



Produtividade e inovação ambiental: uma análise da indústria de transformação de Minas Gerais

*Maria Alice Ferreira dos Santos** , *Emerson Costa dos Santos*** ,
*Maria de Fátima Rocha Maia**** 

* Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Montes Claros (MG), Brasil.
E-mail: maria.alice@unimontes.br

** Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Montes Claros (MG), Brasil.
E-mail: emerson.santos@unimontes.br

*** Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Montes Claros (MG), Brasil.
E-mail: fatima.maia@unimontes.br

SUBMISSÃO: 06 DE DEZEMBRO DE 2021 VERSÃO REVISADA (ENTREGUE): 20 DE MARÇO DE 2023
APROVADO: 22 DE MARÇO DE 2023

RESUMO:

A inovação com a incorporação da dimensão ambiental tornou-se um elemento central do debate sobre o desenvolvimento socioeconômico diante dos problemas ambientais crescentes. O trabalho objetiva analisar, por meio de dados em painel e da Pesquisa de Inovação (PINTEC), a relação entre produtividade e inovação ambiental na indústria de transformação de Minas Gerais no período de 2000 a 2014. Os resultados indicaram que a adoção de inovações ambientais por parte das empresas afeta positivamente a produtividade das mesmas, sendo a regulação ambiental um dos fatores que também contribuíram para esse aumento ao analisar os níveis de intensidade tecnológica; resultado que evidencia a importância das heterogeneidades setoriais, além dos fatores individuais das firmas. Nesse sentido, sugere-se que o fortalecimento de ações de Pesquisa & Desenvolvimento com enfoque em reduzir impactos ambientais e instrumentos regulatórios específicos podem contribuir para se ter uma indústria de transformação mais aberta a práticas eficientes de gestão ambiental.

PALAVRAS-CHAVE | INOVAÇÃO AMBIENTAL; PRODUTIVIDADE; INDÚSTRIA

Productivity and environmental innovation: an analysis of the transformation industry in Minas Gerais

ABSTRACT

Innovation with the incorporation of the environmental dimension has become a central element of the debate on socioeconomic development in the face of growing environmental problems. The work aims to analyze, through panel data and the Innovation Survey (PINTEC), the relationship between productivity and environmental innovation in the processing industry of Minas Gerais in the period from 2000 to 2014. The results indicated that the adoption of environmental innovations by companies positively affects their productivity, with environmental regulation being one of the factors that also contributed to this increase when analyzing the levels of technological intensity; a result that highlights the importance of sectoral heterogeneities, in addition to the individual factors of the firms. In this sense, it is suggested that strengthening Research & Development actions focused on reducing environmental impacts and specific regulatory instruments can contribute to having a manufacturing industry more open to efficient environmental management practices.

KEYWORDS | ENVIRONMENTAL INNOVATION; EFFICIENCY; INDUSTRY

1. Introdução

A sociedade atual tem buscado utilizar cada vez menos materiais para produzir a mesma unidade de produto. Entretanto, devido à magnitude do crescimento da produção relacionado ao excesso de consumo e uso dos recursos naturais, a pressão sobre os recursos continua crescendo em termos absolutos. Buscar substituir ou adaptar padrões tecnológicos atuais constitui alternativa para promover o crescimento sustentável ambiental (ABRAMOVAY, 2012).

Na década de 1990, com a crescente preocupação da sociedade com o meio ambiente, a questão ambiental ganhou espaço no debate acadêmico, governamental e também nas empresas brasileiras. O desenvolvimento sustentável auferiu comprometimento e relevância global na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), com a Agenda 21, em que foi estabelecida uma visão de longo prazo para equilibrar necessidades econômicas e sociais com os recursos naturais do planeta. Desde então, o processo de adoção de políticas com requisitos ambientais a inúmeras atividades econômicas ganhou destaque e a demanda por produtos ambientalmente menos agressivos cresceu em paralelo. Os padrões internacionais de eficiência ambiental se elevaram gradativamente e algumas instituições passaram a atrelar financiamentos de projetos aos resultados de avaliações ambientais (UNITED NATIONS, 1992).

Nesse período, surge o conceito de Inovação Ambiental (IA) ou *eco-innovation*. A “eco-inovação” é a produção, assimilação e exploração de um produto e/ou processo, serviços ou gestão, método novo para a organização, que resulta, ao longo de seu ciclo de vida, na redução de poluição e outros efeitos negativos da utilização dos recursos, em comparação com alternativas relevantes (KEMP; PEARSON, 2008). A IA reduz ou elimina impactos ambientais causados pela firma, em âmbito local ou global, podendo ser desenvolvida de maneira intencional e premeditada pela empresa ou acidental. O conceito utilizado contempla a ecoinovação técnica, delimitada como as iniciativas de inovação concebidas no âmbito dos produtos e/ou processos, com

vistas à otimização do uso dos insumos, focada na conservação dos recursos ambientais.

Para o Brasil, especificamente, os resultados da Pesquisa de Inovação (PINTEC), nas edições de 2008, 2011 e 2014, identificaram que houve crescimento no número de empresas brasileiras que adotaram novas técnicas de gestão ambiental e inovaram com consequente redução nos impactos ambientais. Contudo, o crescimento dessas vem perdendo força ao longo dos anos, diante da considerável redução dos investimentos em tecnologias ambientais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016).

As empresas desempenham um papel importante, uma vez que seu produto alcança diretamente a população, influenciando o seu consumo. Entretanto, o setor industrial afeta significativamente o meio ambiente, seja por seus processos produtivos ou pela fabricação de produtos poluentes e/ou que tenham problemas de disposição final após sua utilização (PORTER; DER LINDE, 1995). Assim, a adequação dos padrões de produção para a minimização de impactos ambientais se torna de fundamental.

Na década de 1990, a discussão sobre a produtividade¹ da indústria brasileira, relacionada à abertura comercial e a reestruturação produtiva, foram evidenciadas por Bonelli e Fonseca (1998) e Feijó e Carvalho (1994), identificando-a como a principal mola propulsora do crescimento da produtividade brasileira, representando uma quebra nas políticas estruturalistas predominantes no Brasil, tais como as baseadas na substituição de importações, para proteção da indústria nacional. Outros, porém, como Considera (1995) e Silva et al. (1994), associavam o aumento da produtividade às flutuações cíclicas da economia.

Iniciou-se também nesta década, a discussão de como a imposição de normas ambientais afetava a produtividade das empresas.

¹ Na abordagem tradicional, consideram-se duas formas para se medir a produtividade: a da produtividade total dos fatores de produção e a da produtividade parcial, que se refere a um fator de produção ou insumo. Neste caso, o mais comum é utilizar-se a produtividade do trabalho, a qual é a relação entre o valor agregado e o número de horas trabalhadas ou de pessoas ocupadas.

O argumento central é que adequadas regulações ambientais podem induzir inovações que podem compensar os custos de adequar-se a tais regulações, conhecido como Hipótese de Porter (HP). Assim, a preservação ambiental estaria associada ao aumento da produtividade dos recursos utilizados na produção.

