

DEPENDÊNCIA EXTERNA E (IN)SUSTENTABILIDADE DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA ENTRE 1970 E 2014

Filomena Nádia Rodrigues Bezerra¹

José de Jesus Sousa Lemos²

Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima³

José Vanglêsio de Aguiar⁴

Este artigo se propõe a mensurar a evolução da composição e a sustentabilidade econômica da matriz energética brasileira entre 1970 e 2014. Especificamente, apresentar a evolução da produção e dependência externa de energia, bem como aferir seu impacto sobre a evolução do produto interno bruto (PIB) brasileiro. Para tanto, foi utilizada a análise fatorial (AF), com decomposição em componentes principais. Os resultados evidenciaram que, desde as crises do petróleo (1973 e 1979), a matriz energética brasileira experimentou transformações – destacando-se a inserção de fontes renováveis –, porém, apresentou resultados insatisfatórios na produção e oferta *per capita* energética, detectando elevada instabilidade. Além disso, o aumento de 0,1 unidade na dependência externa aferida pelo Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) provoca, em média, uma redução de 0,545 unidade no índice do PIB brasileiro. Diante desta conjuntura, permite-se afirmar que a matriz energética brasileira é insustentável economicamente no quesito fornecimento energético, havendo necessidade de importação para suprir a demanda interna.

Palavras-chave: energia renovável; energia não renovável; importação energética; sustentabilidade.

EXTERNAL DEPENDENCE AND (UN)SUSTAINABILITY OF BRAZILIAN ENERGY MATRIX BETWEEN 1970 AND 2014

This article is aimed at measuring the evolution of the composition and economic sustainability of the Brazilian energy matrix, between 1970 and 2014. Specifically, showing the evolution of production and dependence on external sources of energy, as well as assess its impact on the evolution of the Brazilian gross domestic product (GDP). For both, was used the factor analysis, with decomposition in main components. The results showed that since the oil crises of (1973 and 1979) the Brazilian energy matrix has experienced changes, stand out the integration of renewable energy sources, however, showed unsatisfactory results in the production and supply per capita efficiency, with a high level of turbulence. Furthermore, the increase of 0.1 unit on external dependence measured by IDEXT causes, on average, a reduction of 0.545 unit of the contents of the Brazilian GDP. In the face of this conjuncture, it is possible to affirm that the Brazilian energy matrix is unsustainable economically in terms of energy supply, and there is a need for imports to meet domestic demand.

Keywords: renewable energy; nonrenewable energy; energy import; sustainability.

1. Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER) da Universidade Federal do Ceará (UFC). *E-mail:* <nadiarodrigues-3@hotmail.com>.

2. Professor titular e coordenador no Laboratório do Semiárido (LabSar) da UFC. *E-mail:* <lemos@ufc.br>.

3. Professora titular da UFC. *E-mail:* <pvpslima@gmail.com>.

4. Professor aposentado no Departamento de Engenharia Agrícola (Dena) da UFC. *E-mail:* <jvaguair@ufc.br>.

LA DEPENDENCIA EXTERNA Y LA (IN)SOSTENIBILIDAD DE LA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEÑA ENTRE 1970 Y 2014

Este artículo está destinado a medir la evolución de la composición y la sostenibilidad económica de la matriz energética brasileña, entre 1970 y 2014. Concretamente, mostrando la evolución de la producción y la dependencia de fuentes externas de energía, así como evaluar su impacto sobre la evolución del producto interno bruto (PIB) brasileño. A tal fin, se utilizó el análisis factorial, con descomposición en componentes principales. Los resultados mostraron que, desde las crisis del petróleo de 1973 y 1979), la matriz energética brasileña ha experimentado cambios, destacando la integración de fuentes de energía renovables, sin embargo, mostraron resultados insatisfactorios en la producción y el suministro per cápita de eficiencia, con un alto nivel de turbulencia. Además, el aumento de 0,1 unidad en dependencia del exterior medido por IDEXT provoca, en promedio, una reducción de 0.545 unidades de los contenidos del PIB brasileño. Ante esta situación, digamos que la matriz energética brasileña es económicamente insostenible en términos de suministro de energía, y hay una necesidad de las importaciones para satisfacer la demanda interna.

Palabras clave: energía renovables; energía no renovables; importación de energía; sostenibilidad.

DÉPENDANCE EXTERNE ET (DÉ)DURABILITÉ DE MATRICE ÉNERGÉTIQUE BRÉSILIENNE ENTRE 1970 ET 2014

Cet article vise à mesurer l'évolution de la composition et de la viabilité économique de la matrice énergétique brésilienne, entre 1970 et 2014. Plus précisément, montrant l'évolution de la production et de la dépendance à l'égard des sources d'énergie extérieures, ainsi que d'évaluer son impact sur l'évolution du produit intérieur brut (PIB) brésilien. À cette fin, nous avons utilisé l'analyse factorielle, avec la décomposition en composantes principales. Les résultats ont montré que, depuis les crises pétrolières de (1973 et 1979) la matrice énergétique brésilienne a subi des changements, soulignant l'intégration de sources d'énergie renouvelables, cependant, a montré des résultats insatisfaisants dans la production et l'offre par habitant l'efficacité, avec un haut niveau de turbulence. En outre, l'augmentation de 0,1 unité sur la dépendance externe mesurée par IDEXT causes, en moyenne, une réduction de 0,545 unité de le contenu du PIB brésilien. Face à cette situation, disons que la matrice énergétique brésilienne n'est pas viable du point de vue économique en termes d'approvisionnement énergétique, et il y a un besoin d'importations pour répondre à la demande intérieure.

Mots-clés: énergie renouvelable; énergies non renouvelables; énergie; viabilité d'importation.

JEL: Q4; Q01; O13.

1 INTRODUÇÃO

A população do planeta aumenta anualmente e, com isso, torna-se necessário intensificar a procura por mais recursos energéticos. Entretanto, a fonte de tais recursos pode ser um fator responsável por causar impactos ambientais de distintas proporções, pois, a cada fonte utilizada, paradoxalmente, diminui-se a qualidade de vida da população (Lopes, 2009). Assim, na trajetória evolutiva, a modernidade caracteriza-se, entre outros fatores, pela consciência de que a ação humana no mundo pode colocar o planeta em risco e, por consequência, sua própria existência.

A escala evolutiva acerca da Revolução Industrial revelou a capacidade humana de transformar o estilo de vida das sociedades, por meio da substituição das habilidades e dos esforços humanos pelas máquinas (Landes, 1969). Novas descobertas possibilitaram encontrar outras opções de recursos energéticos. Assim, tecnologias modernas de conversão e uso da energia passaram a dar origem às cadeias de suprimento energético cada vez mais complexas, fazendo com que a energia passasse a assumir um papel estratégico para o desenvolvimento das nações (Martin, 1992).

Como fator natural dessa evolução no mundo industrializado, o uso da energia tornou-se a força motriz das atividades econômicas e sociais desenvolvidas pelo homem. Desse modo, é válido afirmar que existe um elevado grau de correlação entre o consumo de energia, o crescimento econômico e o nível de desenvolvimento. Visto que as políticas públicas voltadas a estimular o investimento em infraestrutura, dentre elas a energética, podem servir como instrumento para promoção do crescimento econômico, em longo prazo (Carminati e Scalco, 2013). De forma inversa, interrupções na oferta de energia podem causar sérias perdas econômicas e financeiras ao país.

Após as crises do petróleo, na década de 1970, o suprimento energético ficou comprometido. Essa problemática trouxe a necessidade de novas possibilidades para o setor energético, em que o planejamento começou a ampliar seu escopo. Como consequência, a demanda e a oferta de energia começaram a ser investigadas de modo mais sistematizado e desagregado, o que provocou um maior conhecimento tanto das características do mercado consumidor (tecnologias, hábitos de consumo) como as do sistema energético e suas perspectivas de expansão. Nisso, a instabilidade do preço do barril de petróleo admite que o sistema energético fique à mercê de um cenário de alta vulnerabilidade, caracterizado por mostrar fragilidades, devido às constantes oscilações dos preços ao longo dos anos, como está acontecendo atualmente com os baixos preços no âmbito internacional.

Em razão desse cenário de instabilidade, houve a necessidade de se buscar outras fontes de energia que suprissem um novo modelo energético com mais eficiência. Desse modo, a inserção de recursos renováveis no planejamento energético

é uma forma de mitigar os impactos ambientais provocados pela produção e pelo uso de energia e, assim, alcançar as metas estabelecidas em consenso pelos países, bem como no Protocolo de Kyoto⁵ e, mais recentemente, na 21^a Conferência das Partes⁶ (COP-21), ocorrida em Paris, França.

O aumento da demanda por recursos energéticos é um fator comum mundialmente, o qual contribui para que os sistemas de produções atuais e padrões de consumo sejam insustentáveis, haja vista a maior parcela do consumo de energia global ser dominada por combustíveis fósseis (Jorgensen, Dalgaard e Kristensenb, 2005). Nessa concepção, a eficiência e a conservação de energia podem reduzir o consumo de recursos; no entanto, outras fontes de energia serão necessárias.

Diante desse cenário, o Brasil, atualmente, vem passando por uma reformulação do sistema energético, com o intuito de melhorar a eficiência e o planejamento energético da matriz, que ainda é altamente dependente de recursos hídricos; do petróleo e seus derivados, como principais insumos para geração de energia; bem como a necessidade de sua maior diversificação, o que torna um risco diante das previsões de uma possível redução dos recursos naturais. Outro fator, é que, no país, há a necessidade de um melhor planejamento estratégico para o setor energético, uma vez que ainda há incidência de atrasos – causados por projetos ruins, que implicam demora para conseguir os necessários licenciamentos ambientais, dificuldades financeiras e outras questões de responsabilidade do governo ou das empresas –, os quais impedem o andamento das construções dos parques geradores de fontes alternativas e a entrega das linhas de transmissão.

Nessa perspectiva, há tendências globais para métodos de produção mais sustentáveis (minimização de desperdícios, redução da poluição e de emissões de gases tóxicos, conservação de recursos naturais), devido à real necessidade de mudança, haja vista que os combustíveis fósseis devem se exaurir ou ficar com preços elevados num horizonte previsível de cinquenta anos – lembrando que a exploração de petróleo é limitada (Azevedo, Malafaia e Camargo, 2007). Nisso, um dos grandes desafios para o entendimento da sustentabilidade, associada à exploração da matriz energética, é criar instrumentos para o planejamento do uso adequado das fontes de energia. Um desses instrumentos de mensuração é a construção de indicadores, os quais são ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis.

5. Esse protocolo foi assinado em Kyoto (Japão), em 1997, teve como objetivos firmar acordos e discussões internacionais para conjuntamente estabelecer metas de redução da emissão de gases do efeito estufa (GEEs) na atmosfera, principalmente por parte dos países industrializados, além de criar formas de desenvolvimento de maneira menos impactante àqueles países em pleno desenvolvimento.

