

EDUCAÇÃO SUPERIOR E PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES VERDE: EVIDÊNCIAS DE PAINEL PARA ECONOMIAS EMERGENTES

**HIGHER EDUCATION AND GREEN TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY: PANEL
EVIDENCE FROM EMERGING ECONOMIES**

Ciências Sociais Aplicadas • 31/10/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/793329165](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/793329165)

Thiago Costa Holanda¹

Vania Costa Holanda²

Thaís Christine Loiola da Silva Ricardo³

RESUMO

Este artigo investiga o efeito do investimento público em educação superior sobre a Produtividade Total dos Fatores Verde (PTFV) em 32 economias emergentes da América Latina, Ásia, África, Europa Oriental e Comunidade dos Estados Independentes (CEI), no período de 2000 a 2022. A PTFV é calculada por duas abordagens complementares: resíduo de Solow ajustado pela intensidade de CO₂ e Índice de Malmquist-Luenberger (ML) via Função de Distância Direcional (DEA). A estratégia empírica emprega modelos de painel (*Pooled* OLS, Efeitos Fixos, Mundlak CRE, Primeiras Diferenças), estimador dinâmico Anderson-Hsiao IV e modelos de econometria espacial (SAR e SEM). O modelo espacial de painel revela *spillovers* significativos entre países (coeficiente da defasagem espacial de 0,309, $p < 0,05$), e o uso de energia *per capita* permanece como o principal determinante da PTFV (0,330, $p < 0,01$) mesmo após o controle por dependência espacial. A análise de heterogeneidade evidencia que o efeito da educação é positivo na Europa Oriental (0,117, $p < 0,05$) e negativo na África (-0,240, $p < 0,10$). Conclui-se que o canal entre educação e produtividade verde opera predominantemente por mecanismos indiretos e depende do contexto institucional regional.

Palavras-chave: Produtividade Total dos Fatores Verde; Educação Superior; Economias Emergentes.

ABSTRACT

This paper investigates the effect of public investment in higher education on Green Total Factor Productivity (GTFP) in 32 emerging economies from 2000 to 2022. GTFP is computed through two complementary approaches: a CO₂-intensity-adjusted Solow residual and the Malmquist-Luenberger Index via Directional Distance Functions (DEA). The empirical strategy employs panel data models (*Pooled* OLS, Fixed Effects, Mundlak CRE, First Differences), dynamic Anderson-Hsiao IV estimator and spatial econometrics models (SAR and SEM). The spatial panel model reveals significant *spillovers* between countries (spatial lag coefficient of 0.309, $p < 0.05$), and energy *per capita* use remains the main determinant of GTFP (0.330, $p < 0.01$) even after controlling for spatial dependence. The heterogeneity analysis evidences that the effect of education is positive in Eastern Europe (0.117, $p < 0.05$) and negative in Africa (-0.240, $p < 0.10$). It is concluded that the channel between education and green productivity operates predominantly through indirect mechanisms and depends on the regional institutional context.

(Pooled OLS, Fixed Effects, Mundlak CRE, First Differences), an Anderson-Hsiao dynamic panel IV estimator, and spatial econometric models (SAR and SEM). The spatial panel model reveals significant cross-country spillovers (spatial lag coefficient 0.309, $p < 0.05$), and energy use per capita remains the main GTFP determinant (0.330, $p < 0.01$) even after controlling for spatial dependence. Heterogeneity analysis shows education effects are positive in Eastern Europe (0.117, $p < 0.05$) and negative in Africa (-0.240, $p < 0.10$). The results suggest that the education-green productivity channel operates mainly through indirect mechanisms and depends on the regional institutional context.

Keywords: Green Total Factor Productivity; Higher Education; Emerging Economies.

1. INTRODUÇÃO

A busca por modelos de desenvolvimento econômico que conciliem crescimento, inclusão social e sustentabilidade ambiental constitui um dos desafios centrais do século XXI. No contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, especialmente os ODS 4 (Educação de Qualidade), 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), a compreensão dos mecanismos pelos quais o capital humano influencia a produtividade ambientalmente ajustada ganha relevância tanto teórica quanto prática.

