODARY, D., AL-NOHOOD, S.; LUTFI, A. Eco-innovation and financial performance nexus: does company size matter? *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(1), 100244, 2024.

MARÍN-VINUESA, L. M.; SCARPELLINI, S.; PORTILLO-TARRAGONA, P.; MONEVA, J. M. The impact of eco-innovation on performance through the measurement of financial resources and green patents. **Organization & Environment**, 33(2), 285–310, 2018.

MARINO, A.; QUATRARO, F. Leveraging global recombinant capabilities for green technologies: the role of ethnic diversity in MNEs' dynamics. **The Journal of Technology Transfer**, 48(4), 1413–1445, 2023.

MARZUCCHI, A.; MONTRESOR, S. Forms of knowledge and eco-innovation modes: Evidence from Spanish manufacturing firms. **Ecological Economics**, 131, 208–221, 2017.

MEYER, K. E.; LI, C.; SCHOTTER, A. P. J. Managing the MNE subsidiary: Advancing a multi-level and dynamic research agenda. **Journal of International Business Studies**, 51, 538–576, 2020.

MOGHADAM, H. E.; KARAMI, A. Green innovation: exploring the impact of environmental patents on the adoption and advancement of renewable energy. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 35(8), 1815–1835, 2024.

MONEVA, J. M.; ORTAS, E. Corporate environmental and financial performance: a multivariate approach. **Industrial Management & Data Systems**, 110(2), 193–210, 2010.

MONTENEGRO, R. L. G.; RIBEIRO, L. C.; BRITTO, G. The effects of environmental technologies: evidences of different national innovation systems. **Journal of Cleaner Production**, 284, 124742, 2021.

MUSCIO, A.; NARDONE, G.; STASI, A. How does the search for knowledge drive firms' eco-innovation? Evidence from the wine industry. **Industry and Innovation**, 24(3), 298–320, 2017.

NOAILLY, J.; SMEETS, R. Financing energy innovation: Internal finance and the direction of technical change. **Environmental and Resource Economics**, 1–25, 2021.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Eco-innovation in Industry: Enabling Green Growth**. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264077225-en>, 2019.

_____. **SMEs, entrepreneurship and innovation**. OECD, 2010.

OYEBANJI, M. O.; CASTANHO, R. A.; GENC, S. Y.; KIRIKKALELI, D. Patents on environmental technologies and environmental sustainability in Spain. **Sustainability**, 14(11), 6670, 2022.

PANDEY, N.; CONINCK, H.; SAGAR, A. D. Beyond technology transfer: Innovation cooperation to advance sustainable development in developing countries. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, 11(2), e422. 2021.

PASSARO, R.; QUINTO, I.; SCANDURRA, G.; THOMAS, A. The drivers of eco-innovations in small and medium-sized enterprises: A systematic literature review and research directions. **Business Strategy and the Environment**, 32(4), 1432–1450, 2023.

PEÑASCO, C.; DEL RÍO, P.; ROMERO-JORDÁN, D. Analysing the role of international drivers for eco-innovators. **Journal of International Management**, 23(1), 56–71, 2017.

PONCHEK, T. Does the Patent System Promote Scientific Innovation? Empirical Analysis of Patent Forward Citations. **Alb. LJ Science & Techonology**, 25, 289, 2015.

PORTILLO-TARRAGONA, P.; SCARPELLINI, S.; MONEVA, J. M.; VALERO-GIL, J.; ARANDA-USÓN, A. Classification and measurement of the firms' resources and capabilities applied to eco-innovation projects from a resource-based view perspective. **Sustainability**, 10(9), 3161, 2018.

QI, X.; YANG, Z. Drivers of green innovation in BRICS countries: exploring tripple bottom line theory. **Economic Research-Ekonomiska Istraživanja**, 36(3), 2150670, 2023.

RABADÁN, A.; GONZÁLEZ-MORENO, Á.; SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J. Improving firms' performance and sustainability: The case of eco-innovation in the agri-food industry. **Sustainability**, 11(20), 5590, 2019.

RODRIGUEZ-CLARE, A. Multinationals, linkages, and economic development. **The American Economic Review**, 852–873, 1996.

RODRÍGUEZ-REBÉS, L.; NAVIO-MARCO, J.; IBAR-ALONSO, R. Influence of organisational innovation and innovation in general on eco-innovation in European companies. **Journal of Intellectual Capital**, 22(5), 840–867, 2021.

ROMER, P.M. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy** 98, 71–102, 1990.

ROODMAN, D. A note on the theme of too many instruments. *Oxford Bull. Economic Statistical* 71 (1), 135–158, 2009.

ROODMAN, D. How to do xtabond2: an introduction to “Difference” and “System” GMM in Stata. **Working Paper Number** 103, Central for Global Development. 2006.

RUGGI, M.; KOHN, T. A. P. M. T.; NASCIMENTO, T. C.; TORRES, R. L. **Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: 20 anos de registros de patentes sustentáveis**, 2017.

SACHS, J. D.; LAFORTUNE, G.; KROLL, C.; FULLER, G.; WOELM, F. **Sustainable development report 2022**. 2022.

SOHN, J.; LEE, J.; KIM, N. Going green inside and out: Corporate environmental responsibility and financial performance under regulatory stringency. **Sustainability**, 12(9), 3850, 2020.

SPEROTTO, F. Q.; TARTARUGA, I. G. P. The green side of industry: The drivers and the impacts of ECO-innovations in Brazil. **Sustainability**, 13(14), 8065, 2021.