6. Tratada no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), que rege medidas de redução de emissão de dióxido de carbono a partir de 2020. O acordo foi negociado durante a COP-21, em Paris e foi aprovado em 12 de dezembro de 2015.

Este estudo tem como objetivo geral mensurar a evolução da composição e a sustentabilidade econômica da matriz energética brasileira, entre 1970 e 2014. Permitindo assim avaliar a evolução da produção e, conseqüentemente, o comportamento da oferta de energia e de dependência externa energética no Brasil. A partir desse contexto, este artigo tem como objetivo específico mostrar a evolução da dependência externa de energia, bem como aferir seu impacto sobre a evolução do produto interno bruto (PIB) brasileiro no período sob investigação.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO CONCEITUAL: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUAS VERTENTES

Em 1973, surgiu pela primeira vez o termo “codesenvolvimento”, colocado como alternativa da concepção clássica de desenvolvimento. Seu surgimento foi influenciado pela polêmica gerada na primeira Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente, em Estocolmo, entre aqueles que defendiam o desenvolvimento a qualquer preço, mesmo pondo em risco a própria natureza e os partidários das questões ambientais. O termo foi proposto por Maurice Strong, secretário da Conferência de Estocolmo, em 1972 e, em seguida, ampliado pelo economista Ignacy Sachs, a partir de 1974. Este, além da preocupação com o meio ambiente, incorporou as devidas atenções aos aspectos sociais, econômicos, culturais, de gestão participativa e ética.

Nesse contexto, a Organização das Nações Unidas (ONU) teve um desempenho crucial ao organizar conferências internacionais, como a de Estocolmo, em 1972; a do Rio de Janeiro, em 1992; a de Joanesburgo, em 2002; e mesmo por meio da formação de grupos de trabalho como a World Commission on Environment and Development (WCED), que produziu o Relatório Brundtland (WCED, 1987), intitulado *Our common future*, em que se formula, pela primeira vez (1987), o conceito de desenvolvimento sustentável (DS), uma vez universalmente difundido como:

o desenvolvimento que satisfaz às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. O desenvolvimento sustentável não é um estado fixo de harmonia, mas antes um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as alterações institucionais, são tornadas consistentes quer com as necessidades do presente quer com as do futuro (WCED, 1987, p. 42).

Torna-se mais evidente que só é possível alcançar tais princípios se forem tomadas medidas estratégicas em todos os países, como parte de um conjunto de ações para manter a reserva de capital ecológico, melhorar a distribuição de valores e reduzir o grau de vulnerabilidade às crises econômicas (Silva, 2012). Para Kelly, Sirr e Ratcliffe (2004), o DS é multidimensional, pois incorpora diferentes aspectos da

sociedade, buscando a proteção ambiental e a manutenção do capital natural para alcançar a prosperidade econômica e a equidade para as gerações atuais e futuras.

2.1 Mensuração da sustentabilidade a partir de indicadores energéticos

O processo de escolha dos indicadores deve seguir um conjunto de critérios objetivos, exequíveis e verificáveis que os justifiquem. Os indicadores escolhidos devem refletir o significado dos dados na forma original, satisfazendo, por um lado, a convivência da escolha e, por outro, a precisão e relevância dos resultados (Van Bellen, 2002). O intuito de se construir indicadores e índices, de um modo geral, se deve ao fato de que ambos são elaborados para exercerem as funções de simplificação, quantificação, análise e comunicação. Assim, conseqüentemente, ainda que sua complexidade possa ficar comprometida, se está tentando elaborar um instrumento reducionista para aferir um conceito ou um problema que é, em essência, holístico. Neste caso, o conceito de sustentabilidade energética. Apesar disso, a expectativa é de que esses indicadores e índices sejam úteis para contribuir e possam ser analisados sob uma dada perspectiva e, até mesmo, comunicar-se com os diferentes níveis da sociedade.

Por mais que as pesquisas na área energética tenham evoluído, no que concerne à construção de bases científicas e tecnológicas, ainda é tido como grande desafio desenvolver estudos que busquem elaborar indicadores e índices na área energética. Se indicadores estão sendo utilizados para orientar políticas e decisões estratégicas, então eles devem fornecer alguma noção de onde aplicar a pressão política e onde iniciar mudanças que podem trazer resultados desejados. Estabelecer ligações e alguma ideia de causalidade torna-se, assim, uma importante característica do monitoramento de políticas com indicadores (IAEA, 2005).

Sob esse ponto de vista, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), de forma pioneira – por meio da cooperação com diversas organizações internacionais, incluindo a Agência Internacional de Energia (AIE), o European Statistical Office (Eurostat), a Agência Ambiental Europeia (AAE) e o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UNDESA) –, desenvolveu um conjunto de indicadores que eliminasse as duplicações e pudesse ser utilizado como ferramenta de análise em qualquer país. Como resultado dessa elaboração coletiva de indicadores, foram denominados os Indicators for Sustainable Energy Development (ISED), com o propósito de englobar as dimensões econômica, social e ambiental do uso da energia e, como principal finalidade, o estabelecimento de uma ferramenta de análise que possibilitasse a avaliação, o monitoramento e a comparação do nível de sustentabilidade energética dos países analisados (IAEA, 2005).

A importância de se elaborar tais indicadores está no fato de que estes podem ajudar a entender alguns dos efeitos da produção e da utilização de energia

sobre a economia e o meio ambiente, justamente por meio da sua vinculação e do monitoramento das mudanças em seus valores. Assim, será possível verificar seus efeitos sobre a economia, sociedade e ambiente.

Nessa perspectiva, a partir da publicação da IAEA (2003), pôde-se apresentar a base completa de indicadores energéticos,⁷ classificados segundo as dimensões econômica, social e ambiental; e categorizadas como: *i*) indicadores causais indiretos e diretos; e *ii*) indicadores de estado. Totalizam-se 41 indicadores, distribuídos nas três dimensões citadas. Embora o número de indicadores seja uma barreira no andamento de pesquisas energéticas, é possível ajustá-lo de acordo com a sua disponibilidade.

3 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO: FERRAMENTA DE DIRECIONAMENTO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

É válido frisar que analisar as fontes de energia é concentrar-se na verificação de um dos recursos mais estratégicos para as nações, uma vez que sua existência serve como garantia para a conservação dos processos produtivos e a manutenção da oferta interna, resultando na definição das relações externas – no que concerne à redução na dependência de importação. De acordo com Costa (2001), até o início da década de 1970, o planejamento energético possuía uma lógica relativamente simples e, de certa forma, bastante similar àquela do planejamento econômico: o atendimento da demanda a um mínimo custo. Partindo para alguns segmentos específicos do setor energético, como a eletricidade, o carvão e o petróleo, a preocupação do planejamento energético se voltava para o suprimento de recursos energéticos no âmbito da oferta, sob a ótica de menor custo, de forma a assegurar a crescente e, muitas vezes, estimulada demanda (Cima, 2006).

Desse modo, a dinâmica de substituição dessas fontes não era considerada, resultando em uma maior rigidez, que servia de justificativa para a divisão em setores do planejamento (Bajay, 2013). Isto porque a principal preocupação do planejamento energético incidia na otimização setorial do atendimento da demanda energética que, por sua vez, era estimada a partir de projeções empíricas, em função do crescimento econômico (Cima, 2006). No entanto, sua aplicação se limitava a estudos setoriais e independentes, baseados em um planejamento não integrado, que muitas vezes induziam a conflitos de objetivos, além de baixa otimização intersetorial.

Como estratégia de sobrevivência à crise, as nações se viram obrigadas a reduzir significativamente a dependência externa das fontes derivadas do petróleo, além de buscar novas fontes. A necessidade de mecanismos de atuação governamental, no

7. Para mais detalhes, ver a base ISED (*Indicators for Sustainable Energy Development*) proposta pela IAEA (2003).

intuito de estimular o uso eficiente da energia, de forma a amenizar essa dependência, levou à formulação e à implantação de uma série de políticas energéticas em todo o mundo industrializado (Geller, 2003; Schipper, Unander e Marie-Lilliu, 2000).

Nessa conjuntura, o Brasil dispõe de recursos naturais (água abundante, solo fértil e agricultável, intensa incidência de sol e vento, distribuídos em quase todos os meses do ano) que contribuem para a existência de vantagens relativas que possibilitam a constituição de uma matriz energética baseada em fontes renováveis. Verifica-se que o país possui vantagens significativas em relação à configuração de sua matriz energética, por ser menos intensiva em recursos não renováveis, comparada a outros países (Freitas, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 Delimitação da área de estudo e base de dados

Este estudo buscou fazer uma análise com abrangência em nível nacional, uma vez que foi considerado todo o território brasileiro, a partir da inclusão das informações agregadas de todos os estados.

Os dados utilizados na pesquisa são de natureza secundária, coletados dos principais órgãos nacionais e, também, em nível internacional, os quais possibilitaram obter o delineamento da pesquisa. O período analisado compreende a série histórica contínua e anual de 1970 a 2014.

A escolha dos dados justifica-se, primeiramente, pela disponibilidade de informações, fator este determinante para a escolha dos instrumentos propostos pela pesquisa, visando atingir seus objetivos. No quadro 1, especificam-se os indicadores utilizados.

QUADRO 1

Indicadores de sustentabilidade da matriz energética brasileira

	Indicadores	Fonte ¹	Descrição	Unidade	Autor(es) ²
Dimensão econômica	Produção de energia primária <i>per capita</i>	EPE [s.d.]	Produção de energia primária realizada em território nacional, dividida em dois grupos: renováveis e não renováveis por habitante.	Tonelada equivalente de petróleo (tep). 10 ³ tep/hab.	Bossel (1999); IAEA (2003; 2005); Cima (2006).
	Oferta interna de energia <i>per capita</i>		Parcela do total de energia produzida e destinada para consumo final que provém de fontes de energia renováveis e não renováveis por habitante.		IAEA (2003; 2005); Santos (2010).
	Dependência externa de energia		Diferença entre a demanda total de energia e a produção de energia primária.	%	Cima (2006); IAEA (2003; 2005).