A Produtividade Total dos Fatores (PTF) é amplamente reconhecida como o principal motor do crescimento econômico de longo prazo (Solow, 1956). Contudo, a PTF convencional ignora os custos ambientais associados ao processo produtivo, superestimando os ganhos reais de eficiência em economias intensivas em carbono. A

Produtividade Total dos Fatores Verde (PTFV) surge como alternativa que incorpora as externalidades negativas ambientais, penalizando a produção que gera elevadas emissões de gases de efeito estufa (Hu; Zheng, 2023).

Embora a literatura reconheça o papel da educação na promoção da inovação e da eficiência produtiva (Lucas, 1988; Romer, 1990), poucos estudos investigaram empiricamente a relação entre educação superior e PTFV em economias emergentes. Este artigo preenche essa lacuna ao estimar o efeito em 32 economias emergentes (2000-2022), empregando duas medidas de PTFV (Solow ajustado e Malmquist-Luenberger), cinco especificações de painel, entre as quais um estimador dinâmico IV, e econometria espacial (SAR/SEM) para capturar *spillovers* entre países.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produtividade Total dos Fatores Verde

A PTFV incorpora emissões de CO₂ como *output* indesejável no cálculo da produtividade. As abordagens mais consolidadas incluem o Índice de Malmquist-Luenberger (Chung; Färe; Grosskopf, 1997), que emprega funções de distância direcionais via DEA, e abordagens paramétricas com ajuste ambiental (Gao et al., 2019).

2.2. Educação Superior e Crescimento Verde

A teoria do crescimento endógeno (Lucas, 1988; Romer, 1990) estabelece que o capital humano é determinante central da inovação. Hu e Zheng (2023) estimaram a relação em 23 províncias chinesas via System-GMM. Bu e Alola (2025) identificaram efeitos não lineares da educação sobre o crescimento verde na China,

sugerindo dinâmicas de transição complexas. Zhang, Ma e Shang (2023) analisam a relação entre educação superior, inovação tecnológica e desenvolvimento verde com dados de painel das províncias chinesas, e Zhu (2025) examina o efeito dos gastos com educação superior sobre o desenvolvimento econômico sustentável sob a ótica da PTFV.

2.3. Econometria Espacial e Produtividade

A economia espacial reconhece que a produtividade de uma região é influenciada pela produtividade de seus vizinhos, por meio de difusão tecnológica, comércio e mobilidade de capital humano (Anselin, 1988). Modelos SAR (*Spatial Autoregressive*) capturam dependência espacial na variável dependente, enquanto modelos SEM (*Spatial Error Model*) capturam dependência nos termos de erro. A omissão de efeitos espaciais pode gerar estimativas viesadas e ineficientes dos coeficientes de interesse (LeSage; Pace, 2009).

3. METODOLOGIA

3.1. PTFV: Resíduo de Solow Ajustado

A primeira medida de PTFV é construída em duas etapas. Na primeira, calcula-se a PTF convencional pelo resíduo de Solow, com função Cobb-Douglas e estoque de capital estimado pelo Método do Inventário Perpétuo (taxa de depreciação de 5%). A participação do capital estimada é $\alpha = 0,45$. Na segunda etapa, aplica-se a penalização ambiental expressa na Equação (1):

$$PTFV_{i,t} = PTF_{i,t} \times [1 - 0,3 \cdot z_{i,t}] \quad (1)$$

em que $z_{i,t}$ é a intensidade de CO₂ normalizada.

3.2. PTFV: Índice de Malmquist-Luenberger

A segunda medida utiliza o Índice de Malmquist-Luenberger (ML), baseado em Funções de Distância Direcionais (DDF) resolvidas por programação linear (DEA). A DDF maximiza a expansão simultânea do produto desejável (PIB) e a contração do produto indesejável (CO_2), dados os insumos (trabalho e capital), sob retornos variáveis de escala (VRS). O Índice ML é calculado como a média geométrica de duas razões de eficiência avaliadas sob as fronteiras de dois períodos adjacentes, permitindo decompor o crescimento da produtividade em mudança de eficiência (EC) e progresso técnico (TC). Foram resolvidos 2.816 problemas de programação linear, resultando em 581 índices ML válidos (82,5% de cobertura).

3.3. Modelos de Painei e Estimador Dinâmico

Cinco especificações são estimadas: (1) *Pooled* OLS, (2) Efeitos Fixos (*within*), (3) Mundlak CRE (Mundlak, 1978), (4) Primeiras Diferenças e (5) Anderson-Hsiao IV (Anderson; Hsiao, 1982), que utiliza a segunda defasagem do nível como instrumento para a primeira defasagem diferenciada, estratégia usual na literatura de painéis dinâmicos (Bond, 2002). Os erros-padrão são clusterizados no nível do país.

