

DESEMPENHO ECONÔMICO, ENERGÉTICO E AMBIENTAL NOS SETORES METALÚRGICO E MINERAIS NÃO METÁLICOS DO BRASIL

Economic, energy and environmental performance in the non-metallic metallurgical and mineral sectors of Brazil

Hugo Leonardo Carvalho Soares

Economista pela Universidade Federal de Maranhão (UFMA). Mestre em Economia no Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia - Universidade Federal da Bahia (UFBA). hugo_lcs@hotmail.com

Henrique Tomé da Costa Mata

Engenheiro Florestal pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor Associado III da Faculdade de Ciências Econômicas (FCE/UFBA). Praça da Piedade, Dois de Julho, CEP: 40060-300, Salvador, BA. hnrmata@hotmail.com

Resumo: O desenvolvimento econômico pressupõe disponibilidade de energia, uma vez que a oferta de recursos energéticos é determinante para o crescimento econômico. Choques de petróleo e movimentos ambientais fizeram o uso de energia ganhar relevância técnica, econômica e ambiental em termos de escolhas políticas na gestão sustentável de recursos energéticos. A pesquisa tem por objetivo, em termos gerais, discutir o trade-off entre crescimento econômico, consumo energético e impactos ambientais. O estudo baseou-se em trabalhos que analisam a energia do ponto de vista físico e econômico, assim como, bibliografias de ramos da economia que analisam o meio ambiente do ponto de vista das restrições à sustentabilidade da estrutura produtiva. O artigo é parte da dissertação e visou analisar o trade-off no consumo de energia, meio ambiente e crescimento nos setores metalúrgico e minerais não metálicos no Brasil. A análise foi conduzida com a aplicação do modelo de insumo-produto para dados de relações de produção e consumo da matriz energética e projeções de emissões de GEE sob diferentes cenários de atividade. Esses cenários afetaram o consumo de energia, emprego e emissões de poluentes. Houve reduzido multiplicador setorial de impacto no emprego, mas diferentes dimensões de impactos a depender do tipo de energia e especificidades setoriais, sendo o cenário de retração o mais sensível às variações na demanda final nos setores de Minerais Não Metálicos e da Metalurgia.

Palavras-chaves: Energia; Emprego; Meio ambiente; Insumo-produto.

Abstract: Economic development presupposes energy availability, since the supply of energy resources is crucial for economic growth. Oil shocks and environmental movements have made the use of energy technically, economically and environmentally relevant in terms of policy choices in the sustainable management of energy resources. The research aims, in general terms, to discuss the trade-off between economic growth, energy consumption and environmental impacts. The study was based on works that analyze energy from the physical and economic point of view, as well as bibliographies from branches of the economy that analyze the environment from the point of view of constraints to the sustainability of the productive structure. The article is part of the dissertation and aimed to analyze the trade-off in energy consumption, environment and growth in the metallurgical and non-metallic minerals sectors in Brazil. The analysis was conducted by applying the input-output model to data of energy matrix production and consumption relations and projections of GHG emissions under different activity scenarios. These scenarios affected energy consumption, employment and pollutant emissions. There was a small sectoral multiplier of impact on employment, but different dimensions of impacts depending on the type of energy and sector specificities, with the retraction scenario being the most sensitive to variations in final demand in the Non-Metallic Minerals and Metallurgy sectors.

Keywords: Energy; Job; Environment; Input-Output.

1 INTRODUÇÃO

Diferentes estágios de desenvolvimento estão associados a quantidades de energia consumida. O incremento da atividade econômica depende da capacidade de gerar, transmitir e distribuir energia. O acesso a recursos energéticos em termos de viabilidades técnico-ambientais determina vantagens competitivas e econômicas de cada país. Para Carminati e Scalco (2013), energia é fator de produção equivalente a capital, porque potencializa a capacidade produtiva e infraestruturas do desenvolvimento. A industrialização e a urbanização induzem no maior consumo de energia, por isso os investimentos no setor de energia estimulam a produtividade global. A normalidade na oferta de energia é uma das bases de sustentação da atividade econômica.

As fontes de energia podem ser primárias ou secundárias. Fontes primárias são diretamente disponíveis ao consumo, a exemplo da energia solar, geotérmica e eólica. Já as fontes secundárias, resultam do processo de transformação das formas primárias, como energia elétrica e os derivados de petróleo. A energia necessária para dado sistema está associado também às abordagens ambientais, porque a depender da fonte alternativa, o suprimento da demanda pode ser economicamente problemático, por isso a diversificação de uma matriz energética é preponderante e necessária para a garantia da segurança energética e para a estabilidade de preço dos insumos à produção.