STANDARD AND POOR'S. **Trucost Environmental Data Methodology Guide**. Corporate Environmental Performance. S&P Global. 2020.

SUMRIN, S.; GUPTA, S.; ASAAD, Y.; WANG, Y.; BHATTACHARYA, S.; FOROUDI, P. Eco-innovation for environment and waste prevention. **Journal of Business Research**, 122, 627–639, 2021.

TOLLIVER, C.; FUJII, H.; KEELEY, A. R.; MANAGI, S. Green innovation and finance in Asia. **Asian Economic Policy Review**, 16(1), 67-87, 2021.

TSUKANOVA, T. Go international to become sustainable: Insights on internationalization, innovativeness, and green practices in SMEs. **Journal of the International Council for Small Business**, 4(1), 51–58, 2023.

ULLAH, S.; AKHTAR, P.; ZAEFARIAN, G. Dealing with endogeneity bias: The generalized method of moments (GMM) for panel data. **Industrial Marketing Management**, 71, 69–78, 2018.

ULLAH, S.; NASIM, A. Do firm-level sustainability targets drive environmental innovation? Insights from BRICS Economies. **Journal of Environmental Management**, 294, 112754, 2021.

URBANIEC, M.; TOMALA, J.; MARTINEZ, S. Measurements and trends in technological eco-innovation: Evidence from environment-related patents. **Resources**, 10(7), 68, 2021.

VUJATOVIĆ, M. J.; OGNJANOVIĆ, J.; POPOVIĆ, S. The role of eco-innovation in sustainable intellectual capital of the company. **Economics Of Sustainable Development**, Vol. 6, july-december, № 2, 2022.

WALLS, J. L.; BERRONE, P. The power of one to make a difference: How informal and formal CEO power affect environmental sustainability. **Journal of Business Ethics**, 145, 293–308, 2017.

WANG, Q.; QU, J.; WANG, B.; WANG, P.; YANG, T. Green technology innovation development in China in 1990–2015. **Science of the Total Environment**, 696, 134008, 2019.

WANG, Z.; YIN, F.; ZHANG, Y.; ZHANG, X. An empirical research on the influencing factors of regional CO2 emissions: Evidence from Beijing city, China. **Applied Energy**, 100, 277-284, 2012.

XIAO, D.; GAO, L.; XU, L.; WANG, Z.; WEI, W. Revisiting the Green Growth Effect of Foreign Direct Investment from the Perspective of Environmental Regulation: Evidence from China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 20(3), 2023.

YUE, S.; YANG, Y.; HU, Y.; CHOI, Y.; SONG, M.; MYEONG, S. Does Foreign Direct Investment Affect Green Growth? Evidence from China's Experience. **Sustainability** 2016, Vol. 8, Page 158, 8(2), 2016.

YURDAKUL, M.; KAZAN, H. Effects of eco-innovation on economic and environmental performance: Evidence from Turkey's manufacturing companies. **Sustainability**, 12(8), 3167, 2020.

ZAMANI, Z.; TAYEBI, S. K. Spillover effects of trade and foreign direct investment on economic growth: An implication for sustainable development. **Environment, Development and Sustainability**, 24(3), 3967-3981, 2022.

Apêndice

Tabela A.1 – Estatísticas Descritivas das Variáveis Utilizadas no Modelo Econométrico (2016-2018)¹⁰

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Trucost _t	0,606	1,201	-1,514	8,064
PatentesVerdes _{t-1}	0,014	0,199	0	8,644
PatentesVerdes _{t-2}	0,017	0,218	0	8,644
IntVerde _{t-1}	0,0007	0,029	0	10
IntVerde _{t-2}	0,0009	0,032	0	10
Lucro _{t-1}	8,797	2,216	-9,239	22,426
Lucro _{t-2}	8,774	2,205	-10,529	22,426
Tamanho _{t-1}	5,452	2,159	-5,809	14,648
Qualidade _{t-1}	0,0002	0,031	0	16
(PatenteVerde*Tamanho)	0,073	0,870	-0,248	20,681
Internacionalização	0,009	0,095	0	1

Fonte: Elaboração Própria

Quadro A.1 – Definição do índice de risco ambiental Trucost

Trucost geral e desagregações	Definição
Índice de Risco Ambiental Trucost	A pontuação ambiental Trucost representa a percentagem potencial de receita em risco dos custos ambientais totais das atividades da sua empresa. A pontuação é expressa em percentagem do volume de negócios, mas pode, na verdade, exceder 100%.
Gases Efeito Estufa (%)	A pontuação do efeito estufa representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa em relação a emissão de GEE.
Água (%)	A pontuação do uso da água representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa relacionados ao uso de água.
Resíduos (%)	A pontuação de resíduos representa a percentagem potencial de receita em risco proveniente dos custos de resíduos resultantes das atividades da empresa.
Poluentes Atmosféricos (%)	A pontuação dos poluentes atmosféricos representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa em relação aos poluentes atmosféricos.
Poluentes da Terra e da Água (%)	A pontuação dos poluentes terrestres e hídricos representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa com relação a poluentes terrestres e hídricos.
Recursos Naturais Utilizados (%)	A pontuação dos recursos naturais utilizados representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos atividades da empresa com relação aos recursos naturais utilizados.

Fonte: Adaptado de Ahmadova *et al.* (2021)

¹⁰ A fim de amenizar a escala das variáveis, todas foram colocadas em *ln* na realização das estimações.