Minas Gerais, particularmente, desde a década de 1970, especializou-se, em atrair indústrias mais intensivas em recursos naturais, onde os países periféricos tornaram-se atraentes para a instalação de indústrias com fortes impactos ambientais, com consequências para a qualidade ambiental e de vida. Em 1977, foi criada a Comissão de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais (COPAM²), para definir a política de meio ambiente no estado e o repasse de recursos, para as atividades de qualidade e de controle ambiental e sua implementação, com evoluções na organização administrativa e orçamentária. Sua criação constituiu-se no marco para início da implantação de políticas de meio ambiente no estado, sendo um dos pioneiros a implementar a legislação ambiental e a preocupação governamental com questões ambientais tornou-se mais evidente.

O trabalho visou analisar os efeitos das IAs sobre a produtividade das empresas da indústria de transformação de Minas Gerais no período de 2000 a 2014. A sua contribuição tem o intuito de identificar como a relação da inovação em processos produtivos para garantir um desenvolvimento industrial sustentável, utilizando a estrutura econométrica de dados em painel, com quatro níveis de intensidade tecnológica, pode afetar os ganhos de produtividade das firmas, de modo a possibilitar o desenvolvimento de políticas e estratégias mais sustentáveis. A hipótese levantada é a de que as firmas que adotam IAs tendem a melhorar a sua produtividade; e, que as regulações ambientais podem afetar positivamente a produtividade das firmas.

Esse estudo está dividido em três seções, além dessa introdução e das conclusões. A seção 2 compreende a abordagem teórica da relação entre inovação e produtividade e da literatura empírica sobre a conceituação de IA e produtividade. A seção 3 apresenta a metodologia e a fonte das

² Renomeada em 1988, como Conselho Estadual de Política Ambiental.

variáveis utilizadas e a seção 4 analisa os resultados encontrados por meio de estatísticas descritivas e estimação econométrica.

2. A relação entre inovação e produtividade

A discussão sobre a inovação e o progresso técnico no desempenho das empresas ainda fomenta discussões teóricas e empíricas, inclusive quando se busca o nível ótimo de investimento em inovação e o seu efeito sobre a produtividade. Os primeiros trabalhos revelaram que menos da metade do crescimento da produtividade era representado pelo aumento dos insumos capital e trabalho. Na maioria das vezes, o resíduo foi atribuído ao progresso técnico, influenciando uma vasta literatura na busca por medidas para quantificar essas mudanças tecnológicas na tentativa de explicar o crescimento residual da produtividade (GRILICHES, 1996).

Griliches (1979) identificou que as firmas, pelo menos no início, continuam exógenas ao processo de produção de conhecimento, mas têm suas atividades gradativamente transformadas ao fornecer conhecimento como *input* para as iniciativas de inovação. A análise da relação entre inovação e produtividade ganhou destaque, na concepção do autor, em definir o investimento em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), dado pelo somatório de fluxos de investimento, como um estoque de conhecimento da firma. Assim, numa função de produção do tipo Cobb-Douglas, o estoque de conhecimento seria alocado como um insumo, como acontece com o capital e o trabalho.

Griliches (1979) com uma função de produção de valor agregado do tipo Cobb-Douglas que inclui o estoque de conhecimento como um fator separado da produção, conforme expressão (1):

$$Y_t = AD_t^\beta K_t^{\alpha_1} L_t^{\alpha_2} e^{\mu t} \quad (1)$$

Em que Y_t é igual ao produto (valor agregado), D_t é o estoque de conhecimento em P&D, L_t é o insumo trabalho, K_t é o insumo capital, A é uma constante, e μ é uma tendência temporal que capta influências

de outros fatores. Uma medida da Produtividade Total dos Fatores (PTF) é dada por:

$$PTF_t = Y_t / (K_t^{\alpha_1} L_t^{\alpha_2}) \quad (2)$$

E assumem-se constantes retornos de escala em relação aos insumos capital e trabalho, o que implica $\sum \alpha_i = 1$. Em geral, os estudos consideram que α_i são as ações reais do trabalho e do capital nos custos totais, assumindo que o produto e os mercados de fatores são competitivos. Ao combinar as Equações 1 e 2, tem-se:

$$PTF_t = AD_t^\beta e^{\mu t} \quad (3)$$

Linearizando a expressão (3), tem-se:

$$\log PTF_t = \log A + \beta \log D_t + \mu t \quad (4)$$

Diferenciando a Equação 4 com relação ao tempo e considerar $[d \log PTF_t] / dt = \dot{T} / T$:

$$\frac{\dot{T}}{T} = \beta \frac{\dot{D}}{D} + \mu \quad (5)$$

da Equação 1 é possível interpretar β como sendo a elasticidade do produto com relação ao conhecimento de capital, isto é:

$$\beta = \frac{\partial \log \log Y}{\partial \log \log D} = \frac{\partial Y}{\partial D} \cdot \frac{D}{Y} \quad (6)$$

Desse modo, a expressão (6) pode ser escrita como:

$$\frac{\dot{T}}{T} = \frac{\partial Y}{\partial D} \cdot \frac{D}{Y} \frac{\dot{D}}{D} + \mu = \rho \frac{R}{Y} + \mu \quad (7)$$

em que $\rho = \partial Y / \partial D$ e $R = \partial D$ (ou seja, investimento líquido em conhecimento).

A PTF do setor i é afetada tanto pelo seu P&D, quanto pelos avanços de produtividade do setor j , ou seja, o conhecimento de um setor dependerá do investimento direto em P&D e do P&D incorporado

adquirido de outros setores. Essa modelagem aponta que as firmas que inovam tendem a possuir níveis consideráveis de investimento em P&D e novo conhecimento econômico. Consequentemente, firmas com muito insumo de P&D possuem um grau alto de produto da inovação (GRILICHES, 1979).

Kleinknecht, Poot e Reiljnen (1991) enfatizaram que as métricas com foco em P&D conseguiam capturar somente as atividades inovadoras provenientes dos orçamentos formais das empresas e, que as práticas informais de P&D, usuais nas pequenas e médias empresas, passavam ao largo desses levantamentos. No mesmo sentido, realçaram que as atividades de P&D voltadas para a cópia, a imitação e a absorção de tecnologias, mesmo quando inscritas nos orçamentos de P&D das empresas, não eram tratadas como produtoras de conhecimento novo nem de inovações.

Na visão neoclássica, a difusão tecnológica seria um resultado cumulativo ou agregado de uma série de indivíduos racionais que contrastam o benefício adicional de adotar uma nova tecnologia e os custos da mudança, em um ambiente de incerteza e de informação limitada. Apesar de a decisão ser tomada pela demanda, os custos e benefícios são influenciados pelas decisões dos fornecedores da nova tecnologia. Nesse sentido, a literatura empírica dos efeitos produtivos das atividades de P&D destaca a existência dos transbordamentos tecnológicos, que surgem quando os investimentos em tecnologia criam benefícios que não são exclusivamente para os inventores, e quando, com o uso conjunto da tecnologia, o lucro das firmas é maior (LOS; VERSPAGEN, 2000).