3.4. Econometria Espacial

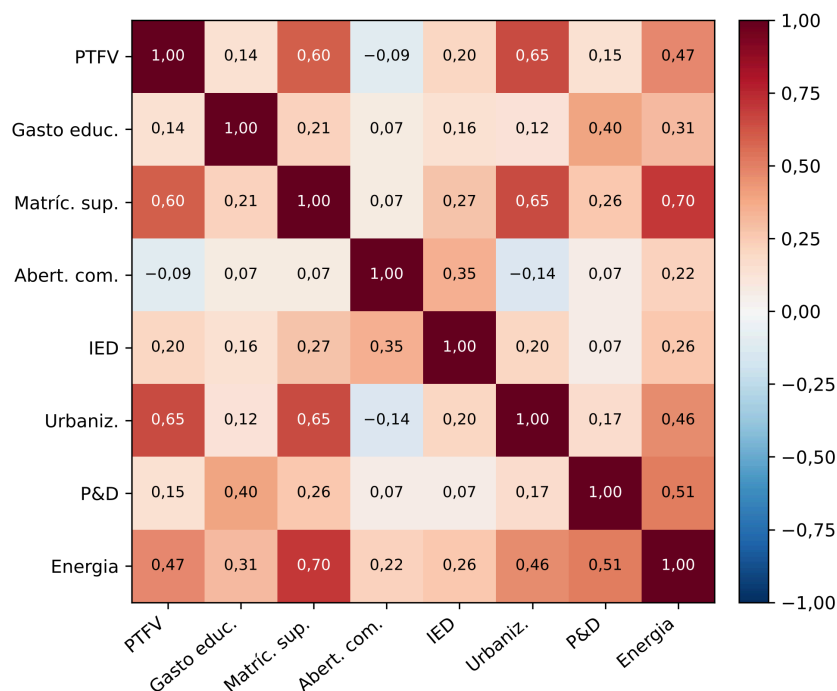
A matriz de pesos espaciais W é construída com base nos $K = 5$ vizinhos mais próximos, ponderados pelo inverso da distância *haversine* entre as capitais. Três modelos espaciais são estimados: (i) SAR em *cross-section* via 2SLS (Kelejian; Prucha, 1998), instrumentando Wy por WX e W^2X , (ii) SEM em *cross-section* via FGLS do tipo Cochrane-Orcutt, e (iii) Painei Espacial com Efeitos

Fixos, adicionando a defasagem espacial Wy como variável de controle ao modelo *within* de painel.

4. DADOS

O painel compreende 32 economias emergentes em cinco regiões: América Latina (9), Ásia (8), África (7), Europa Oriental (5) e CEI (3), de 2000 a 2022 (736 observações). Dados econômicos e educacionais provêm dos *World Development Indicators* (WDI) do Banco Mundial (World Bank, 2026). Emissões de CO₂ e GEE provêm do Our World in Data (Ritchie et al., 2024). Valores faltantes foram tratados por interpolação linear intragrupo. A Figura 1 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis do modelo.

Figura 1. Matriz de correlação entre as variáveis do modelo (em logaritmo natural)



Fonte: elaboração própria com dados de World Bank (2026) e Ritchie et al. (2024).

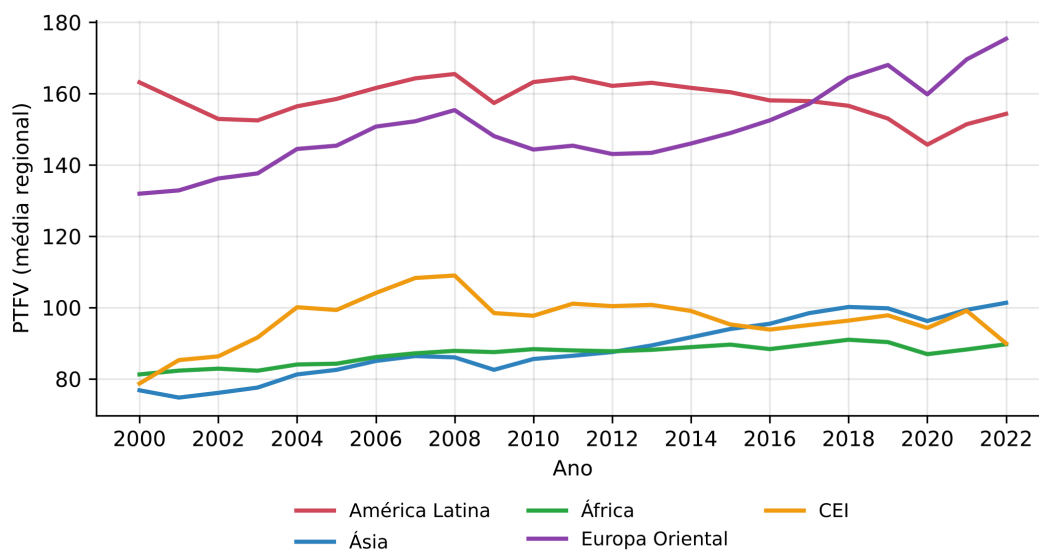
Nota: destacam-se as correlações positivas da PTFV com a urbanização (0,65), a matrícula terciária (0,60) e o uso de energia (0,47).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Evolução da PTFV