(Continua)

(Continuação)

	Indicadores	Fonte ¹	Descrição	Unidade	Autor(es) ²
Outros dados	População residente	IBGE (2016); Ipea [s.d.]	Total de habitantes, dados agregados no nível Brasil.	Por número de habitantes	IAEA (2003; 2005); Cima (2006).
	PIB	IBGE (2016); Ipea [s.d.]	Importante indicador causal indireto do uso da energia.	R\$ (ano-base: 2014)	IAEA (2003; 2005); Cima (2006); Santos (2010).
	Preços do petróleo	IEA (2016)	Petróleo produzido em Dubai, localizado nos Emirados Árabes Unidos.	US\$	IAEA (2003; 2005).
	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI)	FGV (2016)	Usado como deflator de valores monetários, utilizado para deflacionar o PIB.	R\$	–
	Consumer Price Index (CPI-U)	BLS (2016)	Índice de Preços ao Consumidor, usado para deflacionar os preços do petróleo (US\$). Ano-base: 2015.	US\$	–

Fontes: BLS (2016), EPE [s.d.], IBGE (2016), IEA (2016), Ipea [s.d.] e FGV (2016).

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Informações oriundas do Balanço Energético Nacional 2015 (BEN), divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fundação Getúlio Vargas (FGV), Ipea, U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS) e a International Energy Agency (IEA).

² Para justificar os indicadores utilizados na pesquisa, foram considerados os autores de trabalhos relevantes na área energética, bem como os citados no quadro 1.

Algumas informações relevantes são apresentadas no quadro 2. É necessário caracterizar os componentes da matriz energética,⁸ já que o objeto de estudo permeia as suas principais fontes.

QUADRO 2

Descrição das fontes energéticas utilizadas na pesquisa

Linhas da matriz energética brasileira	Descrição	Fontes
Produção de energia primária	Produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta.	Petróleo, gás natural, carvão vapor, carvão metalúrgico, óxido de triurânio (U ₃ O ₈), energia hidráulica, lenha e produtos da cana-de-açúcar (melaço, caldo-de-cana e bagaço).
Oferta Interna de Energia – OIE (produção total [-] exportação [-] não aproveitada [-] reinjeção)	Quantidade de energia que se coloca à disposição para ser transformada e/ou para consumo final.	
Outras fontes primárias	Fontes energéticas utilizadas além das fontes convencionais.	Incluem-se neste item resíduos vegetais e industriais utilizados para geração de calor e vapor. Resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica etc.
Dependência externa de energia	Diferença entre a demanda interna de energia (inclusive perdas de transformação, distribuição e armazenagem) e a produção interna.	Petróleo, gás natural, carvão mineral e eletricidade.

Fonte: EPE [s.d.].

Elaboração dos autores.

8. Para mais detalhes das fontes energéticas utilizadas neste artigo, ver o *Balanço Energético Nacional 2015: ano-base 2014* (EPE, 2015).

Os dados referentes à produção e à oferta de energia foram transformados em quantidade *per capita*, ou seja, todas as fontes energéticas tiveram suas quantidades anuais divididas pelo total da população residente no Brasil no respectivo ano. Vale ressaltar que, os dados fornecidos pelo BEN estão expressos em unidade 10^3 tep, então, antes mesmo de calcular os valores *per capita*, a variável *população residente* foi dividida por 1 mil, para que as variáveis ficassem nas mesmas proporções.

Após essa etapa, os indicadores oferta (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral, outras fontes não renováveis, energia hidráulica e eletricidade, lenha e carvão vegetal, produtos da cana-de-açúcar e outras fontes renováveis) e produção (petróleo, gás natural, carvão vapor, outras energias não renováveis, energia hidráulica, lenha, produtos da cana-de-açúcar e outras energias renováveis) de energia *per capita* foram transformados em índices, distribuídos percentualmente. Os valores foram calculados por regra de três simples, no intuito de facilitar as análises posteriores, como mostra a equação 1:

$$X_t = \left(\frac{VA_t}{V_{máx}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

X_t = valor original do indicador transformado em índice parcial aferido em percentagem;

VA_t = valor atual observado no ano t da série analisada, e

$V_{máx}$ = valor máximo da série.

Em seguida, foram calculados os seguintes indicadores: Índice de Produção Energética (IPE), Índice de Oferta Energética (IOE) e o Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT). Procedimentos semelhantes foram realizados por Cunha, Lima e Moura (2005); Melo e Parré (2006) e Antony e Visweswara Rao (2007). Conforme equação 2:

$$IB = \sum w_i F_i \quad (2)$$

Onde:

IB = índice bruto, calculado para os três índices (IPE, IOE e IDEXT) separadamente;

w_i = proporção da variância explicada por cada fator em relação à proporção total da variância explicada; e

F_i = fator gerado pela análise fatorial – AF (scores fatoriais).

A elaboração de um indicador sintético, como o proposto neste artigo, envolve a necessidade de se trabalhar com várias unidades de medida, o que ocasiona um problema na consolidação dos dados. Neste texto, esse problema é contornado padronizando os índices estimados com a técnica de minimax ou transformação 0-1, para tanto, para cada índice analisado, atribuiu-se o valor 0 ao menor valor e 1 para o maior valor da série em análise. Os índices padronizados calculados referem-se aos IPE, IOE e IDEXT. Isto é obtido utilizando-se a transformação proposta na equação 3.

$$IP_i = \frac{IB_i - IB_{min}}{IB_{max} - IB_{min}} \quad (3)$$

Na equação (3), se definem os seguintes componentes:

IP_i = índice padronizado transformado da i -ésima observação do índice IB ;

IB_{min} = valor mínimo do índice IB ; e

IB_{max} = valor máximo do índice IB .

Após o cálculo dos índices, foi verificada a taxa geométrica de crescimento (TGC), comumente usada para medir taxas de crescimento ao longo de um período de uma série. O grau de estabilidade nos índices calculados foi mensurado por meio do coeficiente de variação (CV), o qual tem por finalidade medir a homogeneidade dos dados em relação à média, motivo que pode ser entendido como uma medida de risco relativo, bem como é definido na equação 4:

$$CV = (\sigma_x / \mu_x) \cdot 100 \quad (4)$$

Uma variável aleatória X que detenha média μ_x e desvio-padrão σ_x terá o CV definido em percentagem.

Uma vez construídos os índices, descritos anteriormente, é válido frisar que nessa perspectiva, para aferir o impacto do IDEXT sobre a evolução do PIB, optou-se estimar uma regressão linear simples, a qual é especificada na equação 5. Cabe salientar que, para o PIB, foi utilizada a técnica de minimax ou transformação 0-1 para padronizá-lo em forma de índice, no intuito de tornar compatível com o IDEXT.

$$\widehat{PIB} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 (\text{IDEXT}) \quad (5)$$

Em que:

\widehat{PIB} = variável dependente (produto interno bruto);

$\hat{\beta}_0$ = coeficiente linear (constante);

$\hat{\beta}_1$ = coeficiente angular estimado; e
 IDEXT = variável independente.

4.2 Método de análise: breve discussão da AF com decomposição em componentes principais

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, optou-se pela análise estatística multivariada dos dados. Foi utilizada a técnica de AF, com decomposição em componentes principais. Cabe frisar que a finalidade do uso deste método é para estimar os pesos relacionados aos índices (IPE, IOE e IDEXT) constituídos a partir das variáveis, que foram os instrumentos de avaliação da pesquisa. Isto no intuito de revelar as relações que devem existir entre as variâncias das variáveis envolvidas na pesquisa, as quais servirão de base para a construção dos índices, estes serão essenciais para a mensuração da sustentabilidade econômica do fornecimento energético brasileiro. Para isso, foi utilizado o *software* Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versão 20.

Basicamente, a AF pode ser dividida nas seguintes etapas:

- análise da matriz de correlações e adequações da utilização da AF;
- extração dos fatores iniciais e determinação do número de fatores;
- rotação dos fatores; e
- interpretação dos fatores.

Segundo Fávero *et al.* (2009), a modelagem da AF, em geral, pode ser representada pela equação 6:

$$X_i = \alpha_i F + \varepsilon_i \quad (6)$$

Sendo que:

X_i = i-ésimo escore da variável analisada;

F = fator aleatório comum para todas as variáveis medidas;

ε_i = componente aleatório. Normalmente, $E(\varepsilon_i) = E(F) = 0$;

α_i = constante chamada de carga fatorial (*loading*), que mede a importância dos fatores na composição de cada variável (correlação).

O modelo considera que as p variáveis observáveis ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$), extraídas de uma população com vetor de média μ e matriz de covariância Σ , são linearmente dependentes de algumas variáveis não observáveis $F_1, F_2, F_3, \dots, F_m$, denominadas de fatores comuns, e de p fatores adicionais de variação $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$, denominadas de erros ou fatores específicos (Johnson e Wichern, 2007).

Efetuada a padronização de X (média 0 e desvio-padrão 1), o modelo fatorial passa a ser descrito, genericamente, por meio da equação 7:

$$F_m = d_{m1}X_1 + d_{m2}X_2 + \dots + d_{mi}X_i \quad (7)$$

Onde F_m são os fatores comuns, d_{mi} os coeficientes dos escores fatoriais e X_i as variáveis originais. O escore fatorial resulta da multiplicação dos coeficientes d_{mi} pelo valor das variáveis originais. No caso de mais de um fator, o escore fatorial corresponderá às coordenadas da variável em relação aos eixos (fatores).

A comunalidade ($h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2$) representa uma estimativa da variância X_i que é explicada pelos fatores comuns; é conhecida como especificidade de X_i , uma vez que ela não está ligada ao fator comum. Assim, a comunalidade é um índice da variabilidade total explicada por todos os fatores para cada variável. Os resultantes da análise de fatores comuns são baseados apenas na variância comum (Hair Junior *et al.*, 2005).

4.2.1 Ajustamento da AF

Para que seja feita a AF da maneira adequada, é preciso efetuar os seguintes passos: *i)* analisar a matriz de correlações; *ii)* verificar a estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett; e, por fim, *iii)* analisar a matriz anti-imagem (Johnson e Wichern, 2007).

A matriz de correlações deve ser examinada no intuito de verificar se existem valores significativos para justificar a utilização da técnica. Caso as correlações entre todas as variáveis sejam baixas, talvez a AF não seja adequada. Entretanto, se a inspeção visual da matriz de correlações não revelar um número substancial de valores superiores a 0,30, interpreta-se como se houvesse fortes indícios de que a utilização da técnica é inadequada.

A aplicação do teste de esfericidade de Bartlett é feita para analisar a matriz de correlações e verificar a adequação da AF. O teste é feito com finalidade de avaliar a hipótese de que a matriz das correlações pode ser a matriz identidade com determinante igual a 1. Se a hipótese nula (H_0 : a matriz de correlações é uma matriz identidade) não for rejeitada, isso significa que as variáveis não estão correlacionadas e, nesse caso, não seria adequado o uso da AF. Mas, se a hipótese nula for rejeitada (diagonais secundárias da matriz de correlação estatisticamente diferentes de 0), haverá indícios de que existem correlações significativas entre as variáveis originais. É válido frisar que, neste teste, as variáveis necessitam apresentar normalidade multivariada (Basilevsky, 1994; Johnson e Wichern, 2007).