Nos últimos anos, reconheceu-se na literatura que os *spillovers* de conhecimentos provenientes de fontes externas podem ter um impacto significativo nos processos de inovação, mudança técnica e desenvolvimento econômico. Tal fato se dá por apenas algumas organizações conseguirem gerar internamente todo o conhecimento de que necessitam para manter um contínuo desenvolvimento tecnológico. Enquanto produtos e processos mais eficientes surgiriam, o

conhecimento próprio começaria a perder sua especificidade, vazando para outras firmas do setor (GRILICHES, 1979).

Como o investimento em P&D de um setor aumenta a produtividade dos outros setores, os *spillovers* têm efeito positivo na produtividade, de modo que sua magnitude varia entre empresas de alta, média e baixa tecnologias. Griliches (1979) destaca dois tipos de *spillovers*: de renda, relacionado a transações econômicas e de conhecimento, ligado não ao produto, mas ao conhecimento criado em alguns setores que pode ser usado em outros; estes estão relacionados mais diretamente ao conhecimento incorporado nas inovações do que nas transações econômicas.

2.1 A produtividade e o meio ambiente

A visão clássica tradicional sobre a responsabilidade social das firmas, representada por Friedman (1970), aponta que empresas devem constituir na utilização de recursos e no engajamento em atividades que garantam seus lucros e maximizar os seus retornos. Friedman (1970) é contrário a qualquer ação empresarial que não seja voltada aos interesses econômicos da própria empresa de maneira a não lesar o empresário. O empresário ao desviar-se do seu objetivo estará disponibilizando recursos da empresa que resultarão na redução do lucro. Essa visão economicista atrela a empresa apenas ao fator econômico, desconsiderando a sua responsabilidade social e ambiental, já que os recursos disponibilizados para essa finalidade advirão dos lucros de empresários. Ao considerar gastos que considerem o aspecto ambiental, implicaria custos para as firmas.

Um dos primeiros estudos que observou a relação entre as IAs, as regulações e o desempenho econômico das empresas foi o desenvolvido por Porter e Der Linde (1995). Estes defenderam o princípio de que “[...] normas ambientais adequadamente projetadas podem desencadear inovações que reduzem o custo total de um produto ou melhoram o seu valor” (PORTER; DER LINDE, 1995, p. 120) e compensariam os custos de submissão das firmas à inovação.

A “Hipótese de Porter” (HP) considera a regulação ambiental como um canal indutor para adoção de IAs e, conseqüentemente, a obtenção de ganhos de competitividade por parte das firmas. Em uma visão estática, onde produção, tecnologia, processos e demanda dos consumidores são fixos, padrões ambientais mais rígidos certamente levariam ao aumento de custos e tenderiam a reduzir a parcela de mercado das empresas em um mercado globalizado (PORTER; DER LINDE, 1995). Os autores consideram essas variáveis como dinâmicas, capazes de proporcionar soluções inovativas às pressões dos consumidores, competidores e, inclusive, das regulações.

Entretanto, a HP é controversa, sua análise foi baseada em um pequeno número de estudos de caso de empresas, que conseguiram reduzir tanto as suas emissões de poluentes quanto os seus custos de produção, contudo não podendo ser generalizado. Ademais, os economistas sugerem que, em uma economia perfeitamente competitiva, se há oportunidades para reduzir custos e ineficiências, as empresas poderiam identificá-los por si mesmos, sem a necessidade de indução via regulações.

As tentativas de autores de testar empiricamente a HP levaram a duas abordagens principais: a versão “fraca” da HP – a ligação entre a intensidade da regulação e a IA. As inovações não são somente mudanças tecnológicas e podem incluir “o *design* de um produto ou serviço, os segmentos que atua, como ele é produzido, como ele é comercializado e seu suporte pós-vendas”; e, a versão “forte” da HP – o impacto da regulação ambiental no desempenho competitivo da empresa. Embora esta não considera a causa desta variação no desempenho, muitas vezes medido pela sua produtividade (PORTER; DER LINDE, 1995, p. 98).

A literatura aponta algumas *proxies* para mensurar a regulação ambiental, considerando os custos de redução da poluição, relacionados ao cumprimento da legislação ambiental, uma vez que este custo deve aumentar quando os regulamentos forem mais rigorosos; e, o número de fiscalização de monitoramento do governo. Outras alternativas podem ser verificadas pela quantidade de avaliação ambiental recebidas pela

empresa; e, também, sobre o enquadramento em regulações relativas ao mercado interno ou externo.

Ao analisar a relação entre IAs e produtividade, Rexhäuser e Rammer (2011), utilizando dados de empresas alemãs em 2009, estimou os impactos destes dois tipos de IAs sobre a produtividade da empresa: as que reduzem diretamente o consumo de recursos das que reduzem danos ambientais sem aumentar a eficiência de recursos. A conclusão é de que as IAs que melhoram a eficiência dos recursos têm um impacto positivo e significativo sobre a lucratividade das firmas, enquanto as IAs redutoras de danos ambientais têm impacto negativo sobre a lucratividade das firmas.

Lanoie et al. (2011) combinaram duas versões da HP: a ligação entre a intensidade da regulação e a IA e o impacto da regulação ambiental no desempenho da empresa. Utilizando dados da OCDE em sete países industrializados através do método dos Mínimos Quadrados em Dois Estágios, encontraram, no primeiro estágio, uma ligação positiva entre as regulações ambientais e a IA, consistente com a versão “fraca” da HP. Além disso, a IA tem um impacto positivo sobre o desempenho dos negócios. Isso evidencia a ligação de causalidade sugerida pela versão “forte” da HP. Os autores também notam que a regulação ambiental tem um efeito negativo direto sobre o desempenho do negócio, isto é, o efeito positivo da inovação no desempenho dos negócios não compensa o efeito negativo do próprio regulamento.

Soltmann et al. (2013) exploram dados em painel com 7.920 indústrias manufatureiras de 12 países da OCDE no período de 1998 a 2009. Utilizaram uma função de produção Cobb Douglas para regredir o estoque de patente verde sobre o valor adicionado total. Definiram patentes verdes como controle da poluição da água, gestão de resíduos sólidos e energia renovável e encontraram uma relação em formato de U entre a intensidade de patentes verdes e a produtividade, ou seja, para a maioria das indústrias, um nível intensidade de patentes verdes afeta a produtividade negativamente. O ponto de viragem é consideravelmente alto, o que implica que apenas algumas indústrias,

com grande estoque de patentes verdes, são mais propensas a apresentar efeito positivo sobre a produtividade.

Albrizio et al. (2014) analisaram o efeito das mudanças de política de regulação ambiental sobre o crescimento da produtividade nos países da OCDE. Os autores experimentaram um novo índice de rigor da política ambiental (*Environmental Policy Stringency* – EPS) e testaram um modelo do crescimento da produtividade multi-fatorial, que considera que o efeito das medidas de política ambiental varia com a intensidade da poluição da indústria e o avanço tecnológico. Os resultados sugerem que o crescimento da produtividade é afetado negativamente pela mudança de política após um ano. Entretanto, o efeito negativo é compensado três anos após a realização da mudança de política ambiental.