A Figura 2 apresenta a evolução temporal da PTFV média por região. A América Latina e a Europa Oriental lideram em nível absoluto, enquanto a Ásia exibe a trajetória ascendente mais consistente, ultrapassando a África e a CEI ao longo do período. O impacto da crise financeira de 2008-2009 é visível na queda temporária em todas as regiões, com recuperação mais rápida na Ásia e na Europa Oriental.

Figura 2. Evolução da Produtividade Total dos Fatores Verde por região (2000-2022)



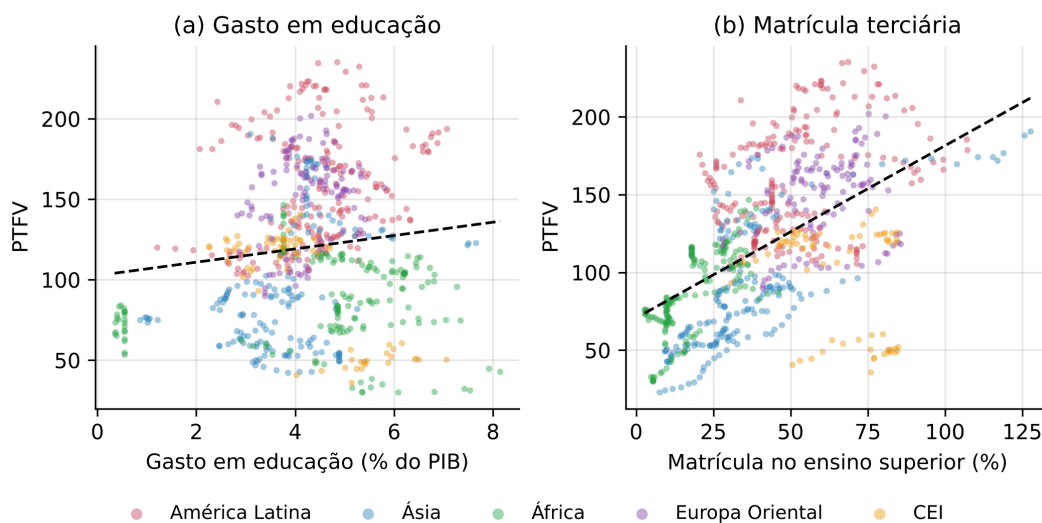
Fonte: elaboração própria com dados de World Bank (2026) e Ritchie et al. (2024).

Nota: valores calculados pelo resíduo de Solow ajustado pela intensidade de CO_2 .

5.2. Educação e PTFV: Relação Bivariada

A Figura 3 ilustra a relação bivariada entre indicadores de educação superior e PTFV. No painel (a), o gasto em educação (% PIB) apresenta relação fraca com a PTFV, consistente com a ideia de que o volume de gasto, *per se*, não garante ganhos de produtividade verde. No painel (b), a matrícula terciária mostra relação positiva moderada, sugerindo que o acesso ao ensino superior tem correlação mais direta com a produtividade do que o gasto agregado. Essas relações bivariadas são, contudo, confundidas por fatores não observados, motivando a análise multivariada que segue.

Figura 3. Relação bivariada entre indicadores de educação superior e PTFV: (a) gasto em educação (% do PIB) e (b) matrícula terciária (%)



Fonte: elaboração própria com dados de World Bank (2026) e Ritchie et al. (2024).