No caso da KMO, a estatística é utilizada para comparar as correlações simples com as correlações fortes. Seus valores variam de 0 a 1, ou seja, avalia se a amostra é adequada ao grau de correlação parcial entre as variáveis, que deve ser pequeno.

Assim, quanto mais próximo de 0, maiores serão os indícios de que a AF não é adequada (correlação fraca). Já no caso de ser mais próximo de 1, é mais adequado utilizar a técnica. Os intervalos de análise dos valores da estatística KMO podem ser observados no quadro 3.

QUADRO 3
Estatística KMO

KMO	AF
1 – 0,9	Muito boa
0,8 – 0,9	Boa
0,7 – 0,8	Média
0,6 – 0,7	Razoável
0,5 – 0,6	Má
< 0,5	Inaceitável

Fonte: Fávero *et al.* (2009).
Elaboração dos autores.

Outro requisito da AF é verificar a matriz de correlações anti-imagem, uma forma de obter indícios acerca da necessidade de eliminação de determinada variável do modelo, que também contém os valores negativos das correlações parciais. Espera-se que, quanto maiores os valores da diagonal principal, melhor será a utilização da AF. Contudo, é válido salientar que, por vezes, a baixa correlação de determinada variável com as demais não, necessariamente, implica sua eliminação, uma vez que esta variável pode representar um fator isolado (Dillon e Goldstein, 1984).

O método utilizado para extração dos fatores foi a análise dos componentes principais (ACP), que tem como característica a busca por uma combinação linear das variáveis observadas, de forma a maximizar a variância total explicada. Já o método de rotação ortogonal utilizado neste trabalho é o Varimax, o qual busca minimizar o número de variáveis que têm altas cargas em um fator, no intuito de simplificar a interpretação dos fatores gerados (Basilevsky, 1994; Johnson e Wichern, 2007; Fávero *et al.*, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Trajetória evolutiva da matriz energética brasileira

A trajetória da produção energética no Brasil, assim como em outros países, seguiu paralelamente à tendência mundial, mesmo que a pequenos passos. O fato é que os impactos causados por questões externas também afetaram a situação do país, seja em produção, oferta, consumo ou dependência externa energética.

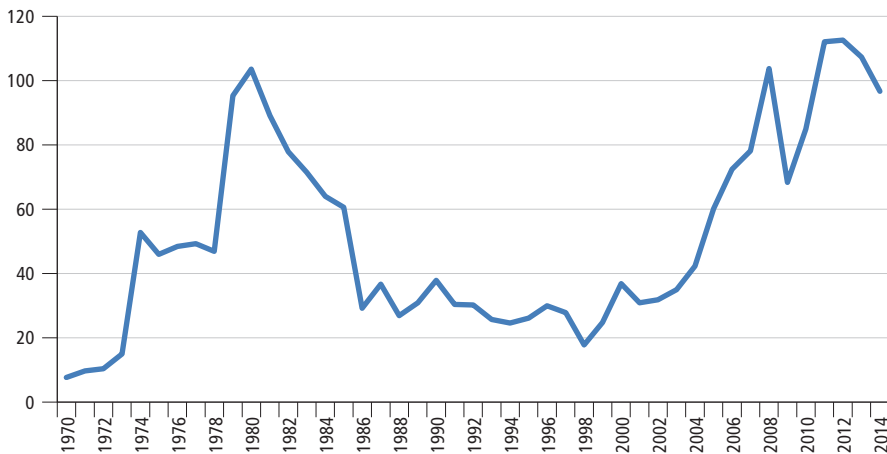
Nisso, alguns acontecimentos históricos relacionados às questões energéticas ficaram marcados. Assim, essa temática tornou-se alvo de novas descobertas, inserção de tecnologia, diversificação das fontes e objetivo essencial em planos e programas desenvolvidos, no intuito de modificar os padrões, que até então eram definidos como ideais, até chegar à crise do petróleo (em 1973 e 1979). Devido à restrição de oferta, houve um aumento do preço do barril de petróleo, provocando grande instabilidade em função da magnitude e da amplitude dos seus efeitos sobre a economia mundial.

O comportamento dos preços do barril de petróleo mostra-se bastante oscilatório. Isso foi evidenciado pela instabilidade da oferta, que chegou ao preço real de US\$ 103,60/barril, em 1980; valor que, à época, foi considerado um dos grandes picos. Esse fato torna o petróleo muito vulnerável em estudos de previsão e planejamento energético que tenham como base esta fonte não renovável. Constituem-se também em características bem expressivas, utilizadas para sinalizar a necessidade de diversificação das fontes da matriz energética, não só mundial, como também da brasileira. A trajetória dos preços do petróleo é exposta no gráfico 1.

GRÁFICO 1

Preços reais do barril de petróleo no mundo (1970-2014)

(Em US\$/barril)



Fonte: IEA (2016).

Elaboração dos autores.

Obs.: Foi utilizado o Índice de Preços ao Consumidor (em inglês, Consumer Price Index – CPI-U) para deflacionar os preços do petróleo (US\$), ano-base: 2015.

Atualmente, os mercados globais de petróleo estão passando por uma crise, pela queda drástica no preço do barril, tornando inviável a sua produção, sobretudo, em países que dependem dessa *commodity* na formação da sua riqueza. Para driblar essa situação, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) sediou uma

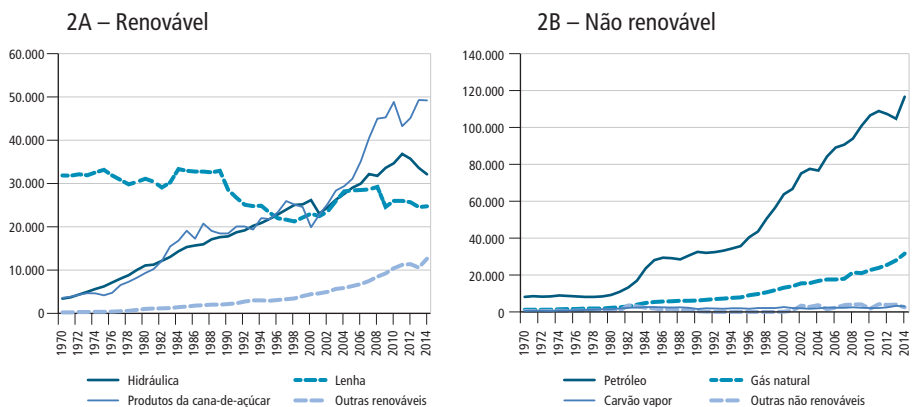
reunião com os países produtores, no intuito de impulsionar o aumento do preço da *commodity*, sendo uma das iniciativas o congelamento da produção e o enfraquecimento do dólar, fatores que terão como finalidade elevar os preços do barril.

Trazendo a realidade para o Brasil, no início da década de 1970, o país apresentava uma matriz energética renovável, composta com maior participação da lenha. Isso fazia com que, no intuito de executar práticas extrativistas, que muitas vezes estavam contidas no grupo da ilegalidade e sem delimitação de limites das próprias espécies que eram devastadas, o país sofresse uma maior pressão relativa ao meio ambiente. O gráfico 2 expõe as principais fontes renováveis e não renováveis, frisando que a evolução das outras fontes renováveis (eólica, solar, biomassa e derivados animais) mostrou crescimento ascendente. Desde 1970, a energia hidráulica já era uma das fontes mais produzidas no país, embora, atualmente, o potencial em parte do país não seja totalmente aproveitado. Na região Norte, por exemplo, as dificuldades em aproveitar as potencialidades dos seus recursos naturais normalmente esbarram nas discussões dos seus impactos sobre indicadores ambientais da região. Além disso, a região apresenta dificuldades na exploração e na regulamentação das suas áreas com aptidões.

GRÁFICO 2

Produção de energia primária renovável e não renovável – Brasil (1970-2014)

(Em 10³ tep)



A produção de fontes energéticas renováveis ressalta uma evolução ascendente, com exceção da produção de lenha. Quando comparada sua produção nas décadas de 1970 a 2014, nota-se que há uma disparidade, pois, nos primeiros anos da análise, essa fonte de energia possuía uma participação significativa. Porém, ao longo dos anos, essa tendência foi se modificando, o que culminou numa queda drástica da produção ao final do período sob análise. Essa queda se justifica,

possivelmente, pelas mudanças nos padrões de uso energético, com a entrada das grandes geradoras, a partir de fontes hidráulicas, principalmente. Deve-se ainda ao forte discurso de preservação das florestas, que se intensificou com a inserção do conceito de desenvolvimento sustentável, em que desmatar passou a ser um ato muito malvisto pela sociedade. Contudo, era no meio rural em que se utilizava mais lenha e carvão como fontes energéticas. Essa realidade vem se modificando por meio do acesso à eletricidade, mediante os programas de maior acesso à energia elétrica no Brasil, como o Programa Luz para Todos, lançado em 2003, coordenado pelo MME, operacionalizado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A (Eletrobras) e executado pelas concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação rural, em parceria com os governos estaduais.

A busca por alternativas que viabilizassem a redução da utilização do petróleo como uma das principais fontes geradoras de energia levou o governo brasileiro a incentivar a produção de cana-de-açúcar, com o objetivo de produzir etanol para servir como combustível. Nessa perspectiva, surgiu o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), desenvolvido para evitar o aumento da dependência externa de divisas quando dos choques de preço de petróleo. De 1975 a 2000, foram produzidos cerca de 5,6 milhões de veículos movidos a álcool hidratado. Os primeiros carros movidos exclusivamente a álcool surgiram em 1978. Segundo os dados da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), de 1998 a 2000, a produção de veículos a álcool manteve-se em níveis de aproximadamente 1%. A constituição da chamada “frota verde”, ou seja, o estímulo e a determinação do uso do álcool hidratado em determinadas classes de veículos leves, como carros oficiais, particulares e táxis, tem provocado um debate entre especialistas da área econômica – contrários aos incentivos –, e os especialistas da área ambiental – favoráveis aos incentivos ao etanol.

Nessa perspectiva, a produção de derivados da cana-de-açúcar teve um grande incremento a partir da década de 1980, chegando ao auge da produção em 2013, com 49.303,83 10^3 tep. Coube à empresa estatal Petróleo Brasileiro S.A (Petrobras) efetuar a compra, o transporte, o armazenamento, a distribuição e a realização da mistura do álcool à gasolina (ANP, 2015).