Marin (2014) utiliza uma expansão da função de produção Cobb Douglas para verificar como o número de pedidos de patentes ambientais por empregado afeta a produtividade do trabalho em empresas industriais italianas. O autor conclui que as IAs têm pouco impacto positivo na produtividade. No entanto, a análise não considera explicitamente o papel do rigor de regulação ambiental sobre a IA e produtividade.

García-Pozo, Sánchez-Ollero e Ons-Cappa (2018) analisaram o impacto de fatores relacionados à inovação e ao meio ambiente, entre outros, na produtividade do trabalho no setor de transportes espanhol. A metodologia utilizada foi o modelo estrutural do CDM e dados do Painel de Inovação Tecnológica (PITEC) para o período de 2003 a 2014. Os resultados mostraram que a redução do impacto ambiental tem um efeito significativo e positivo em todas as etapas do processo inovativo e, sobretudo, na produtividade do trabalho das empresas de transporte, onde a melhoria da produtividade do trabalho pode chegar a 8,35% em comparação com empresas não ecoinovadoras. Essa descoberta pode servir como um alerta para as empresas do setor de transporte que precisam melhorar suas atividades adotando atitudes ambientalmente proativas.

Ahmad e Wu (2022) investigaram a influência do crescimento da produtividade verde, globalização econômica e inovação na presença de capital humano, desenvolvimento financeiro, e Produto Interno Bruto (PIB) sobre a pegada ecológica para um painel de 20 países membros da OCDE de 1990 a 2017, por meio do método de regressão quantílica em painel. Os resultados mostraram que o crescimento da produtividade verde mitiga o impacto da degradação ecológica; a globalização econômica apresenta efeitos mistos, de modo que pode induzir o impacto da deterioração ecológica na ausência de sua interação com aecoinovação, ao mesmo tempo, em que traz um impacto de proteção ecológica quando há esta interação; e, aecoinovação demonstra um impacto na proteção ecológica, mais influente em países com maior pegada ecológica. Os autores concluem que as tecnologias ambientais limpas e energeticamente eficientes podem promover a sustentabilidade ecológica a longo prazo.

Amin, Zhou e Safi (2022) avaliaram o impacto daecoinovação e da produtividade energética sobre o consumo ajustado ao comércio de emissões de carbono para as 11 (onze) economias mais próximas (N-11) usando dados de 1995 a 2019, por meio de dados em painel. Os resultados confirmam a relação de cointegração de longo prazo para emissões de carbono baseadas no consumo com exportações, importações, produto interno bruto, produtividade energética eecoinovação. Ademais, qualquer política que vise produtividade energética, exportações, importações, PIB eecoinovação deve ajudar a alcançar o equilíbrio em mais de 1 ano. O papel da produtividade energética e da inovação relacionada ao meio ambiente é crucial para atingir a meta de neutralidade de carbono das N-11 economias.

Podcameni e Queiroz (2014) utilizaram um modelo *probit* para a PINTEC 2003 para estimar o impacto da IA sobre a competitividade das firmas. Os resultados indicaram que a adoção de IAs se deu indiretamente através da redução dos custos e aumento da qualidade dos produtos. As autoras concluem que, no grupo das empresas inovadoras, as empresas que tiveram maiores chances de aumentar

a competitividade foram as empresas que implementaram inovações com significativa redução do impacto ambiental.

Santos e Féres (2016) estudaram os determinantes da adoção de IAs e o seu impacto sobre a produtividade da indústria brasileira no período de 2000 a 2011, por meio de dados em painel da PINTEC, com aplicação do modelo CDM. Constataram que a regulação ambiental é um fator importante para impulsionar a IA, de modo a apresentar instrumentos mais específicos de iniciativas empresariais, induzindo as firmas a adotarem produtos/processos menos danosos ao meio ambiente. Houve um efeito positivo sobre o impacto da IA sobre a produtividade das firmas.

De modo geral, os estudos apontaram que a produtividade é positivamente afetada pelas IAs, seja analisada de forma mais geral referente a algum tipo de inovação que proporcionou redução de impacto sobre o meio ambiente, seja de forma mais específica como a análise de patentes verdes, pegada ecológica *per capita*, tecnologias limpas, visando reduzir emissões de carbono, efluentes líquidos e resíduos sólidos, controlar poluição, dentre outros. Empresas que adotaram IA possuem níveis mais elevados de volume de negócios por empregado do que as empresas que introduzem apenas inovação; e, que, as IAs que melhoram a eficiência dos recursos afetam positivamente a produtividade das firmas.

Entretanto, alguns dos estudos não encontraram efeitos das IAs sobre a produtividade ou ainda que as IAs afetam negativamente a produtividade, ao considerar uma análise de curto prazo. Isso pode significar que grande parte dos investimentos necessários para cumprir a regulação representam custos de produção adicionais, como por meio de investimentos em tecnologia do tipo *end-of-pipe*. Embora alguns desses custos possam ser compensados pelos ganhos de eficiência por meio do investimento em P&D, o efeito líquido permanece negativo. Os estudos ainda apontam que a regulação ambiental não pode ser vista como um aumento da produtividade das empresas em qualquer caso e que a mesma pode ser válida apenas nos casos em que as regulações

permitam que as empresas reduzam as externalidades ambientais, aumentando sua eficiência de recursos.

Para atingir ao objetivo proposto neste trabalho, a literatura revisada contribui consideravelmente para a seleção das variáveis explicativas usadas no modelo econométrico de produtividade na indústria de Minas Gerais. Contribui para uma melhor compreensão do fenômeno e, para o fornecimento de dados e evidências, propiciando a formulação de políticas de incentivo à adoção de inovações com foco no meio ambiente.

3. Metodologia

3.1 Base de dados e descrição de variáveis

Para alcançar o objetivo foram utilizados dados da PINTEC e da Pesquisa da Indústria Anual (PIA) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021a, b). A primeira coleta informações relevantes sobre inovação e a segunda fornece variáveis relevantes sobre o desempenho econômico-financeiro das empresas. As informações da PINTEC são divulgadas a partir da CNAE 2.0. Para a composição do estrato aleatório, assume-se a premissa de que a inovação constitui um fenômeno raro, o que justifica atribuir maior probabilidade de seleção àquelas empresas com maior potencial inovador, sendo que isto é expresso por meio de algumas características observadas da firma, como ter lançado patente, recebido financiamento/subvenção para inovação, sido inovadora, conduzido P&D, entre outras. Esta maior probabilidade não causa viés nos resultados, uma vez que o peso de cada empresa na amostra é inversamente proporcional à probabilidade de seleção.

Na construção dos dados em painel foram utilizadas seis edições da PINTEC: 2000, 2003, 2005, 2008, 2011 e 2014 combinadas com as PIAs de 2000 a 2014. Os modelos de regressão com dados em painel

agregam uma combinação de séries temporais e de observações em corte transversal multiplicadas por T períodos de tempo. Nesse caso, há muito mais informação para se estudar o fenômeno e graus de liberdade adicionais (BALTAGI, 2001).

As variáveis estão dispostas, em três grupos, no Quadro 1. O primeiro aborda dados referentes à produtividade do trabalho e variáveis referentes aos dados da empresa sobre os fatores de produção: número de pessoal ocupado, capital, consumo de matérias-primas por trabalhador; e, produtividade do trabalho.