Segundo Rovere et al. (1985), até a década de 1970, a energia era fator de produção de preço crescente e consistia basicamente de petróleo e, com elevações dos preços nos anos 70, tiveram impactos nos custos, gerando escassez relativa dessa fonte industrial de energia. Deu-se então início à nova fase de planejamento e gestão de recursos energéticos, em função do choque da oferta de energia nos anos 70.

O planejamento energético ganhou importância estratégica e alerta para a necessidade de diversificação alternativa da matriz, para petróleo, eletricidade, gás, solar, eólica, biodiesel, biomassa, em um esforço amplo para atender a demanda crescente com o mínimo de externalidades ambientais.

A busca por alternativas de energia requereu opções consistentes com o padrão de desenvolvimento econômico, social e ambiental, porque essas escolhas afetaram o padrão de consumo e qua-

lidade ambiental. Entretanto, ainda hoje a oferta de energia se baseia nas fontes fósseis, com emissões críticas de resíduos poluentes e riscos à sustentabilidade de todo o sistema econômico e ecológico, tornando a busca por mudança neste cenário um desafio para a sustentabilidade e a inserção de novas tecnologias energéticas, principalmente no âmbito de mudanças climáticas.

Por outro lado, o Brasil tem posição de destaque neste cenário, ao deter grande potencial energético que lhe permite diversidade na geração de energia através de várias fontes. Entretanto, o problema nacional de transmissão e distribuição se traduz em uma real ameaça estrutural às oportunidades de desenvolvimento. O território brasileiro é dotado de enormes potenciais de recursos hídricos para a geração de energia hidrelétrica, não obstante a dependência da estabilidade dos ciclos hidrológicos.

Para Martín e Justo (2015), o desenvolvimento e a localização dos empreendimentos produtivos, em especial, os de natureza extrativa, causam externalidades ambientais em função de formas intensivas de uso. Por isso, há necessidade de analisar e avaliar as características técnicas de diferentes cadeias e a heterogeneidade da oferta (ROVERE et al., 1985).

Na conjuntura atual brasileira, em que a continuidade do processo de crescimento e desenvolvimento econômico dependem de segurança energética, a sustentabilidade do sistema deve considerar os limites temporais de curto e longo prazos e a rigidez da oferta que atendam à demanda crescente pra diferentes usos.

O estudo propõe, em termos gerais, analisar e ilustrar o *trade-off* entre crescimento econômico e o consumo energético, considerando cenários de impactos ambientais dentro da abordagem de insumo-produto. Em termos específicos, objetiva-se: a) Contextualizar a importância e o panorama atual de consumo de energia no mundo, no Brasil e nos setores destacados; b) Analisar a estrutura produtiva e os setores-chaves da economia brasileira segundo agregados minerais não metálicos e da metalurgia, destacando a relevância econômica desses setores em relação ao uso de energia e emissão de poluentes, e; c) Construir cenários hipotéticos para a análise da dinâmica econômica e a variação do consumo de energia, emissão de poluentes e nível de emprego setorial.

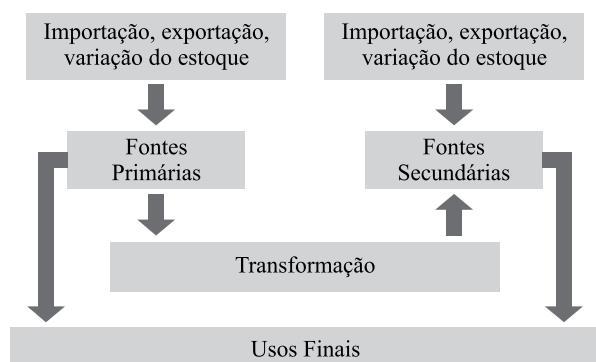
Montoya e Pasqual (2015) mostram que o modelo analítico de insumo-produto retrata relações técnicas e econômicas apropriadas para a análise energético-ambiental. Nesse contexto, a matriz de insumo-produto é uma estrutura prática para caracterizar a malha produtiva segundo a agregação desejável que atenda à repercussão ambiental do consumo de energia e geração de empregos, dessa forma, a matriz de relação intersetorial é um instrumento auxiliar de grande relevância para a pesquisa.

2 PERSPECTIVA ECONÔMICA E FÍSICA DA ATIVIDADE ENERGÉTICA

A primeira observação sobre energia prende-se as suas múltiplas dimensões (ROVERE et al., 1985). Energia deriva do grego, e tem conotação com trabalho. A energia é algumas vezes descrita como capacidade de gerar trabalho.