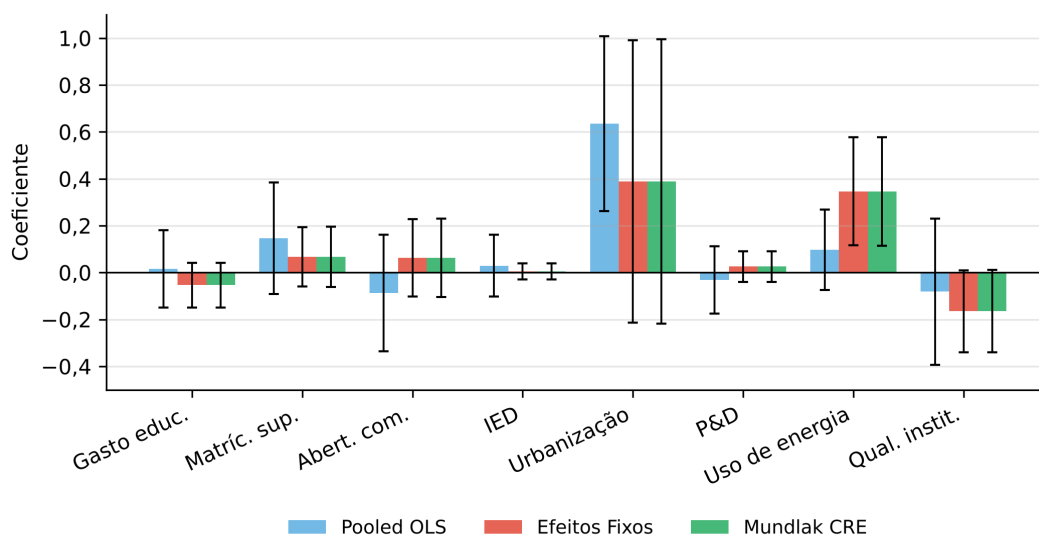
Nota: linhas tracejadas representam tendência linear.

5.3. Resultados dos Modelos de Painei

No modelo de Efeitos Fixos, o uso de energia *per capita* emerge como principal determinante da PTFV, com elasticidade de 0,346 ($p < 0,01$). A qualidade institucional apresenta efeito negativo marginalmente significativo (-0,165, $p < 0,10$). As variáveis de educação não alcançam significância estatística nos modelos estáticos em nível (*Pooled* OLS, Efeitos Fixos e Mundlak CRE), sugerindo canais indiretos ou defasagem temporal na transmissão do efeito educacional.

A Figura 4 compara os coeficientes estimados entre modelos. A estabilidade dos sinais entre Efeitos Fixos e Mundlak CRE reforça a robustez dos resultados, enquanto as diferenças de magnitude entre *Pooled* OLS e Efeitos Fixos confirmam a importância do controle por heterogeneidade não observada.

Figura 4. Comparação de coeficientes estimados entre *Pooled* OLS, Efeitos Fixos e Mundlak CRE



Fonte: elaboração própria.

Nota: barras de erro representam intervalos de confiança de 95% calculados com erros-padrão clusterizados por país.

5.4. Modelo Dinâmico: Anderson-Hsiao IV

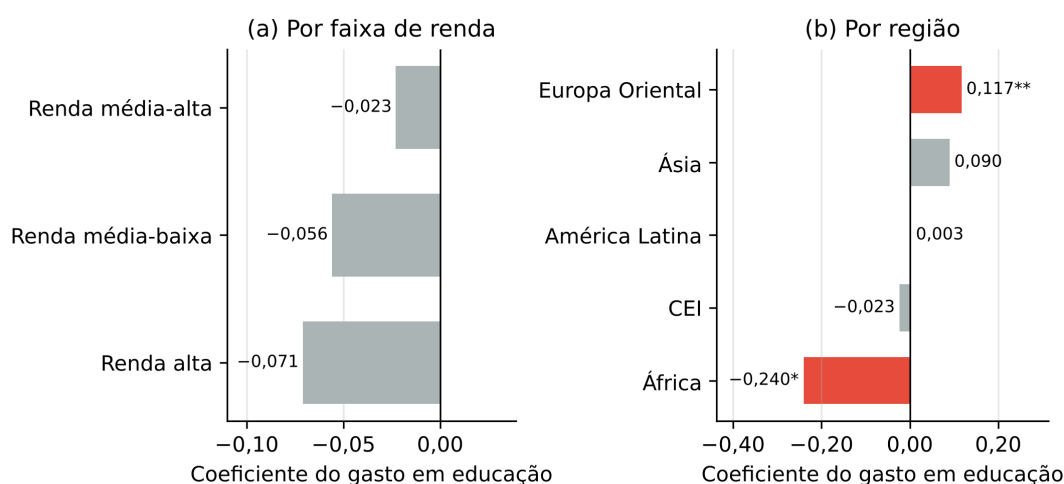
O estimador dinâmico revela três achados centrais. O coeficiente autorregressivo é substancial (0,697, $p < 0,01$), confirmando forte persistência temporal da PTFV. O gasto em educação apresenta efeito negativo no curto prazo (-0,052, $p < 0,01$), indicando custos de oportunidade de curto prazo do investimento educacional. O IED (0,013, $p < 0,01$) e o uso de energia (0,214, $p < 0,01$) permanecem significativos como motores da produtividade verde.