No segundo estão as variáveis de enfoque ambiental e ambiente concorrencial da firma: a IA diz respeito à importância dos impactos das inovações de produto e/ou processo pelas empresas que permitiram reduzir o impacto sobre o meio ambiente; regulação ambiental, para as empresas que responderam que a inovação possibilitou o enquadramento em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo; e, participação da firma no mercado (*market share*).

No terceiro, a inserção internacional da firma: capital estrangeiro e exportação. As firmas inseridas em um ambiente concorrencial precisam considerar as mudanças nos padrões de consumo dos consumidores que se tornaram mais exigentes em relação à preservação ambiental.

O recorte por nível de intensidade tecnológica e de atividade econômica que a empresa pertence é definido pela OCDE que está apoiada na relação entre os gastos em P&D e o valor agregado ou nos gastos em P&D e a receita líquida de vendas e reúne os setores da indústria de transformação em quatro grupos principais de intensidade tecnológica: alta, média-alta, média-baixa e baixa (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2010).

A análise para Minas Gerais se faz importante, uma vez que cada estado brasileiro possui estruturas econômicas e de apoio às atividades inovativas distintas e, por isso, analisar, especificamente, o estado representa um avanço no sentido de explorar a dimensão temporal e regional, além de investigar a dinâmica de especialização

QUADRO 1
Variáveis utilizadas

Códigos	Variáveis	Descrição	Fontes
Fatores de Produção e Variáveis de Resultado			
PO	Pessoal Ocupado	Número de Trabalhadores. Capta o tamanho da empresa.	PIA
K	Valor do Estoque de Capital por trabalhador	Valor do estoque de capital físico por trabalhador (em Reais)	PIA
MP	Consumo de matérias-primas por trabalhador	Valor do consumo de matérias-primas por trabalhador (em Reais)	PIA
VTI	Valor da Transformação Industrial	Valor da Transformação Industrial (em Reais) = soma das vendas de produtos e serviços industriais	PIA
PT	Produtividade do Trabalho	Razão entre o valor da transformação industrial (VTI) e o número de pessoal ocupado (PO) (em Reais)	PIA
Inovação e Ambiente Concorrencial			
IA	Inovação Ambiental	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma tenha realizado inovação com redução de impacto sobre o meio ambiente	PINTEC
REG	Regulação Ambiental	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma se enquadre em regulações e normas-padrão relativas ao mercado interno ou externo	PINTEC
Mkt	<i>Market share</i>	Participação da receita líquida de vendas (RLV) da firma sobre a receita líquida de vendas total do setor de atividade econômica à qual ela pertence, definida com base na Classificação Nacional de Atividade Econômica 2.0 (CNAE 2.0)	PINTEC
Intec	Intensidade Tecnológica	Conjunto de 4 variáveis binárias de intensidade tecnológica, que recebem valores unitários para atividade econômica com intensidade tecnológica baixa, média-baixa, média-alta e alta, definido OCDE	PINTEC
Inserção Internacional			
Capcontr	Capital controlador	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a origem do capital controlador da firma seja nacional e zero caso seja estrangeiro ou misto	PINTEC
Exp	Exportação	Valor percentual das exportações	PINTEC

Fonte: Elaboração própria.

e diversificação direcionada pelo conhecimento tecnológico estadual, sob o período em análise.

3.2 Modelo Analítico

Para analisar os efeitos da IA sobre a produtividade das empresas da indústria de Minas Gerais, a função de produção foi modelada por meio de uma função do tipo Cobb-Douglas com retornos constantes de escala:

$$PT_{it} = IA_{it}\delta + X_{1it}\beta_1 + \alpha_i + u_{it} \quad (8)$$

Em que PT_{it} é produtividade do trabalho, IA_{it} é a variável de inovação e δ seu parâmetro, X_{1it} é o vetor de outras variáveis explicativas e β_1 , seus respectivos coeficientes, u_{it} é o termo de erro, α_i é a heterogeneidade setorial não-observada, $i = 1, 2, \dots, N$ – unidades de firmas e $t = 1, 2, \dots, T$ – período de tempo (anos).

O modelo apresentado foi estimado por efeitos fixos ou aleatórios. Wooldridge (2002) aponta que o principal determinante para decidir entre efeitos fixos e efeitos aleatórios é o efeito não observado α_i . Em situações em que α_i é correlacionado com as variáveis explicativas, o modelo de efeitos fixos é o mais indicado. Caso contrário, o modelo de efeitos aleatórios deve ser utilizado. Para tanto, aplica-se o teste de Hausman.

Com base na Equação 8, o modelo empírico pode ser apresentado como (9):

$$\ln PT_{it} = \beta_0 + \beta_1 IA_{it} + \beta_2 REG_{it} + \beta_3 \ln Mkt_{it} + \beta_4 \ln K_{it} + \beta_5 \ln MP_{it} + \beta_6 Capcontr_{it} + \beta_7 Exp_{it} + \beta_8 Intec_{it} + u_{it} \quad (9)$$

Em que PT_{it} é a produtividade do trabalhador, IA_{it} é a inovação ambiental, β_i são os parâmetros a serem estimados e u_{it} é o termo de erro. As variáveis relativas à função de produção estão logaritmizadas. As demais variáveis estão apresentadas no Quadro 1.

4. Apresentação e discussão dos resultados

4.1 Descrição analítica dos dados

Analisando a PINTEC, é possível calcular a taxa de inovação, medida do resultado dos esforços inovativos das empresas.

Conforme Tabela 1, que apresenta as taxas de inovação e de IA para as empresas da indústria de transformação de Minas Gerais, houve um crescimento sistemático da taxa de inovação em quatro pesquisas (de 1998 a 2003, de 27,84% para 42,66% e de 2003 a 2008, de 29,78% para 42,19%) e um decréscimo gradual nas últimas pesquisas, de 2008 a 2014 de 42,19% para 40,56% e de 40,56% para 34,10%. Essas foram maiores apenas na primeira edição da PINTEC, que abrangia o período 1998-2000. A justificativa pode ser a novidade dos conceitos e pouca familiaridade dos respondentes (CAVALCANTI; DE NEGRI, 2014).

TABELA 1
Taxa de inovação na indústria de transformação de Minas Gerais – 1998-2014

Período de referência	Total de empresas industriais	Total de empresas inovadoras	Taxa de inovação (%)	Total de empresas inovadoras ambientais	Taxa de inovação (%)
1998-2000	8272	2303	27,84	1008	43,78
2001-2003	7944	3388	42,66	1185	34,98
2003-2005	10446	3111	29,78	814	26,18
2006-2008	12113	5111	42,19	1727	33,79
2009-2011	13923	5647	40,56	2372	42,01
2012-2014	13559	4624	34,10	1753	37,91

Fonte: Elaboração própria a partir das bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021a).

