EFICIÊNCIA E BEM-ESTAR NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL

Beatriz Mandira Raimundo Sell, Adriano de Amarante

INTRODUÇÃO

Robert Lucas (1988) já dizia que, uma vez que se começa a pensar em crescimento econômico, é difícil pensar em outra coisa. A ideia central deste trabalho é entender como desacoplar o crescimento do consumo de energia. A eficiência energética passa a ser um padrão de medida de desenvolvimento a ser analisado, não apenas o volume de energia consumida ou produzida.

Países já desenvolvidos e com democracias consolidadas passam por um efeito de saturação: o consumo de combustíveis fósseis reduz ao mesmo tempo em que aumentam a produção e a intensidade energética. O cenário comum é um grande pico seguido de declínio progressivo; se a industrialização é retardada, esse pico é menor. (Goldemberg, 2001)

No longo prazo, países mais desenvolvidos apresentam menor intensidade energética e, consequentemente, menor intensidade de poluição (por m³ em medição local), padrão próximo ao descrito pela curva ambiental de Kuznets (qualidade ambiental vs. desenvolvimento econômico). (Lucas *et al*, 1992)

A teoria de crescimento econômico parte do modelo de Solow, em que as mudanças são determinadas por fatores exógenos. A partir de 1980, ganha força a ideia de fatores endógenos: caminhos de crescimento sustentável podem ser afetados por políticas (Heal, 2001; Brock, 1973). Surge então outra pergunta que orienta esta pesquisa: por que alguns países convertem energia em bem-estar de forma mais eficiente que outros?

DESENVOLVIMENTO

A metodologia escolhida foi a Análise Envoltória de Dados em Rede (NDEA), que trata inputs e outputs como estágios interligados para medir a eficiência relativa de cada país (DMU). A amostra é composta por 143 países, com indicadores de sustentabilidade ambiental e eficiência energética: produção e renda nacional bruta, população, consumo de combustíveis fósseis e produção de energia de fontes renováveis, entre outros.

Para um subconjunto de 15 países, majoritariamente exportadores de petróleo (Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Omã, Brunei, Turcomenistão, Cingapura) e pequenos estados insulares (Butão, Samoa, Tonga, Ilhas Salomão, Fiji, Maldivas, Suriname, Guiana, Papua-Nova Guiné) a base Our World in Data apresentou cobertura insuficiente para as variáveis de participação de fontes renováveis na matriz elétrica. Esses dados foram complementados com a base IRENASTAT, cuja série histórica tem início em 2000; o período 1990-1999 permanece, portanto, sem cobertura para esse subconjunto.

Também foram excluídos da amostra países cuja fronteira de produção de bem-estar foi rebaixada por choques exógenos recentes, guerras ou instabilidade institucional severa: Ucrânia, Rússia, Síria, Iêmen, Sudão, Israel, Palestina, Venezuela e Líbano.

RESULTADOS

A Figura 1 (Anexo) sintetiza a estrutura do modelo NDEA, evidenciando os dois estágios interligados pela variável elo (energia per capita). Essa representação torna explícita a lógica de "caixa aberta" do modelo em rede, permitindo identificar em qual etapa do processo produtivo reside a maior parte da ineficiência de cada país. Sob decomposição aditiva com

retornos variáveis de escala (VRS), evita-se atribuir a países de menor porte uma ineficiência que na verdade decorre de diferença de escala, e não de desempenho técnico. Como limitação, os dois estágios foram combinados por um peso proporcional ao número de variáveis — simplificação em relação à formulação relacional conjunta originalmente proposta por Kao (2009).

A Tabela 1 (Anexo) apresenta os determinantes da eficiência energética identificados pela regressão Tobit. Destaca-se a robustez da abertura comercial ($p<0,001$) e da condição de exportador de petróleo ($p<0,01$), significativas mesmo após controle de multicolinearidade entre variáveis institucionais. Como limitação, a baixa disponibilidade de dados de patentes e gastos em educação para parte da amostra, sobretudo África Subsaariana, pode restringir a generalização dos resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que a eficiência na conversão de energia em bem-estar não depende só da disponibilidade de recursos energéticos, mas de fatores institucionais e estruturais. Abertura comercial e condição de exportador de petróleo se mostraram os determinantes mais robustos, à frente de variáveis de regime político.

Esse achado desloca o eixo da discussão: menos sobre qual fonte de energia um país usa, mais sobre como sua inserção econômica internacional condiciona o uso eficiente dos recursos disponíveis. Ao mesmo tempo, a amostra final está enviesada em direção a economias de renda média/alta, o que exige cautela na generalização do efeito de abertura comercial para países mais fechados e pobres, sub-representados no estudo.

Como agenda de pesquisa futura, propõe-se: (i) ampliar a cobertura de patentes e gastos em educação para reduzir o atrito amostral; (ii) testar a formulação relacional conjunta de Kao (2008), em vez da decomposição por estágios independentes e (iii) investigar os canais pelos quais a abertura comercial afeta a eficiência energética, distinguindo importação de exportação.

Palavras-chave: Eficiência energética; análise envoltória de dados em rede; bem-estar socioeconômico; sustentabilidade; abertura comercial.

ANEXOS

Tabela 1. *Determinantes da Eficiência Energética*

Variável	Coeficiente	p-valor	Sig.
Abertura comercial (trade)	0,051	<0,001	***
Exportador de petróleo	0,039	0,002	**
Liberdades civis	-0,018	0,006	**
Democracia jovem	-0,030	0,026	*
Democracia avançada	0,004	0,783	
Intensidade energética	-0,002	0,529	

Nota: *** p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05. N = 1.636. Modelo Tobit censurado à direita em 1,0.