Décadas depois do início do Proálcool, o Brasil vive uma nova expansão dos canaviais com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. O plantio avança além das áreas tradicionais, o interior do estado de São Paulo e a região Nordeste, não obstante o fato de que o Nordeste vem enfrentando períodos prolongados de seca e redução dos canaviais, espalhando-se pelos cerrados. A nova escalada não é um movimento apenas comandado pelo governo, como a ocorrida no final da década de 1970, quando o Brasil encontrou no álcool a solução para enfrentar o aumento abrupto dos preços do petróleo que importava. A corrida

para ampliar unidades e construir novas usinas é movida por decisões da iniciativa privada, convicta de que o álcool terá, a partir de agora, um papel cada vez mais importante como combustível, no Brasil e no mundo (Biodieselbr, 2016).

Nisso, a tecnologia dos motores *flex fuel* veio dar novo fôlego ao consumo interno de álcool. O carro que pode ser movido à gasolina, álcool ou uma mistura dos dois combustíveis foi introduzido no país em março de 2003 e conquistou rapidamente o consumidor.

Entre 2001 e 2002, o Brasil sofreu uma crise de proporções nacionais. A intitulada crise do “apagão”, que afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica, foi causada por uma soma de fatores: baixa incidência de chuvas, sobretudo nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, além da falta de planejamento e investimentos insuficientes em geração e transmissão de energia. Com a escassez da chuva, o nível de água dos reservatórios das hidroelétricas reduziu e os brasileiros foram obrigados a racionar energia. Esse fato é confirmado pela queda na produção de energia hidráulica do ano 2000 para o de 2001.

Algumas medidas foram tomadas para evitar que esse problema tivesse continuidade. Uma delas foi a implantação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), em 2004, que incentivou o aumento da capacidade instalada do país, por meio da inserção da produção de energia eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), bem como a construção de termelétricas, no intuito de suprir a demanda por energia em períodos que os níveis dos reservatórios estão abaixo da média, devido à falta de chuvas; porém produzem uma energia suja, que usa carvão mineral, óleo e gás. E são também caras: a produção de energia térmica custa cinco vezes mais que a de energia hidrelétrica (Brasil, 2007). No entanto, a vantagem é que essas usinas podem ser construídas perto de centros urbanos, diminuindo a necessidade de linhas de transmissão e desperdiçando menos energia. Assim, elas terão uma participação crescente em um momento em que não se constrói hidrelétricas com reservatórios, pelo fato de ter que compensar a ausência.

Ainda em 2004, houve o lançamento do marco regulatório, que estabeleceu as condições legais para a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira de combustíveis líquidos, por meio do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Essa medida possibilitou uma maior inserção de fontes alternativas e proporcionou maior incremento na produção de biomassa. Entretanto, apesar dos incentivos definidos pelo programa, ainda assim a participação do biodiesel permanece incipiente na matriz energética, tanto que ele é incluso no grupo de outras fontes renováveis, juntamente com as energias eólica e solar, e a energia derivada de restos vegetais e animais.

Em contrapartida às iniciativas voltadas para as energias renováveis, vale frisar que as descobertas de reservas de petróleo na bacia de Campos, no estado do Rio de Janeiro, foram acompanhadas, a partir da segunda metade da década de 1970, das primeiras experimentações tecnológicas em equipamentos e sistemas de produção de petróleo. Estas viabilizaram o aproveitamento de jazidas situadas a longas distâncias do litoral, dando início ao processo de inovações em sistemas de produção marítima de petróleo no Brasil. Ao longo desse processo, foram encontrados reservatórios grandiosos no pré-sal das bacias de Campos e Santos, no estado de São Paulo, a partir de 2006 até 2007. O triênio 2010-2012 foi um marco importante na evolução tecnológica e produtiva da Petrobras, ao registrar as primeiras declarações de comercialidade de campos de petróleo do pré-sal, assinalando o início do desenvolvimento da produção comercial naquela área geológica (Morais, 2013).

As fontes não renováveis que tiveram um maior crescimento na produção foram o petróleo e gás natural. O carvão vapor e outras fontes não renováveis (carvão metalúrgico, U_3O_8 e outras) também tiveram um incremento na produção que, no entanto, não foi muito expressivo. O período compreendido entre 1989 e 1999 foi crítico para as outras fontes não renováveis, passando por constantes quedas na produção, chegando ao seu menor patamar em 1999, com $19,25 \cdot 10^3$ tep.

Na atualidade, a complementação energética durante meses em que os reservatórios estão com baixos níveis hídricos, época considerada inviável para produção de energia hidráulica, é feita basicamente por termelétricas movidas, principalmente, por fontes energéticas de origens fósseis e biomassa, em menor escala.

5.2 Resultados da AF

Por sua vez, os resultados dos testes KMO e esfericidade de *Bartlett* podem ser observados na tabela 1. Ao interpretar os resultados dos testes KMO para a produção e oferta de energia (renovável e não renovável), é válido frisar que valores próximos de 1 indicam que o método de AF é perfeitamente adequado para o tratamento dos dados. Valores menores que 0,5 indicam a inadequação do método (Fávero *et al.*, 2009). No caso em estudo, os testes KMO indicaram que a AF consegue descrever de forma razoável as variações dos dados originais, sendo estes os valores obtidos: produção total de energia (0,678), oferta total de energia (0,857) e dependência externa de energia (0,598).

TABELA 1
AF: testes KMO e de esfericidade

Produção total de energia	
KMO (Medida de adequação da amostra)	0,678
Teste de esfericidade de Bartlett	
Qui-quadrado	645,967
Graus de liberdade	28
Significância	0,000
Oferta total de energia	
KMO (Medida de adequação da amostra)	0,857
Teste de esfericidade de Bartlett	
Qui-quadrado	656,001
Graus de liberdade	28
Significância	0,000
Dependência externa de energia	
KMO (Medida de adequação da amostra)	0,598
Teste de esfericidade de Bartlett	
Qui-quadrado	154,004
Graus de liberdade	6
Significância	0,000

Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE, [s.d.]).
Elaboração dos autores.

Os níveis de significância dos testes de esfericidade de *Bartlett* ($p\text{-value} = 0,000$) de todas as análises conduzem à rejeição da hipótese de que a matriz de correlações seja matriz identidade, ou seja, de que as variáveis são não correlacionadas. Como a matriz de correlações não é igual à matriz identidade, evidencia-se, portanto, que há correlações entre as variáveis.

5.2.1 Extração e rotação dos fatores

A matriz dos componentes apresenta as cargas fatoriais (*loadings*) que correlacionam as variáveis com os fatores, permitindo verificar qual melhor fator explica cada uma das variáveis originais. Após a rotação dos fatores, foram gerados os componentes, escores e comunalidades contidos na tabela 2. Quase todos os resultados gerados após a rotação pelo método ortogonal Varimax sugeriram: 1 componente e 1 escore, resultando em apenas um fator; com exceção da produção total de energia, que resultou em dois fatores.

As comunalidades, por sua vez, são representadas pela variância total explicada pelos fatores em cada variável. Conforme Fávero *et al.* (2009), os valores das comunalidades variam entre 0 e 1, mais próximas de 0, quando os fatores comuns explicam baixa ou nenhuma variância da variável; e mais próximas de 1, quando todas as variáveis possuem forte relação com os fatores retidos. Para o caso em análise, quase todas as variáveis possuem forte relação com os fatores retidos, com

exceção de algumas. Contudo, observa-se que todas apresentam comunalidades acima de 0,5, expressando que mais de 50% da variância de cada variável foi reproduzida pelos pesos fatoriais atribuídos à referida variável, ou seja, alterações no conjunto das variáveis provocam mudanças significativas nos seus resultados individuais. Assim, uma mudança nas fontes energéticas analisadas influenciará nos resultados da análise de forma geral. Consequentemente, não houve necessidade de excluir variáveis, pois tanto os resultados da matriz anti-imagem (valores da diagonal principal acima de 0,5) quanto das comunalidades foram favoráveis.

TABELA 2
Componentes (cargas fatoriais), escores e comunalidades

		Resultados parciais				
		Componentes		Escores		Comunalidades
	Fontes energéticas	1	2	1	2	
Produção total de energia	PPETROPERC	0,967	0,150	0,200	-0,078	0,958
	PGNPERC	0,962	0,181	0,193	-0,051	0,958
	PCVPERC	0,083	0,847	-0,158	0,690	0,725
	PONRENPERC	0,231	0,741	-0,100	0,570	0,602
	PHIDRAPERC	0,927	0,245	0,171	0,010	0,920
	PLENPERC	-0,908	-0,091	-0,198	0,114	0,833
	PPCAPERC	0,915	0,339	0,148	0,091	0,953
	PORENPERC	0,954	0,173	0,192	-0,056	0,939
Oferta total de energia	OPETROPERC	0,834		0,125		0,695
	OGNPERC	0,918		0,138		0,843
	OCMPERC	0,846		0,127		0,716
	ONRENPERC	0,896		0,135		0,803
	OHIDRAEPERC	0,956		0,144		0,915
	OLENCVPERC	-0,928		-0,139		0,861
	OPCAPERC	0,956		0,144		0,913
ORENPERC	0,953		0,143		0,908	
Dependência externa de energia	DEPEXTPETRO	-0,953		-0,323		0,909
	DEPEXTGN	0,728		0,247		0,530
	DEPEXTCM	0,927		0,314		0,859
	DEPEXTE	0,807		0,274		0,651

Fonte: Dados da pesquisa.

Elaboração dos autores.

Obs.: PPETROPERC – produção de petróleo *per capita*; PGNPERC – produção de gás natural *per capita*; PCVPERC – produção de carvão vapor *per capita*; PONRENPERC – produção de outras fontes de energias não renováveis *per capita*; PHIDRAPERC – produção de energia hidráulica *per capita*; PLENPERC – produção de lenha *per capita*; PPCAPERC – produção de produtos da cana-de-açúcar *per capita*; PORENPERC – produção de outras fontes de energias renováveis *per capita*; OPETROPERC – oferta de petróleo e derivados *per capita*; OGNPERC – oferta de gás natural *per capita*; OCMPERC – oferta carvão mineral *per capita*; ONRENPERC – oferta de outras fontes não renováveis *per capita*; OHIDRAEPERC – oferta de energia hidráulica e eletricidade *per capita*; OLENCVPERC – oferta de lenha e carvão vegetal *per capita*; OPCAPERC – oferta de produtos da cana-de-açúcar *per capita*; ORENPERC – oferta de outras fontes renováveis *per capita*; DEPEXTPETRO – dependência de petróleo; DEPEXTGN – dependência de gás natural; DEPEXTCM – dependência de carvão mineral; DEPEXTE – dependência de eletricidade.