A partir de 2009, verifica-se que a taxa de IA volta a crescer, e se mantém relativamente estável no período de 2012 a 2014. Esse

resultado pode ser justificado pelas atuais exigências dos consumidores diante de acidentes ambientais e fatores como a globalização dos negócios, a internacionalização dos padrões de qualidade ambiental e o fortalecimento dos partidos verdes pelo mundo, que têm instigado mudanças nas empresas, com a responsabilidade ambiental vista como uma questão de sobrevivência pelas mesmas.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas de variáveis para as empresas da indústria de transformação de Minas Gerais no período de 1998 a 2014.

TABELA 2
Descrição de variáveis binárias e contínuas para as empresas inovadoras de Minas Gerais no período de 1998 a 2014

Variáveis Binárias	1998-2000 (%)	2001-2003 (%)	2003-2005 (%)	2006-2008 (%)	2009-2011 (%)	2012-2014 (%)
Inovação Ambiental	43,8	42,7	29,8	42,2	40,6	37,9
Regulação Ambiental	33,7	26,4	23,0	38,2	43,3	53,6
Variável Contínua (Média)	1998-2000	2001-2003	2003-2005	2006-2008	2009-2011	2012-2014
Pessoal Ocupado	450282	506372	547299	653825	740838	779425
Produtividade do Trabalho (em <i>log</i>)	2,32	2,33	2,18	2,10	2,17	2,20

Fonte: Elaboração própria a partir das bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021a).

Conforme Tabela 2, verifica-se que 53,6% das empresas no período de 2012-2014 se enquadram em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que muitas firmas são reguladas ambientalmente em decorrência do setor de atuação e do porte, além de abranger o mercado externo que já é significativamente regulado na esfera ambiental, o que pode induzi-las a melhorar a qualidade ambiental de seus produtos e processos. Ademais, em relação à variável produtividade do trabalho, houve uma relativa estabilidade dessa variável para as empresas inovadoras mineiras no período analisado.

4.2 Resultados das estimações

Para analisar os efeitos das IAs sobre a produtividade das empresas da indústria de transformação de Minas Gerais, estimou-se o modelo com efeitos fixos com a produtividade do trabalho (*PT*) como variável dependente. A escolha desta variável foi motivada para evidenciar a inovação através dos produtos que efetivamente são resultantes da implementação de atividades inovativas, bem como distanciar dos problemas que podem impactar diretamente as vendas líquidas, como sazonalidades dos setores. A Tabela 3 apresenta os resultados das estimações.

TABELA 3
Estimações: Produtividade

Variável Dependente: lnPT	(1) Geral	(2) Baixa	(3) Média-baixa	(4) Média-alta	(5) Alta
IA	0,536*** (0,150)	0,403*** (0,088)	0,291** (0,094)	0,102 (0,079)	0,273* (0,106)
REG	0,125*** (0,060)	0,0529* (0,032)	0,101*** (0,034)	0,094*** (0,028)	0,025 (0,039)
lnMkt	0,618*** (0,224)	0,704*** (0,323)	0,698*** (0,283)	0,575*** (0,344)	0,640*** (0,279)
lnK	0,193*** (0,015)	0,170*** (0,009)	0,203*** (0,009)	0,206*** (0,009)	0,207*** (0,012)
lnMP	0,282*** (0,016)	0,298*** (0,009)	0,241*** (0,010)	0,311*** (0,009)	0,283*** (0,012)
Capcontr	0,162*** (0,042)	0,183*** (0,029)	0,204*** (0,028)	0,199*** (0,023)	0,169*** (0,029)
Exp	-0,001** (0,0004)	-0,0002 (0,0002)	-0,0006** (0,0003)	-0,0005** (0,0002)	0,0002 (0,0002)
Média-baixa	0,309*** (0,054)	-	-	-	-
Média-alta	0,421*** (0,063)	-	-	-	-
Alta	0,306*** (0,066)	-	-	-	-
R ² (<i>within</i>)	0,103	0,071	0,108	0,170	0,117
R ² (<i>between</i>)	0,417	0,339	0,396	0,448	0,437
R ² (<i>overall</i>)	0,438	0,337	0,405	0,457	0,454
Nº de Obs.	44262	15669	9866	10998	7729

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses, sendo estimados por *bootstrap* com mil replicações. Aplicou-se o teste de Hausman, para comparar os modelos de efeitos fixos e aleatórios, de modo que o resultado ($\chi^2 = 253,70$ com um *p_valor* = 0,0001) foi favorável ao primeiro, aceitando a hipótese de que o modelo de painel com efeito fixo é melhor do que o aleatório.

Percebe-se que a adoção de IA tem um efeito geral positivo e significativo sobre a produtividade, sugerindo que a introdução de IA

influencia diretamente sobre a melhora na produtividade das firmas em relação às demais empresas inovadoras. Esse resultado pode ser verificado também para as empresas por setores de intensidade tecnológica, exceto para as firmas com intensidade tecnológica média-alta, com maior magnitude para as firmas com intensidade tecnológica baixa (40,3%), média-baixa (29,1%) e alta (27,3%). A IA parece exercer um efeito maior sobre o desempenho produtivo dessas firmas, permitindo um aumento de produtividade através das vendas, ou seja, proporciona um aumento do produto maior do que um aumento do fator, induzindo a ganhos de escala. Esses resultados são consistentes com os apresentados por Lanoie et al. (2011) e García-Pozo, Sánchez-Ollero e Ons-Cappa (2018).

Os resultados têm implicações relevantes para a política econômica das empresas, no sentido de que os custos mais elevados envolvidos na introdução de medidas ambientalmente sustentáveis podem ser compensados por uma maior produtividade; a introdução de inovações com redução de impacto ambiental pode ajudar as empresas a atender à crescente demanda por serviços ambientalmente sustentáveis nos diversos setores. Isto também pode ajudar as empresas a diferenciar seu produto, aumentar a fidelidade entre “clientes verdes” e melhorar sua participação no mercado. E, ainda, investir em medidas ambientais podem fazer parte da responsabilidade social corporativa da empresa, melhorando a sua imagem social face a uma crescente procura de atividades econômicas que não agridam o meio ambiente, contrariando a visão friedmaniana.

A variável *REG* mostrou-se positiva e significativa para todos os modelos apresentados, com exceção das firmas mais intensivas em tecnologia. As regulações ambientais modificam o ambiente seletivo, influenciando diretamente a competitividade das firmas, que varia de um setor a outro conforme os seguintes fatores: gastos com o meio ambiente (custos e investimentos), tipo de setor e seus potenciais impactos sobre o meio ambiente, possibilidade de diferenciação de produto, esfera da concorrência (local, regional ou internacional), tamanho da empresa, ciclo de investimento. Os resultados sugerem que ao considerar as

regulações ambientais vigentes, as firmas apresentaram melhora na sua produtividade, de modo que a proteção do meio ambiente pode funcionar como um estímulo para o desempenho dos negócios, afetando positivamente a produtividade das firmas, corroborando com os resultados encontrados por Santos e Féres (2016).