5.5. Análise de Heterogeneidade

A Figura 5 sintetiza a heterogeneidade regional e por faixa de renda do efeito educacional. Na Europa Oriental, o gasto em educação tem efeito positivo e significativo (0,117, $p = 0,03$), possivelmente vinculado a reformas educacionais alinhadas à adesão à União Europeia. Na África, o efeito é negativo e marginalmente significativo (-0,240, $p = 0,091$), refletindo desalinhamentos entre currículos e demandas

produtivas. Na Ásia e na América Latina, os coeficientes não são significativos.

Figura 5. Heterogeneidade do efeito do gasto em educação sobre a PTFV por faixa de renda (a) e por região (b)



Fonte: elaboração própria.

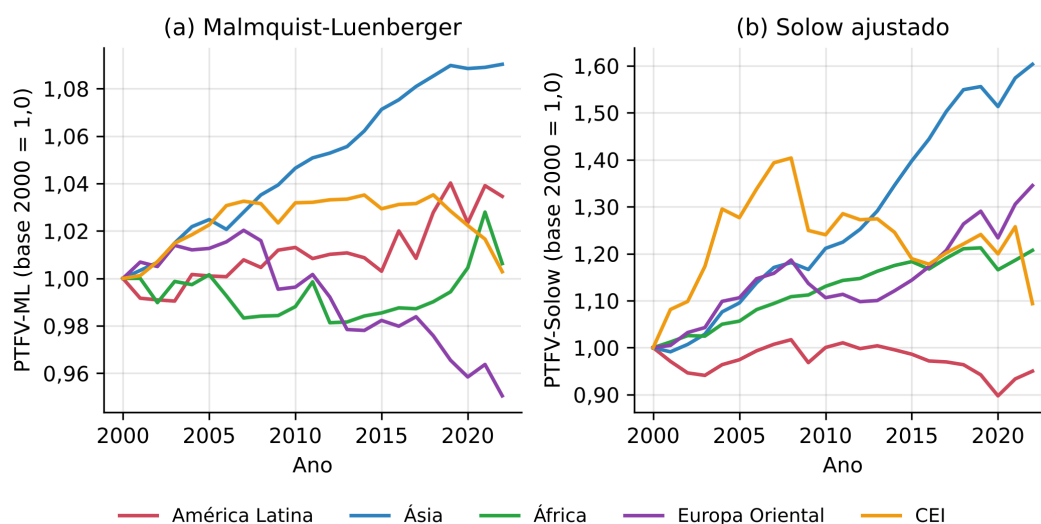
Nota: barras em vermelho indicam coeficientes significativos ao nível de 10%.

** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.

5.6. PTFV Via Malmquist-Luenberger: Comparação

A Figura 6 compara as duas medidas de PTFV: o Índice ML (painel a) e o resíduo de Solow ajustado (painel b), ambos normalizados à base 1,0 em 2000. O Índice ML médio é de 1,001, indicando crescimento de produtividade verde próximo a zero em média, com mudança de eficiência (EC) média de 0,998 e progresso técnico (TC) médio de 1,005. A Ásia apresenta a trajetória ascendente mais consistente em ambas as medidas, enquanto a América Latina mostra maior volatilidade no Índice ML. A baixa correlação entre as duas medidas (-0,025) reflete suas diferentes bases conceituais: o Solow ajustado captura nível de produtividade, enquanto o Índice ML captura variação marginal, sendo ambas complementares.