Na produção total de energia, foram extraídos dois componentes (fator 1 e fator 2). Assim como foi mostrado nas análises parciais, os resultados agregados seguiram a mesma tendência, pois o fator 1 está fortemente relacionado aos indicadores PPETROPERC, PGNPERC, PHIDRAPERC, PPCAPERC e PORENPERC. Todos os indicadores citados estão positivamente relacionados, com exceção do indicador PLENPERC. Esse resultado se explica pelo fato de a lenha ter sido, durante décadas, uma das principais fontes energéticas do país, embora seu uso não tenha sido sustentável, diante das práticas extrativistas comumente utilizadas. No entanto, ao longo do período em análise (1970 a 2014), houve uma mudança drástica na produção de lenha no Brasil, o que provocou uma grande queda na participação desta fonte na matriz energética. As outras fontes se mostram positivas, devido ao seu comportamento ascendente ao longo dos anos. O que contribuiu com isso foi a inserção de novas fontes energéticas, mudanças tecnológicas e alguns programas de incentivo, tanto para as renováveis (eólica, PCHs, solar e biomassa) quanto para as não renováveis (petróleo, gás natural, U_3O_8 , entre outras).

Enquanto isso o componente 2 (fator 2) está forte e positivamente relacionado aos indicadores PCVPERC e PONRENPERC. As cargas fatoriais, destacadas em itálico (tabela 2), foram colocadas em evidência para representar os indicadores que mais influenciaram os seus devidos componentes (fator 1 e fator 2), sinalização necessária apenas para o caso de mais de um fator extraído.

Em todas as análises, a produção e oferta de lenha *per capita* mostrou uma relação negativa, assim como a produção de carvão vapor *per capita*, na análise parcial e a dependência externa de petróleo.

Para a oferta total de energia, todos os indicadores, sendo eles as ofertas OHIDRAEPERC, OPCAPERC, ORENPERC, OPETROPERC, OGNPERC, OCMPERC e ONRENPERC, apresentaram-se positivos e fortemente relacionados ao componente 1 (fator 1), gerado para cada grupo da oferta energética (renovável e não renovável), com exceção da OLENCVPERC, que se mostrou negativamente relacionada.

No caso da dependência externa de energia, com exceção da DEPEXTPE-TRO, as fontes DEPEXTGN, DEPEXTCM e DEPEXTE são positiva e fortemente relacionadas ao componente 1 (fator 1). Isso mostra o comportamento de decréscimo da dependência externa de petróleo no Brasil, ao longo do período analisado. Outro ponto a ser citado é que, mesmo o país possuindo grande potencial para se tornar autossuficiente no abastecimento energético, ainda há necessidade de importar fontes energéticas, como: gás natural, carvão mineral e eletricidade.

A diversificação da matriz energética, por meio do aumento da participação de recursos energéticos renováveis, disponíveis em território nacional, é um dos objetivos da oferta interna de energia. Portanto, tal objetivo assume um papel

fundamental sob a ótica do planejamento, uma vez que contribuirá para a redução da dependência externa de energia, ao mesmo tempo em que promoverá o desenvolvimento energético sustentável, ao reduzir a depleção de fontes energéticas não renováveis e, conseqüentemente, colaborar para a mitigação dos impactos ambientais a elas relacionados.

5.2.2 Construção dos índices

Para o cálculo dos pesos dos índices estimados, foram consideradas as variâncias explicadas (%) e as variâncias acumuladas (%), ou seja, cada peso foi estimado pela divisão da variância, explicada pelo fator e pela variância total acumulada. Assim, como foi demonstrado na metodologia da pesquisa, no caso de dois fatores gerados pela AF, foram calculados dois pesos. A tabela 3 mostra o resultado das estimativas da AF necessárias para a estimação dos índices.

TABELA 3
Variâncias e pesos utilizados na elaboração dos índices

Índices	Variância explicada (%)		Variância acumulada (%)	Pesos	
	Componentes			1	2
	1	2			
IOE	83,18		83,18	1	
IPE	66,93	19,19	86,12	0,78	0,22
IDEXT	73,71		73,71	1	

Fonte: BEN (EPE, [s.d.]).
Elaboração dos autores.

Os índices brutos foram calculados a partir dos resultados da AF, considerando-se a proporção da variância explicada por cada fator em relação à proporção total da variância explicada (w_i), e os fatores gerados pela AF, escores fatoriais, (F_i), bem como as equações a seguir:

$$IB (IPE) = \sum w_i F_i = 0,78F_1 + 0,22F_2 \quad (8)$$

Valor máximo = 1,426 e valor mínimo = -1,273;

$$IB (IOE) = \sum w_i F_i = (1)F_1 = F_1 \quad (9)$$

Valor máximo = 1,916 e valor mínimo = -1,743;

$$IB (IDEXT) = \sum w_i F_i = (1)F_1 = F_1 \quad (10)$$

Valor Máximo = 1,359 e valor mínimo = -1,445.

Os índices IOE e IDEXT apresentaram 83,18% e 73,7% de variância, explicada pelas variáveis originais, respectivamente, sendo extraído um fator (fator 1).

Diferentemente do IPE, que teve como resultado da variância explicada: 66,93% e 19,19%, correspondentes aos fatores (1 e 2), simultaneamente, resultando na variância acumulada em 86,12%.

Após o cálculo dos índices brutos, foi feita a padronização do índice, de forma que ele pudesse variar entre 0 e 1. Na tabela 4, apresentam-se em sequência os valores anuais estimados para o IOE, IPE e o IDEXT. Para a interpretação dos valores estimados dos índices em cada ano, levou-se em consideração a escala de 0 a 1. Quanto mais próximo de 0, pior é o índice da produção de oferta energética (renovável ou não renovável) no Brasil. No caso do IDEXT, quanto maior, ou mais próximo de 1, mais dependente de importar fontes energéticas será o país; e, conseqüentemente, pior será para a sustentabilidade da matriz energética.

Os resultados estimados mostram que, no período de 1970 a 1993, os dois índices (IOE e IPE) apresentaram valores abaixo da média (0,476 e 0,471, respectivamente). Isso sugere que houve uma deficiência produtiva no período e, conseqüentemente, foram causados impactos na oferta energética brasileira durante esse intervalo. Ressalte-se que, neste período, as fontes renováveis ainda não tinham uma participação tão relevante como atualmente, a despeito da criação do Proálcool, em 1979. No que se refere ao IDEXT, observa-se que, de 1970 a 1989, o índice apresentou um comportamento abaixo da média da série estimada (0,513). O que demonstra que, nesse período, as importações de energia superaram a produção interna de uma forma menos intensa do que a partir de 1989. Neste período, a despeito de um maior crescimento da oferta interna de energia, a demanda cresceu de uma forma mais intensa, de tal sorte que a dependência externa nesse período superou a média de todo o período avalizado na pesquisa.

Na tabela 4, apresentam-se em sequência os valores anuais estimados para os índices IOE, IPE e IDEXT.

TABELA 4
IOE, IPE e IDEXT – índices agregados (1970-2014)

Ano	IOE	IPE	IDEXT
1970	0,000	0,000	0,164
1971	0,018	0,010	0,005
1972	0,043	0,023	0,173
1973	0,077	0,034	0,018
1974	0,098	0,056	0,038
1975	0,113	0,051	0,138
1976	0,149	0,082	0,111
1977	0,186	0,121	0,106
1978	0,227	0,149	0,020
1979	0,257	0,175	0,051

(Continua)

(Continuação)

Ano	IOE	IPE	IDEXT
1980	0,266	0,200	0,076
1981	0,247	0,223	0,033
1982	0,269	0,321	0,000
1983	0,280	0,352	0,167
1984	0,326	0,372	0,228
1985	0,373	0,403	0,231
1986	0,372	0,384	0,292
1987	0,401	0,409	0,459
1988	0,404	0,398	0,419
1989	0,410	0,391	0,469
1990	0,413	0,392	0,580
1991	0,443	0,423	0,555
1992	0,453	0,438	0,546
1993	0,465	0,447	0,589
1994	0,488	0,471	0,620
1995	0,535	0,482	0,620
1996	0,568	0,515	0,664
1997	0,602	0,549	0,654
1998	0,615	0,567	0,686
1999	0,613	0,581	0,656
2000	0,620	0,596	0,775
2001	0,661	0,595	0,849
2002	0,663	0,667	0,930
2003	0,667	0,683	0,961
2004	0,684	0,707	0,937
2005	0,683	0,720	0,956
2006	0,725	0,762	0,942
2007	0,762	0,825	0,971
2008	0,813	0,884	1,000
2009	0,786	0,919	0,941
2010	0,879	0,934	0,965
2011	0,899	0,969	0,963
2012	0,928	0,977	0,865
2013	0,959	0,967	0,859
2014	1,000	1,000	0,906
TGC (% a.a.) ¹	5,89	7,29	8,35
Média	0,476	0,471	0,515
Coefficiente de variação (%)	57,37	63,68	69,22

Fonte: BEN (EPE, [s.d.]).

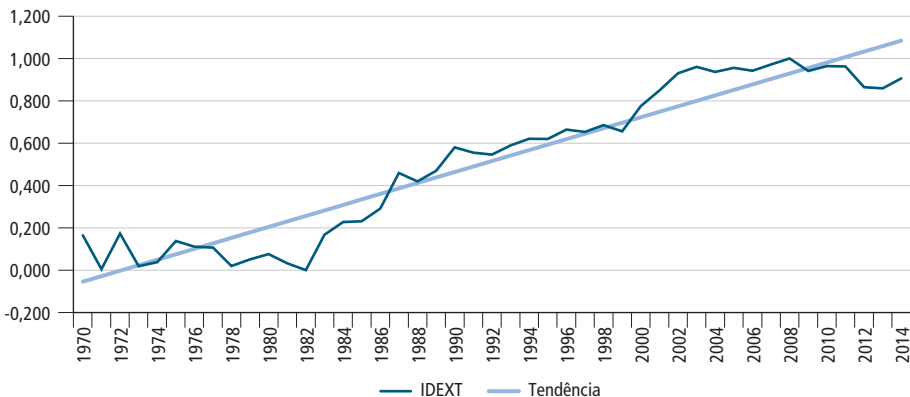
Elaboração dos autores.

Nota: ¹ a.a. – ao ano.

Obs.: TGC é estimada pela equação: $\log(Y_t) = \alpha + \beta T + \xi t$; em que Y pode ser tanto IOE, IPE como IDEXT. T é o tempo ($T = 0, 1, \dots, n$). O coeficiente α é o parâmetro log-linear; β é o parâmetro angular que, multiplicado por 100 se transforma na TGC instantânea da variável do lado esquerdo da equação; ξt é o termo aleatório.