A estrutura de contabilidade da energia possibilita monitorar o fluxo do lado da oferta de cada fonte, controlar os processos de conversão e demanda final de energia. A Figura 1 representa o Balanço Energético (BE) descrito em termos de uma unidade física comum de energia (Joule ou Btu).

Figura 1 – Fluxo de energia descrito através do balanço energético



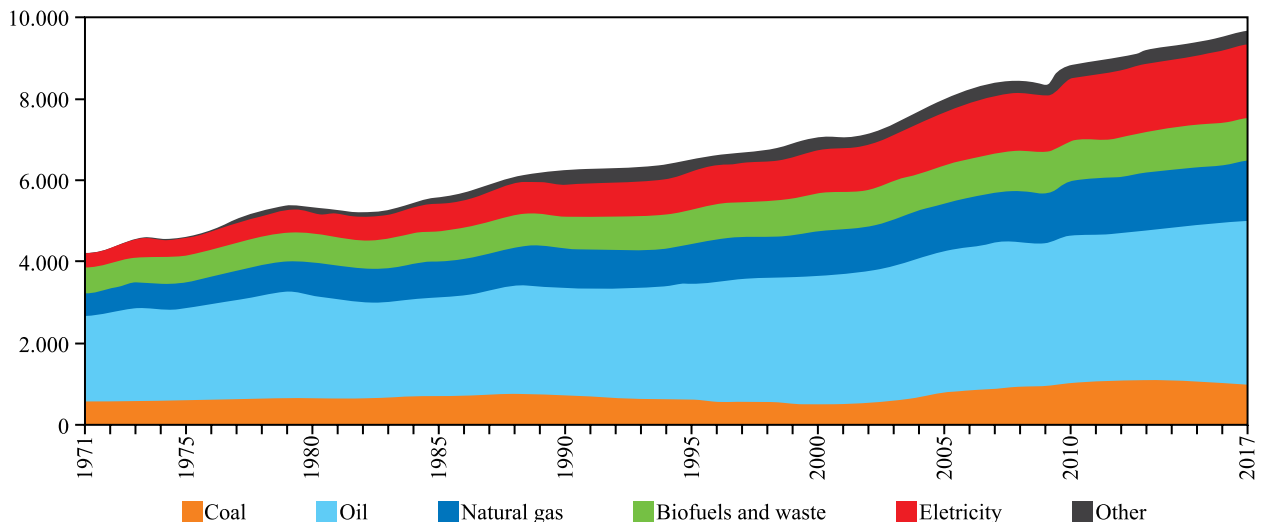
Fonte: elaborada pelos autores com base em Bhattacharyya (2011).

O BE é organizado por setores de oferta, transformação e uso, a quantidade de energia primária requerida da demanda final e as transformações necessárias na dinâmica econômica. O BE possibilita a análise da eficiência técnica do setor ao longo do tempo, melhorando o entendimento sobre diferentes fontes de energia. Os dados da Agência Internacional de Energia mostram que a quantidade consumida de energia em 2017 foi de 9,7 bilhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (Tep).

Grande parte do consumo energético é proveniente de países integrantes da OCDE (38,2%), seguido do consumo chinês que foi de aproximadamente 20,6% do consumo mundial para o ano de 2017. O predomínio de fontes de base fóssil é marcante na matriz energética mundial e, como se mostra na Figura 2, em 2017 a principal fonte foi o petróleo (Oil), com aproximadamente 4 bilhões de Tep, enquanto o gás natural (Natural gás) alcançou 1,5 bilhões de Tep, e o carvão (Coal) 1 bilhão de Tep. Desta forma, as três fontes em conjunto representam 67% do consumo mundial.

Além da predominância de fontes fósseis na matriz energética global, as diferenças nos padrões de consumo regional também se destacam, nos países asiáticos não pertencentes à OCDE, o consumo energético representou 13,5%; na Europa e Eurásia não pertencentes à OCDE foi de 7,5%, seguidos por África (6,1%), Oriente Médio (5,1%) e América não pertencente à OCDE (4,8). Em relação aos setores, o Industrial é o de maior consumo com 2,82 bilhões de Tep, correspondendo 29% do consumo final total. Os recursos energéticos passaram, a partir da revolução industrial a condicionar o desenvolvimento econômico e social dos países.

Figura 2 – Consumo total de energia final mundial por fonte de 1971 a 2017



Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados do IEA (2019).

3 REPERCUSSÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA

De acordo com Goldemberg e Lucon (2010), a diferença nos padrões de consumo de energia é uma característica intrínseca do processo de desenvolvimento, sociedades com classes de renda mais elevadas reproduzem padrões de consumo próximos aos países industrializados, e sociedades mais pobres fazem uso da energia para atender seus requerimentos sociais básicos. Comparações internacionais entre consumo de energia e PIB revelam disparidades entre países. O indicador geralmente usado para medir a relação entre o consumo e renda é o Indicador de Intensidade Energética (IIE) que é expresso em unidades energéticas de Toneladas Equivalentes de Petróleo - Tep em relação ao valor do PIB.