Ademais, a regulação ambiental gera um sinal para as firmas de possíveis ineficiências de recursos, criando uma possibilidade de melhora tecnológica. Através da geração de pressão nas firmas e setores, a regulação pode auxiliar a superar a inércia e romper o *lock-in* de determinadas trajetórias tecnológicas. Essa variável pode ainda gerar informação que ajude a reduzir as incertezas inerentes aos processos inovativos, ainda maiores quando se trata das IAs; e, vantagens competitivas para as firmas que tenham se adaptado mais rápido às regras, pois a geração de uma resposta inovativa anterior às demais concorrentes acarreta vantagens de ser um *first-mover*, tais como o incremento da capacidade de *learning-by-doing* pela firma.

A estrutura de mercado, representada pela variável *market share*, aparece com um fator importante para a produtividade das firmas, sendo um elemento-chave da relação entre estrutura do mercado e *performance* produtiva. Pelos resultados, verifica-se um efeito relevante positivo e significativo. O mesmo resultado pode ser verificado para as amostras conforme a intensidade tecnológica, observando que as firmas menos intensivas em tecnologia apresentaram um coeficiente um pouco mais expressivo que as firmas mais intensivas em tecnologia. Esse resultado é consistente com os encontrados por Rexhäuser e Rammer (2011) e Podcameni e Queiroz (2014).

As variáveis, *K* e *MP*, que compõem a função de produção tradicional apresentaram sinais positivos e significativos em todos os modelos. O coeficiente estimado para o estoque de capital é significativo para todos os grupos de firmas baseados em seus níveis de intensidade tecnológica e apresenta um padrão monotônico em relação aos níveis de intensidade tecnológica, de modo que quanto mais intensivo em tecnologia for a firma, maior é o seu estoque de capital. O consumo de matérias-primas, no que lhe concerne, também apresenta um impacto

positivo sobre a produtividade quando se passa de setores de mais baixa para os setores de mais alta intensidade tecnológica. De modo geral, nos setores de maior intensidade tecnológica, existe uma associação maior entre produtividade do trabalho e consumo de matérias-primas do que entre produtividade do trabalho e estoque de capital.

O resultado encontrado em relação à análise da função Cobb-Douglas corrobora com os estudos propostos por Griliches (1979), de que a inovação passou por um processo de evolução e incorporou diversos fatores de mensuração da atividade tecnológica na empresa. Estes fatores determinantes da inovação são os que conduzem ao aumento da produtividade como consequência do processo de inovação.

Destacam-se também *Capcontr* que se relaciona com a produtividade e que impacta positivamente sobre a mesma. Nota-se que a magnitude dessa relação entre a origem do capital ser nacional e a produtividade se mantém quando se analisa os setores com baixa e também os setores com alta intensidade tecnológica, apresentando resultados bem próximos. Em geral, as empresas de inserção internacional sofrem pressões do exterior em relação ao seu comportamento ambiental, seja de acionistas, dos financiadores, das matrizes ou das barreiras “verdes” ao comércio internacional. Dessa forma, a responsabilidade ambiental seria uma forma de manter a competitividade externa.

A variável *Exp* apresenta um coeficiente com o sinal negativo e significativo para todas as amostras, exceto para as firmas menos intensivas e mais intensivas em termos de tecnologia. Uma justificativa para o resultado inesperado é de que, apesar de não existir um consenso na literatura sobre os efeitos da intensidade da exportação de uma firma sobre o nível de produtividade dasecoinovadoras, o comércio internacional amplia o monitoramento sobre as práticas ambientais das empresas. Nesse contexto, a literatura de economia do meio ambiente discorre que os países baseados em exportação de *commodities*, como no caso do Brasil, os setores que tradicionalmente possuem fontes de poluição elevadas comparados a setores com alto conteúdo tecnológico, possuem uma relação inversa com a implementação de IAs.

A dinâmica setorial inerente a cada setor de intensidade tecnológica determina a forma de transformação industrial. Pela Tabela 3, verifica-se que as *dummies* de intensidade tecnológica se relacionaram positivamente com a produtividade no modelo apresentado na coluna (2). Ademais, percebe-se que nos modelos por nível de intensidade tecnológica, as variáveis explicativas, em sua maioria, se relacionam positivamente com a produtividade, de modo que em alguns setores o efeito é mais forte que em outros. Esta especificidade da dinâmica setorial se configura no efeito fixo captado pelo modelo e ratifica a importância da dinâmica setorial nas relações intrínsecas da produtividade.

Em suma, pode-se concluir que os modelos apresentaram resultados significativos e expressivos sobre a produtividade, de modo que foi possível confirmar a hipótese do estudo de que a regulação ambiental afeta positivamente a produtividade das firmas. Embora a HP esteja vinculada a rigidez da regulação ambiental, os dados sugerem que de fato as atividades ecoinovativas produzem efeitos positivos sobre a produtividade das firmas inovadoras da indústria de Minas Gerais.

5. Conclusões

O processo concorrencial das empresas nas economias capitalistas gera uma necessidade de diferenciação permanente em relação aos seus concorrentes e passa pelo processo de inovação. Ao ter o domínio de uma nova técnica de produção ou de um novo produto, a empresa consegue auferir vantagens econômicas, seja por lucros extraordinários, seja pela manutenção de sua parcela de mercado. Enquanto a preservação do meio ambiente se tornou um fator de diferenciação para as empresas, como uma oportunidade de negócios, surgiu a possibilidade de incluir preocupações ambientais em suas estratégias empresariais, por meio de práticas ecologicamente mais adequadas – adoção de tecnologias ambientais, implantação de sistema de gestão ambiental, racionalização do uso dos recursos naturais, entre outros.

Nesse sentido, o principal objetivo do estudo foi verificar se as empresas da indústria de Minas Gerais que adotam algum tipo de IA, bem como as influenciadas por regulações ambientais, têm verificado ganhos de produtividade por introduzirem práticas e tecnologias que tornam a sua produção mais sustentável.

Em relação ao efeito da IA sobre a produtividade, os resultados mostraram que a IA influenciou positivamente a produtividade das firmas. A regulação ambiental se mostrou um importante fator de influência na melhoria da produtividade, portanto, no desempenho competitivo das firmas. Esse resultado é relevante para o estudo, uma vez que corrobora com a literatura empírica de que as regulações são um fator crucial na dinâmica entre as inovações e o desempenho econômico e competitivo das firmas. Concluiu-se que o aumento da produtividade está positivamente relacionado à adoção de IA pelas empresas e depende tanto da indução dessas inovações pela regulação quanto a capacidade de resposta de cada firma da indústria de transformação mineira, evidenciando o caráter amplo e sistêmico do processo inovativo.

O tema abordado neste estudo tem relevância para o contexto atual no nível das firmas, visto que proporciona um debate pautado em evidências empíricas e um modelo capaz de diferenciar detalhes importantes para as conclusões da análise proposta. O estudo contribui para o debate no sentido de apresentar um panorama capaz de dotar gestores privados de dados e informações sistematizadas sobre indústrias inovadoras pautadas na redução de danos ambientais, permitindo a minimização das externalidades negativas dos negócios e ainda possibilitar ganhos de competitividade ao adotar esse tipo de inovação.