O valor médio encontrado para o IDEXT foi de 0,515, ressaltando que, quanto mais próximo de 1, maior a dependência externa de energia; e, quanto mais próximo de 0, menor será essa dependência. O período compreendido entre 1970 e 1989 foi aquele em que o IDEXT ficou abaixo da média. Já o período de 1990 a 2014, correspondeu aos anos acima da média. A TGC de 8,35%, estimada para o IDEXT, foi superior àquelas estimadas para os índices de produção e de oferta de energia. Isso significa que, mesmo o país produzindo bem a energia, no intuito de melhorar a oferta, continua dependente de importação de algumas fontes como: petróleo, gás natural, carvão mineral e eletricidade. Para o país ser autossuficiente, necessita ter um maior IPE e que, preferencialmente, seja fundado em fontes renováveis para que a matriz seja mais sustentável. Somente desta forma pode-se reduzir a dependência externa do fornecimento de energia, a qual demonstra ser crescente a uma taxa muito expressiva. O comportamento do IDEXT e de sua tendência podem ser observados no gráfico 5.

GRÁFICO 5
IDEXT no Brasil (1970-2014)



Fonte: BEN (EPE, [s.d.]).
Elaboração dos autores.

É possível afirmar que, pelo comportamento do IDEXT (tabela 3 e gráfico 5), ao invés de diminuir a necessidade de importar energia ao longo dos anos, essa realidade foi bem diferente diante dos resultados. Analisando-se o período de 1970 a 2014, verificou-se o inverso, os resultados se elevaram com o passar dos anos, resultante principalmente da maior dependência externa das fontes: carvão mineral e gás natural. Mesmo com as inúmeras mudanças e iniciativas para melhorar e diversificar a produção energética, o país ainda não é autossuficiente para suprir a demanda interna das fontes citadas. Entretanto, a busca por novas reservas, bem como vem ocorrendo com o pré-sal, favoreceu o aumento da produção interna de petróleo, fazendo com que a dependência externa dessa fonte energética fosse reduzida, mas ainda não foi capaz de provocar inflexão para baixo da curva de tendência da dependência externa de energia.

Essa elevação recente na oferta de petróleo decorre do aumento dos incentivos na busca por novas bacias petrolíferas, acompanhado de maiores investimentos no setor. Segundo a Secretaria de Comércio Exterior (Secex), órgão do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), os dados da balança comercial brasileira de petróleo e derivados entre 1997 e 2014 foram importados US\$ 263,2 bilhões e exportados US\$ 231,5 bilhões (Brasil, 2014).

Outro fator a ser citado é a alta instabilidade do índice aferido por um coeficiente de variação, na magnitude de 69,22%. De acordo com o BEN, o carvão mineral é a fonte que ocupa o primeiro lugar no *ranking* das mais dependentes do mercado externo (gráfico 4).

Desse modo, de acordo com os resultados discutidos nesta seção, pode-se afirmar que o Brasil possui uma tendência ascendente de crescimento, no que se refere à dependência externa de energia para as fontes citadas anteriormente. Assim, como foi mostrado na tabela 3 e no gráfico 5, é válido afirmar que o país possui insustentabilidade econômica na matriz energética no período analisado (1970-2014), devido à produção interna não ser suficiente para suprir a demanda energética do país, tornando-se necessário recorrer ao mercado internacional, com a finalidade de complementar a matriz energética brasileira. Assim, é necessário dispor de recursos financeiros para a importação das fontes energéticas indisponíveis. Nesse contexto, é válido frisar que essa dependência está relacionada, principalmente, às fontes energéticas de origem fóssil.

Nessa perspectiva, a matriz energética brasileira possui, historicamente, uma parte considerável das fontes renováveis na oferta interna de energia. Entretanto, a trajetória de crescimento econômico, juntamente com o intenso processo de industrialização pelo qual passou a economia brasileira nas últimas décadas, contribuíram para o aumento da demanda da população por recursos naturais, bem como a dependência por combustíveis fósseis não renováveis.

A elevada dependência hidráulica do sistema elétrico brasileiro, cuja capacidade de armazenamento de energia (água armazenada nos reservatórios) é de natureza estocástica, introduz certo risco na capacidade de suprimento ininterrupto de energia no Brasil. Este risco pode ser minimizado por meio da entrada de novas fontes energéticas na matriz de suprimento de energia elétrica, como a energia eólica e PCHs. Outras fontes mais descentralizadas, como a energia fotovoltaica, também podem contribuir para a diversificação, especialmente em relação a comunidades isoladas, que não possuem acesso à rede de energia elétrica.

Segundo as projeções do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2026, documento divulgado pelo MME e pela EPE, para fazer frente ao seu crescimento, de forma segura, econômica e com respeito à legislação ambiental, o Brasil dispõe de grande potencial energético, com destaque para as fontes renováveis de energia

(potenciais hidráulico, eólico, de biomassa e solar). A oferta indicativa leva em consideração a necessidade energética, o custo para implantação e operação de cada fonte e os prazos estimados para entrada em operação das usinas a serem contratadas nos leilões futuros (Brasil, 2007; 2017).

As projeções em relação ao carvão mineral nacional e o aproveitamento para novas plantas esbarram nas dificuldades ambientais e na falta de financiamento, este notadamente proveniente do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). Outros tipos de financiamento certamente tenderão a aumentar os custos de implantação, reduzindo significativamente a atratividade econômica desta opção de expansão. Com isso, assumiu-se a premissa de que o desenvolvimento de novas usinas somente será viável após o horizonte decenal, ou seja, após 2026 (Brasil, 2017).

Cabe destacar, entretanto, que na indisponibilidade de gás natural, principalmente por eventuais restrições de infraestrutura de oferta, ou cenários mais restritivos para os aproveitamentos hidrelétricos, a opção pelo carvão mineral possa se apresentar como solução alternativa de expansão.

De acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 (Brasil, 2007), no caso dos recursos naturais que apresentam usos múltiplos ou são passíveis de disputa pelos diversos grupos econômicos e sociais, observa-se que há a necessidade de uma ampla discussão sobre as prioridades de uso, bem como sobre os impactos decorrentes da utilização ou não desses recursos. O grau de conflito que vem surgindo entre os agentes envolvidos nas discussões sobre a construção de hidrelétricas, a criação de áreas de preservação ambiental e a delimitação de reservas indígenas, por exemplo, pode tornar-se um empecilho para a expansão da oferta de energia e para o próprio uso sustentável dos recursos nos próximos anos.

No cenário estimado pelo PDE 2026, a evolução da oferta interna de energia no horizonte decenal previsto para 2026 é de uma participação de 48% de energia renovável e de 52% de energia não renovável para o caso da matriz energética brasileira (Brasil, 2017).

Desse modo, vale destacar que, nas análises realizadas a partir dos resultados dos índices estimados (IPE, IOE e IDEXT), foram utilizados os principais dados disponíveis no BEN, fornecidos pelo MME e pela EPE, os quais também são usados como base para a elaboração do PNE 2030 e do PDE 2026. Portanto, a análise da série histórica foi de caráter retrospectivo, de 1970 a 2014. Assim, não foi objetivo desta pesquisa fazer projeções futuras na execução da metodologia utilizada, uma vez que estas perspectivas futuras foram citadas no corpo do texto por meio dos planos PNE 2030 e PDE 2026.

5.3 Impacto do IDEXT sobre a evolução do PIB brasileiro

Em 1970, o Brasil apresentava um PIB de aproximadamente R\$ 500 bilhões (em valores de reais de 2005) e uma população de 93 milhões de habitantes. Os consumos finais de energia e de energia elétrica eram equivalentes a 60,6 milhões tep e 39,7 TWh, respectivamente. Trinta e cinco anos após, o PIB era quatro vezes maior (R\$ 1,938 bilhão), a população havia dobrado (185 milhões de habitantes) e o consumo final de energia, triplicado (183,4 milhões tep). Naquele ano, o consumo de energia elétrica foi o que apresentou crescimento mais expressivo, de quase dez vezes, 375,2 TWh (Brasil, 2007). Isso mostra o quanto o crescimento econômico do país está ligado a variáveis como: consumo de energia e eletricidade, bem como o crescimento populacional.

Para mensurar o impacto do IDEXT sobre a evolução do PIB, optou-se pela análise de regressão linear simples, na forma funcional logarítmica, da qual foi possível obter os resultados ao longo desta seção.

Inicialmente, é válido analisar o ajustamento do modelo, bem como interpretar os coeficientes estimados, os quais são mostrados na tabela 5.

TABELA 5
Coeficientes de ajuste do modelo

Variáveis		Coeficientes de ajuste do modelo		
Dependente	Independente	R	R^2	R^2 ajustado
PIB	IDEXT	0,627	0,393	0,379

Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.
Elaboração dos autores.

De acordo com as evidências mostradas na tabela 5, o coeficiente de determinação (R^2) indica que, aproximadamente 39% da variação do PIB, no período analisado, pode ser explicada pelo IDEXT. Para o coeficiente de determinação ajustado (R^2), indica que 37,9% da variação do PIB pode ser explicada pelo IDEXT. Para Fávero *et al.* (2009), alguns pesquisadores destacam a qualidade dos modelos do índice, ao obterem altos percentuais para o R^2 . Porém, essa medida somente captura a relação entre as variáveis utilizadas no modelo. Wooldridge (2002) enfatiza que é mais importante não dar ênfase demais para o valor do R^2 na análise de modelos econométricos. Entretanto, se uma única variável conseguir capturar toda essa relação em uma situação de existência de inúmeros outros fatores, o modelo poderá ser satisfatório.

Os testes que mostram a significância do modelo estimado podem ser observados na tabela 6.

TABELA 6
Significância do modelo – ANOVA¹

Teste F	Significância	Coeficientes estimados		Teste t	Significância
		Modelo	Betas		
27,882	0,000 ^b	Intercepto (β_0)	0,436	6,764	0,000
		IDEXT (β_1)	-0,545	-5,280	0,000

Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ ANOVA – análise de variância.

Na tabela 6, a ANOVA apresenta o resultado da significância do modelo estimado, por meio da estatística F , de Snedecor, que se mostrou significativa em um nível de erro menor que 5% (Sig. $F = 0,000 < 0,05$). Assim, aceita-se a hipótese alternativa de que β_0 e β_1 são diferentes de 0, o que implica a significância estatística do modelo estimado. Isso confirma que a variável colocada do lado direito da equação de definição (IDEXT) é relevante na explanação estatística daquela que está do lado esquerdo (PIB), nos níveis de significância utilizados neste tipo de estudo, que são os usualmente utilizados em pesquisas como esta.

Como consequência das evidências encontradas, o modelo final estimado pela regressão linear é especificado na equação 11:

$$\widehat{PIB} = 0,436 - 0,545 (IDEXT) \quad (11)$$

O sinal negativo é significativamente diferente de 0, no nível de significância estatística nula (probabilidade de erro igual a 0), confirmando assim as expectativas desta pesquisa. Ao se elevar o IDEXT, o PIB *per capita* brasileiro retroage. Os resultados sintetizados na equação (8) sugerem que a variação de 0,1 unidade do IDEXT provoca variações em sentido contrário no PIB, na ordem de 0,545 unidades. Portanto, é uma relação negativamente inelástica.