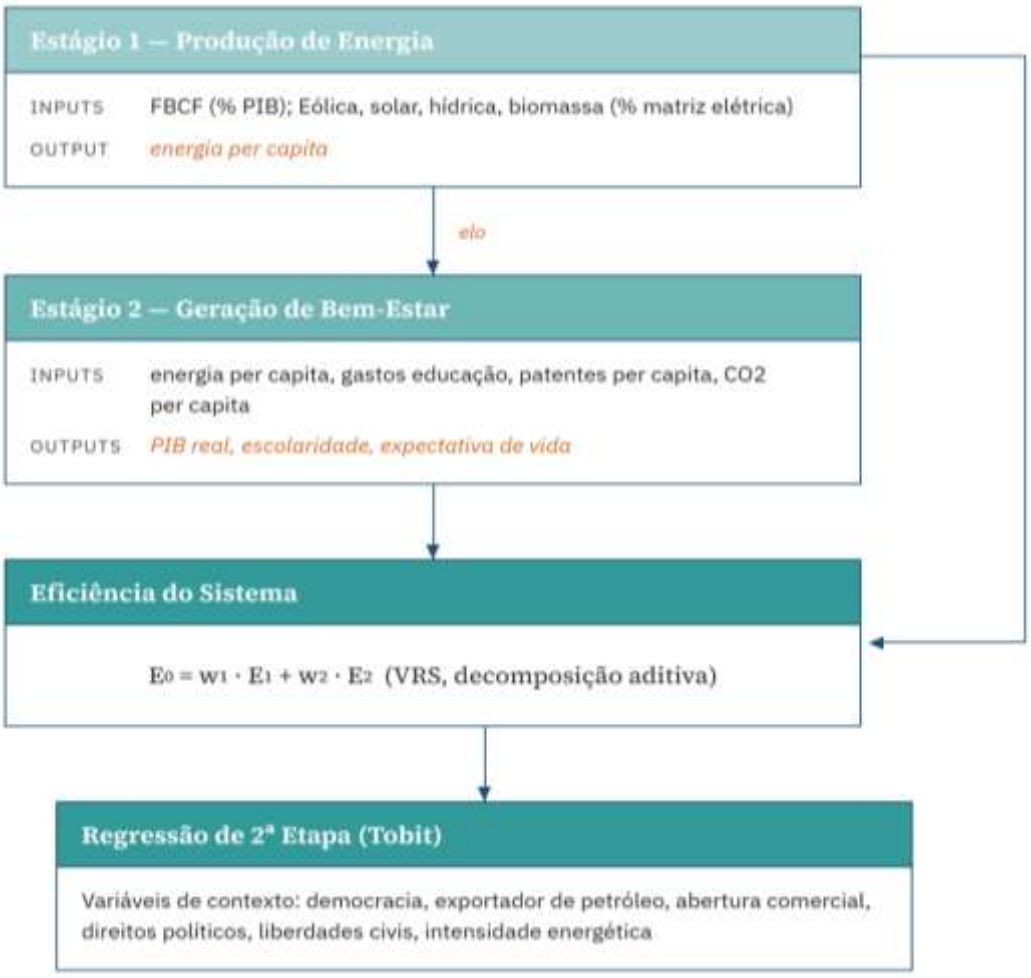


Figura 1. *Diagrama de Eficiência Energética*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v.30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHEN, Y.; COOK, W. D.; LI, N.; ZHU, J. Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 3, p. 1170-1176, 2009.

FADAEI FOROUTAN, S. L.; BAMDAD, S. Efficiency measurement of railway passenger stations through network data envelopment analysis. **Research in Transportation Business and Management**, v. 46, art. 100767, 2023.

GILLINGHAM, K.; RAPSON, D.; WAGNER, G. The rebound effect and energy efficiency policy. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 10, n. 1, p. 68-88, 2016.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 2001.
KAO, C. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: a relational model. **European Journal of Operational Research**, v. 192, n. 3, p. 949-962, 2009.

KAO, C. Dynamic data envelopment analysis: a relational analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 227, n. 2, p. 325-330, 2013.

KAO, C.; HWANG, S. N. Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: an application to non-life insurance companies in Taiwan. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 1, p. 418-429, 2008.

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

LUCAS, Robert E. B.; WHEELER, David; HETTIGE, Hemamala. Economic development Environmental Regulation and the international migration of toxic industrial pollution 1960-1988. **World Development Report**. n. 1062, 1992.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W.-M.; LIN, B. J. Y. Data envelopment analysis 1978–2010: a citation-based literature survey. **Omega**, v. 41, n. 1, p. 3-15, 2013.

MONTIBELLER FILHO, G. **O mito do desenvolvimento sustentável**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

RAMANATHAN, R. **An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement**. New Delhi: Sage Publications, 2003.

TONE, K. **Advances in DEA Theory and Applications: With Extensions to Forecasting Models**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017.

XEPAPADEAS, A**.** Chapter 23: Economic growth and the environment. In: MÄLER, K.-G.; VINCENT, J. R. (Ed.). **Handbook of Environmental Economics**, v. 3. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 1219-1271.

ZWEIFEL, P.; PRAKTIKNJO, A.; ERDMANN, G. **Energy Economics**. Berlin: Springer, 2017.