Figura 6. Comparação das medidas de PTFV: (a) Índice de Malmquist-Luenberger e (b) resíduo de Solow ajustado (base 2000 = 1,0)



Fonte: elaboração própria com dados de World Bank (2026) e Ritchie et al. (2024).

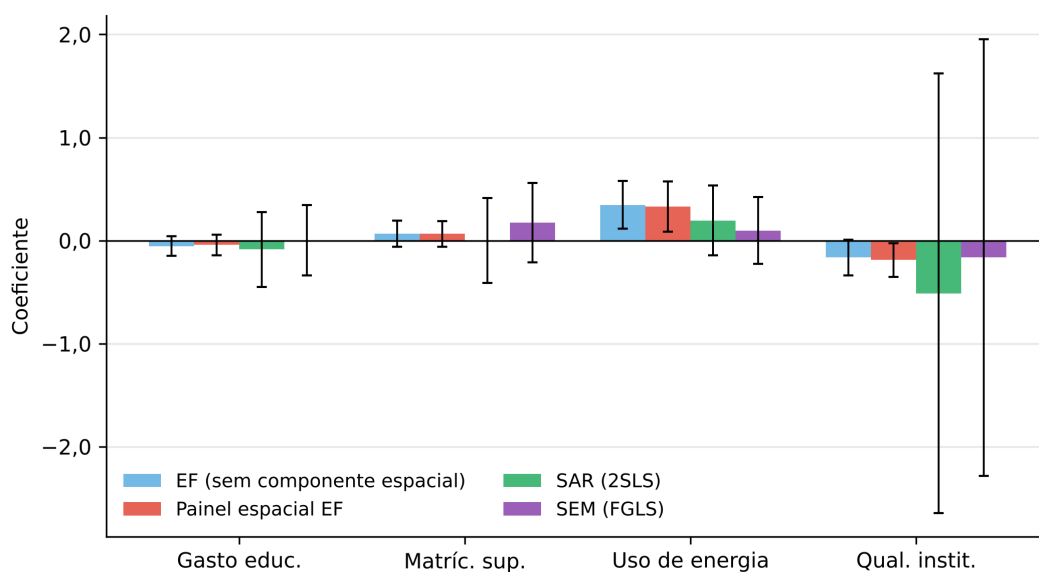
5.7. Econometria Espacial: *Spillovers* Entre Países

Os modelos espaciais revelam evidências de dependência espacial na PTFV. No modelo de Painel Espacial com Efeitos Fixos, a defasagem espacial (Wy) é positiva e significativa (0,309, $p < 0,05$), indicando que um aumento de 1% na PTFV dos países vizinhos está associado a um incremento de 0,31% na PTFV doméstica. Esse resultado corrobora a existência de *spillovers* tecnológicos e de produtividade entre economias emergentes geograficamente próximas.

Após o controle por dependência espacial, o uso de energia *per capita* permanece como principal determinante (0,330, $p < 0,01$), e a qualidade institucional torna-se ainda mais significativa (-0,190, $p < 0,05$). As variáveis de educação continuam sem significância direta, reforçando a conclusão de que o canal educação-produtividade verde opera predominantemente via mecanismos indiretos.

A Figura 7 compara os coeficientes das variáveis-chave entre o modelo de Efeitos Fixos original e os modelos espaciais. A inclusão da defasagem espacial reduz levemente o coeficiente do uso de energia (de 0,346 para 0,330), sugerindo que parte do efeito energético capturado no modelo não espacial refletia, na verdade, *spillovers* de vizinhança. O modelo SEM em *cross-section* estima $\lambda = 0,122$, indicando autocorrelação espacial residual positiva, porém de magnitude moderada.

Figura 7. Comparação de coeficientes entre modelos com e sem controles espaciais



Fonte: elaboração própria.

Nota: EF = Efeitos Fixos sem componente espacial. Paineis espacial EF = Efeitos Fixos com defasagem espacial Wy . SAR e SEM estimados em *cross-section* de médias temporais. Barras de erro representam intervalos de confiança de 95%.

6. CONCLUSÕES

Este artigo investigou a relação entre educação superior e PTFV em 32 economias emergentes (2000-2022), empregando duas medidas de produtividade verde, cinco especificações de painel, entre as

quais um estimador dinâmico IV, e econometria espacial. Os resultados permitem extrair quatro conclusões principais.