Logo, esses resultados demonstram que, no período analisado (1970-2014), o IDEXT estimado na pesquisa pode ser um instrumento importante de avaliação do impacto dessa dependência sobre o PIB brasileiro no período.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo tem como resultado a constatação de que, no período de 1970 a 2014, várias transformações ocorreram no percurso do desenvolvimento da matriz energética. Nessa trajetória, um dos fatores para essa necessidade de mudança foi a crise do petróleo (em 1973 e 1979), provocada pela redução de oferta, resultando no aumento do preço do barril, que impulsionou o Brasil, bem como as economias mundiais, a repensar o modelo energético atuante. Este fato, possivelmente,

provocou uma maior inserção de programas de incentivo às fontes de energias renováveis (como o aumento do potencial hidrelétrico, biomassa, eólico e solar) e mudanças no direcionamento do planejamento energético, com uma grande redução do uso da lenha como fonte energética, que há algumas décadas era a principal fonte utilizada.

Entretanto, as fontes de energias não renováveis, principalmente o petróleo e o gás natural, se mostraram com produções crescentes, contribuindo para o avanço na participação da matriz energética brasileira, permitindo afirmar que há uma disparidade na afirmativa de que o país possui maior participação de fontes renováveis em seu sistema energético.

Os índices estimados para mensurar a sustentabilidade econômica do fornecimento de energia IPE e IOE mostraram um comportamento ascendente, indicando que houve um crescimento da produção e da oferta energética (renovável e não renovável) no Brasil ao longo do intervalo analisado, indexados pelo crescimento populacional no período. O IDEXT, que analisou a evolução das importações, também se mostrou ascendente e com taxa de crescimento superior àquelas observadas pelos dois índices supracitados. Com isso, conclui-se que, no Brasil, apesar dos investimentos na melhoria das condições do fornecimento energético buscarem suprir uma demanda crescente, o país ainda necessita importar mais energia do que produz para complementar a produção nacional e disponibilizá-la por meio da oferta interna energética.

Observa-se que, além de ascendentes, os índices mostraram elevadas instabilidades. O conjunto dessas informações permite concluir que a matriz energética brasileira foi insustentável de um ponto de vista econômico entre 1970 e 2014.

Nos últimos 25 anos, a política energética no Brasil se concentrou na redução da dependência externa e no estímulo ao desenvolvimento de fontes de energia. As evidências encontradas na pesquisa sugerem que o país não foi bem-sucedido nesta tentativa. Observou-se que o IDEXT, que avalia a evolução do balanço entre a produção interna e importação de energia, tende a provocar impactos negativos no PIB brasileiro, ou seja, são necessários maiores níveis de reservas cambiais para arcar com a crescente importação energética.

Diante do que foi exposto neste trabalho, observou-se que a matriz energética brasileira apresenta insustentabilidade na dimensão econômica no período analisado (1970-2014), devido à produção interna não ser suficiente para suprir a demanda energética do país, tornando-se necessário recorrer ao mercado externo.

Desse modo, um país com uma população em crescimento, com ampla extensão territorial e peso econômico como o Brasil, não deve esperar que os problemas se agravem, para só então adotar medidas destinadas a ajustar sua matriz energética ao cenário de escassez de fontes não renováveis.

O Brasil se destaca por possuir hoje uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis, realidade verificada em poucos países no mundo. Isso significa que as emissões de GEE por unidade de energia consumida no Brasil são pequenas comparativamente a outros países. Contudo, em relação aos indicadores socioeconômicos, o Brasil terá de superar desafios para atingir padrões de consumo comparáveis aos de países desenvolvidos e isso impactará diretamente a demanda de energia.

A matriz energética elaborada pela EPE serviu de base para as medidas do setor de energia que constam na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil, apresentada durante a COP21, em 2015. Compreende o conjunto da economia e se baseia em caminhos flexíveis para atingir esses objetivos, ou seja, o alcance dos objetivos pode ocorrer de diversas formas, com diferentes contribuições dos setores da economia. Portanto, considerando tais caminhos flexíveis, existe uma gama de trajetórias possíveis na esfera de decisão do Brasil em privilegiar a expansão de fontes renováveis no consumo e na geração de energia. A definição de qual trajetória seguir, por sua vez, ancora-se em uma série de estudos técnicos e conjunturais, que servem de base para a quantificação dos objetivos, que são desafiadores, porém factíveis, e retrata o compromisso do Brasil na contribuição para o desenvolvimento sustentável e combate às mudanças climáticas.

Portanto, é válido salientar que o problema efetivo de aferir a sustentabilidade da matriz energética brasileira, pela amplitude e multidimensionalidade que abrangem seu conceito, faz com que haja uma maior complexidade na busca e na escolha de indicadores que consigam transparecer e evidenciar o cenário energético. Espera-se que a proposição analítica sugerida possa contribuir para a ampliação das possibilidades de avaliação e discussão da forma de medir um conceito à sustentabilidade de uma matriz energética.

REFERÊNCIAS

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**: Rio de Janeiro: ANP, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2XZaXFR>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

ANTONY, G. M.; VISWESWARA RAO, K. A composite index to explain variations in poverty, health, nutritional status and standard of living: use of multivariate statistical methods. **Public Health**, v. 121, n. 8, p. 578-587, 2007.

AZEVEDO, D. B.; MALAFAIA, G. C.; CAMARGO, M. E. Análise do comportamento do consumo energético no setor agropecuário. **Revista Política Agrícola**, Brasília, v. 16, n. 3, p. 49-57, jul./ago./set., 2007.

BAJAY, S. V. Evolução do planejamento energético no Brasil na última década e desafios pendentes. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 19, n. 1, p. 255-266, 2013.

BASILEVSKY, A. **Statistical factor analysis and related methods**: theory and applications. New York: John Wiley & Sons, 1994. 445 p.

BIODIESELBR. **PróAlcool**: Programa Brasileiro de Álcool. Disponível em: <<https://bit.ly/2L4wY0A>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

BLS – U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. **Consumer Price Index (CPI) Databases**. [s.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.bls.gov/cpi/data.htm>>. Acesso em: 6 jan. 2016.

BOSSEL, H. **Indicators for sustainable development**: theory, method, applications – A report to the Balaton Group. Canada: IISD, 1999. Disponível em: <<https://bit.ly/34yUeeH>>. Acesso em: 4 out. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME; EPE, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2q6hEJE>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

_____. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Comércio Exterior (Secex). **Séries históricas**. Brasília: MDIC, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2Ov0cl0>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2slzd98>>. Acesso em: 5 fev. 2018.

CARMINATI, J. G. O.; SCALCO, P. R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 19, n. 2, p. 355-374, 2013.

CIMA, F. M. **Utilização de Indicadores Energéticos no Planejamento Energético Integrado**. 2006, 195 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/34wInhv>>. Acesso em: 15 out. 2015.

COSTA, R. C. Do model structures affect findings? Two energy consumption and CO2 emission scenarios for Brazil in 2010. **Energy Policy**, v. 29, n. 10, p. 777-785, 2001.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; MOURA, L. R. C. Degradação ambiental nos estados de Goiás e Tocantins. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 53, 2005, Ribeirão Preto. **Anais**... Ribeirão Preto: SOBER, 2005, p. 1-15.

DILLON, W.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis: methods and applications**. New York: Mc Graw Hill, 1984. 435p.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: séries completas**. EPE, [s.d.]. Disponível em: <<http://bit.ly/2QCdliz>>. Acesso em: 10 out. 2015a.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015: ano-base 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2PZz0C3>>.

FÁVERO, L. P. *et al.* **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 646 p.

FREITAS, G. S. **As modificações na matriz energética brasileira e as implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. 2011, 232 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2L4SbYe>>. Acesso em: 20 out. 2015.

FGV – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Índices Gerais de Preços. [s.l.]: FGV, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2OoU43P>>. Acesso em: 5 jan. 2016.

GELLER, H. **Energy revolution: policies for a sustainable future**. 2 ed. Washington, D.C.: Island Press, 2003.

HAIR JUNIOR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto valores correntes**. [s.l.]: IBGE, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2stdz2Z>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Indicators for Sustainable Energy Development: ISED**. Austria: AIEA, 2003.

_____. **Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies**. Vienna, Austria: UNDESA; EEA. 2005. Disponível em: <<https://bit.ly/33tqPkL>>. Acesso em: 12 out. 2015.

_____. **Energy prices and Taxes**. 4 ed. Paris: OECD Publishing, 2016.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipeadata**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6 ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson; Prentice Hall, 2007.

JORGENSEN, U.; DALGAARDA, T.; KRISTENSENB, S. E. Biomass energy in organic farming: the potential role of short rotation coppice. **Biomass and Bioenergy**, Tjele, v. 28, n. 2, p. 237-248, fev. 2005.

KELLY, R.; SIRR, L.; RATCLIFFE, R. Futures thinking to achieve sustainable development at local level in Ireland. **Foresight**, v. 6, n. 2, p. 80-90, 2004.

LANDES, D. S. **Prometeu desacorrentado**: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental desde 1750 até a nossa época. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1969.

LOPES, D. G. **O impacto da energia elétrica proveniente do reformador de etanol e célula a combustível**: cenário para a promoção do desenvolvimento socioambiental da comunidade “Pico do Amor”/MT. 2009, 96 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2XZ0ry5>>. Acesso em: 10 out. 2015.

MARTIN, J. M. **A economia mundial da energia**. São Paulo: UNESP, 1992.

MELO, C. O.; PARRÉ, J. L. Caracterização do desenvolvimento rural dos municípios paranaenses. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA RURAL, 54, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SOBER, 2006.

MORAIS, J. M. **Petróleo em águas profundas**: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore. Brasília: Ipea; Petrobras, 2013. 424 p.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU esclarece dúvidas a respeito do novo acordo climático adotado pelos Estados-membros na COP21**. Nações Unidas.org, 21 dez. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2Ox6Ayw>>. Acesso em 25 dez. 2015.

SANTOS, F. C. B. **Desenvolvimento e análise de um índice de sustentabilidade energética utilizando lógica Fuzzy**. 2010. 137 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2QXQq2S>>. Acesso em: 9 nov. 2015.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SCHIPPER L.; UNANDER F.; MARIE-LILLIU C. **The IEA energy indicators effort**. Paris: IEA, 2000.

SILVA, M. A. C. **Factores de sustentabilidade em energias renováveis**. 2012. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2Dpn85g>>. Acesso em: 29 out. 2015.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2002, 235 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/2qVPjpl>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

WCED – WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. Oxford, New York: Oxford University Press, 1987.

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

Data de submissão: 27/7/2016

Primeira decisão editorial em: 31/1/2018

Última versão recebida em: 2/3/2018

Aprovação final em: 16/3/2018