Cabe ressaltar a necessidade de uma constante mobilização das empresas e do Estado em relação às questões ambientais por meio da implementação e do aprimoramento de discussões sobre o assunto, a fim de que exista uma regulação e um incentivo efetivos por parte do Estado para as empresas na adoção de IA. O fortalecimento das agências de proteção ambiental é essencial, mas os instrumentos regulatórios devem conseguir fazer com que as firmas se adaptem às normas de

maneira mais eficiente. Desse modo, seria possível concretizar a participação de empresas mineiras ambientalmente sustentáveis e ratificar o compromisso do Estado em promover políticas públicas que garantam a adoção de IA com resultados positivos também para a produtividade das empresas.

Por fim, acredita-se que deve haver avanços no processo de conhecimento das práticas inovativas e de IA nas empresas de Minas Gerais. Nessa perspectiva, sugere-se que a PINTEC amplie e especifique os questionamentos sobre a adoção de inovações ambientais e efeitos sobre a produtividade, permitindo fazer distinções entre os tipos de IAs como, por exemplo, tecnologias limpas e do tipo *end-of-pipe*, identificando ainda os fatores da sua adoção.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos avaliadores anônimos da Revista Brasileira de Inovação que contribuíram com valiosas sugestões e comentários para o aprimoramento deste trabalho.

Referências

- ABRAMOVAY, R. Desigualdades e limites deveriam estar no centro da Rio+20. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 21-34, 2012.
- AHMAD, M.; WU, Y. Combined role of green productivity growth, economic globalization, and eco-innovation in achieving ecological sustainability for OECD economies. *Journal of Environmental Management*, London, v. 302, p. 113980, 2022.
- ALBRIZIO, S. et al. Do environmental policies matter for productivity growth? Insights from new cross-country measures of environmental policies. Paris: OECD Publishing, 2014. (OECD Economics Department Working Paper, 1176).

- AMIN, M.; ZHOU, S.; SAFI, A. The nexus between consumption-based carbon emissions, trade, eco-innovation, and energy productivity: empirical evidence from N-11 economies. *Environmental Science and Pollution Research International*, Berlin, v. 29, p. 39239-39248, 2022.
- BALTAGI, B. H. *Econometrics analysis of panel data*. 2nd ed. Chichester, UK: Wiley & Sons, 2001.
- BONELLI, R., FONSECA, R. *Ganhos de produtividade e de eficiência: novos resultados para a economia brasileira*. Rio de Janeiro: IPEA, 1998.
- CAVALCANTI, L. R.; DE NEGRI, F. *Evolução recente dos indicadores de produtividade no Brasil*. In: DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. (Org.). *Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes*. Brasília: ABDI/IPEA, 2014.
- CONSIDERA, C. M. *Ideologia, globalização e emprego*. *Jornal do Economista*, São Paulo, n. 83, dez. 1995.
- FEIJÓ, C., CARVALHO, P. G. M. *A evolução recente da produtividade e do emprego na indústria brasileira*. *Proposta*, Rio de Janeiro, n. 63, 1994.
- FRIEDMAN, M. *The social responsibility of business is to increase its profits*. New York: New York Times Magazine, 1970.
- GARCÍA-POZO, A.; SÁNCHEZ-OLLERO, J. L.; ONS-CAPPA, M. *Impact of introducing eco-innovation measures on productivity in transport sector companies*. *International Journal of Sustainable Transportation*, Philadelphia, v. 12, n. 8, p. 561-571, 2018.
- GRILICHES, Z. *Issues in assessing the contribution of R&D to productivity growth*. *The Bell Journal of Economics*, New York, v. 10, n. 1, p. 92-116, 1979.
- GRILICHES, Z. *The discovery of the residual: a historical note*. *Journal of Economic Literature*, Evanston, v. 34, n. 3, p. 1324-1330, 1996.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa de inovação. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa da Indústria Anual (PIA) 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) 2000, 2003, 2005, 2008, 2011, 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b.
- KEMP, R.; PEARSON, P. Final report MEI project about measuring eco-innovation: deliverable 15 of MEI project (D15). Paris: OECD Publishing, 2008. Project Report.
- KLEINKNECHT, A.; POOT, T. E.; REILJNEN, J. O. N. Technical performance and firm size: survey results from the Netherlands. In: ACS, Z. J.; AUDRETSCH, D. B. (Org.). Innovation and technological change: an international comparison. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1991.
- LANOIE, P. et al. Environmental policy, innovation and performance: new insights on Porter hypothesis. *Journal of Economics & Management Strategy*, Cambridge, v. 20, n. 3, p. 803-842, 2011.
- LOS, B.; VERSPAGEN, B. R&D spillovers and productivity: evidence from the US manufacturing microdata. *Empirical Economics*, Berlin, v. 25, p. 127-148, 2000.
- MARIN, G. Do eco-innovations harm productivity growth through crowding out? Results on an extended CDM model for Italy. Lucca: IMT Lucca EIC, 2014. (IMT Lucca EIC Working Paper Series, 03).
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OCDE. OECD science, technology and industry outlook. Paris: OECD Publishing, 2010.
- PODCAMENI, M. G.; QUEIROZ, J. M. Estratégia inovativa das firmas brasileiras: convergência ou divergência com as questões

ambientais? *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, v. 13, n. 1, p. 187-224, 2014.

PORTER, M. E.; DER LINDE, C. V. Toward a new conception of the environment: competitiveness relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, Nashville, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

REXHÄUSER, S.; RAMMER, C. Unmasking the Porter hypothesis: environmental innovations and firm-profitability. Mannheim: ZEW (Centre for European Economic Research), 2011. (ZEW Discussion Paper, 11-036).

SANTOS, M. A. F.; FÉRES, J. G. Inovação ambiental: determinantes e impactos sobre a produtividade da indústria brasileira. 2016. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SILVA, A. B. O. et al. Retrospectiva da economia brasileira: perspectivas da economia brasileira. Rio de Janeiro: IPEA, 1994.

SOLTMANN, C.; STUCKI, T.; WOERTER, M. The performance effect of environmental innovations. Zurich: KOF Swiss Economic Institute, 2013. (KOF Working Papers, 330).

UNITED NATIONS. Earth Summit Agenda 21: United Conference on Environment and Development – UNCED. Rio de Janeiro, 1992.

WOOLDRIDGE, J. *Econometric analysis of cross section and panel data*. Cambridge: MIT Press, 2002.

Contribuição dos autores:

A. Fundamentação teórico-conceitual e problematização: Maria Alice Ferreira dos Santos, Emerson Costa dos Santos, Maria de Fátima Rocha Maia.

B. Pesquisa de dados e análise estatística: Maria Alice Ferreira dos Santos, Emerson Costa dos Santos, Maria de Fátima Rocha Maia.

C. Elaboração de figuras e tabelas: Emerson Costa dos Santos

D. Elaboração e redação do texto: Maria Alice Ferreira dos Santos, Emerson Costa dos Santos, Maria de Fátima Rocha Maia.

E. Seleção das referências bibliográficas: Maria Alice Ferreira dos Santos, Emerson Costa dos Santos, Maria de Fátima Rocha Maia.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Fonte de financiamento: Os autores declaram que não houve fonte de financiamento.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution CC-BY, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.