Primeira: a PTFV nas economias emergentes é fortemente persistente (coeficiente autorregressivo de 0,697), implicando que políticas que promovam ganhos de produtividade verde hoje terão efeitos cumulativos substanciais no futuro.

Segunda: existem *spillovers* espaciais significativos na PTFV entre países vizinhos (defasagem espacial de 0,309, $p < 0,05$). Isso implica que estratégias de cooperação regional e integrações econômicas podem potencializar ganhos de produtividade verde para além das fronteiras nacionais.

Terceira: o efeito direto do gasto em educação não é universalmente positivo. Na Europa Oriental, onde reformas institucionais alinharam a educação à economia verde, o efeito é positivo e significativo (0,117). Na África, o efeito é negativo (-0,240), sugerindo desalinhamentos estruturais.

Quarta: o uso de energia *per capita* é o principal determinante da PTFV, mesmo após o controle por intensidade de carbono e dependência espacial, indicando que o acesso a energia confiável é condição necessária para a produtividade sustentável.

Entre as limitações, destacam-se o indicador *proxy* para qualidade institucional, a impossibilidade de distinguir tipos de gasto educacional e a baixa correlação entre as duas medidas de PTFV, que, embora complementares, merecem investigação adicional. Pesquisas futuras poderiam desagregar o gasto educacional por área de conhecimento, empregar modelos de *threshold regression* e expandir a amostra para países de renda baixa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, T. W.; HSIAO, C. Formulation and estimation of dynamic models using panel data. **Journal of Econometrics**, v. 18, n. 1, p. 47-82, 1982.

ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988.

BOND, S. R. Dynamic panel data models: a guide to micro data methods and practice. **Portuguese Economic Journal**, v. 1, n. 2, p. 141-162, 2002.

BU, S.; ALOLA, A. A. Role of education and natural resources in achieving green economic growth in China: a wavelet quantile correlation approach. **Natural Resources Forum**, v. 49, n. 1, p. 445-460, 2025. DOI: 10.1111/1477-8947.12399.

CHUNG, Y. H.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. **Journal of Environmental Management**, v. 51, n. 3, p. 229-240, 1997.

GAO, W. et al. An empirical study of the role of higher education in building a green economy. **Sustainability**, v. 11, n. 23, art. 6823, 2019. DOI: 10.3390/su11236823.

HU, N.; ZHENG, B. Natural resources, education, and green economic development. **Resources Policy**, v. 86, pt. B, art. 104053, 2023. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104053.

KELEJIAN, H. H.; PRUCHA, I. R. A generalized spatial two-stage least squares procedure for estimating a spatial autoregressive model

with autoregressive disturbances. **The Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 17, n. 1, p. 99-121, 1998.

LESAGE, J.; PACE, R. K. **Introduction to spatial econometrics**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

LUCAS, R. E. On the mechanics of economic development. **Journal of Monetary Economics**, v. 22, n. 1, p. 3-42, 1988.

MUNDLAK, Y. On the pooling of time series and cross section data. **Econometrica**, v. 46, n. 1, p. 69-85, 1978.

RITCHIE, H. et al. **CO₂ and greenhouse gas emissions**. [S. l.]: Our World in Data, 2024. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>.

ROMER, P. M. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy**, v. 98, n. 5, pt. 2, p. S71-S102, 1990.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

WORLD BANK. **World Development Indicators**. Washington, DC: World Bank, 2026. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.

ZHANG, T.; MA, Z.; SHANG, Y. Higher education, technological innovation, and green development: analysis based on China's provincial panel data. **Sustainability**, v. 15, n. 5, art. 4311, 2023. DOI: 10.3390/su15054311.

ZHU, Q. Research on the impact of higher education financial expenditures on sustainable economic development from a green total factor productivity perspective. **Academic Journal of Management and Social Sciences**, v. 10, n. 3, p. 59-62, 2025. DOI: 10.54097/aq7cq432.

¹ Economista. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Doutorando em Administração e Controladoria (UFC). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6972-6673>.

² Graduada em Letras na Universidade Federal do Ceará (UFC). Especialização em Língua Portuguesa e Literatura pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Graduada em Pedagogia pela Universidade Vale do Acaraú (UVA). Especialização em Gestão Escolar (UVA). Professora da Secretaria de Educação de Fortaleza. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Licenciada em Ciências Biológicas. Mestranda em Educação com foco na Formação de professores (PPGE-UECE). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).