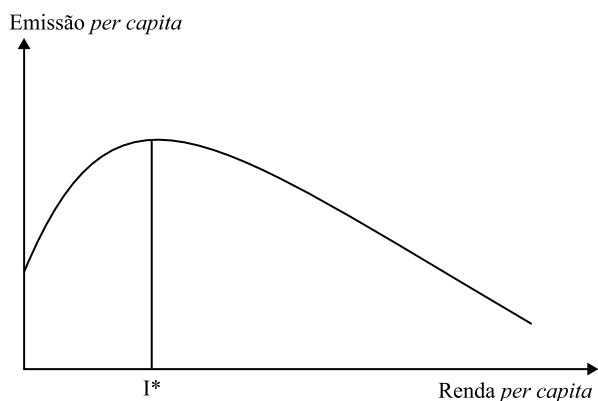
Em termos de dólares americanos, o IIE estabelece a quantidade de energia necessária para a produção de uma unidade de valor do PIB. O IIE também pode ser interpretado como indicador de eficiência energética, pois seu valor elevado indica o uso de muita energia por unidade do PIB. Disparidades internacionais entre IIE por países mostram diferentes padrões de consumo e diferenças no desenvolvimento da estrutura produtiva e tecnológica entre eles, que, por sua vez, implicam em diferentes dotações de recursos energéticos.

A decisão de investimento no setor de energia tem impactos econômicos e ambientais, em função da elevada formação bruta de capital. Essas decisões causam transbordamentos em todo o sistema de gestão de energia, desde atividades de pesquisa e desenvolvimento até planos de contingenciamento no longo prazo. Segundo Andrade e Mattei (2012), as discussões sobre impactos ambientais do sistema econômico mostram que o uso intensivo de energia fóssil é a principal causa da agenda de sustentabilidade ambiental.

Mas para Bhattacharyya (2011), a lógica econômica por trás da opção ambiental reside na Curva de Kuznets Ambiental, que sugere relação de U invertido entre os danos ambientais e renda. A Figura 3 ilustra a relação sugerida por Kuznets. Na fase inicial de crescimento da renda *per capita*, problemas ambientais são intensos, entretanto, na medida em que a renda aumenta, melhoram as qualidades ambientais em razão de reduções dos danos. Assim, se essa relação se mantiver ao longo tempo, o crescimento econômico induzirá a diminuição dos impactos ambientais.

Segundo Bhattacharyya (2011), os defensores da tese de Kuznets argumentam que o crescimento econômico tem lugar a estágios e que a mudança estrutural foi ampliada com a percepção social e ambiental dos danos; a mudança tecnológica é que permite melhorar a gestão. Os críticos da tese de Kuznets frequentemente não consideram os efeitos de danos.

Figura 3 – Curva de Kuznets Ambiental



Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados de Bhattacharyya (2011).

Andrade e Mattei (2012) consideram em análises de crescimento de longo prazo, que não havia a percepção dos limites físicos de restrição econômica. Esse debate ambiental deu origem às correntes de economia ambiental e da economia ecológica. Georgescu-Roegen (1971) definiu os fundamentos críticos à representação do processo econômico tradicional, como sistema fechado. As teses de Roegen se basearam no princípio de conservação da matéria, a Segunda Lei da Termodinâmica. Roegen mostrou na visão termodinâmica que energia e matéria entram no processo econômico em estado de entropia baixa e saem em alta entropia, se dissipando na forma de calor irreversível. A visão de Georgescu sobre a relação economia-natureza permite-nos criticar os mitos em termos de ecologia pela impossibilidade de crescimento permanente. A forma como a sociedade moderna define a estrutura básica da oferta de energia gerou restrições à sustentabilidade da estrutura produtiva.

4 ANÁLISE ENERGÉTICO-AMBIENTAL DOS SETORES METALÚRGICO E NÃO METÁLICOS

Diferentes técnicas podem ser usadas em análises de tendências. A construção de cenários para avaliar a eficácia do planejamento estratégico dos recursos energéticos é uma dessas alternativas, pois esses cenários permitem a análise de combinações alternativas de fontes de energia. Para Ghanadan e Koomey (2005), o método de construção de cenários permite que se definam trajetórias de consumo futuro, tornando mais eficiente e sustentável a decisão futura. A oferta e demanda

de energia no longo prazo dependem de mudanças geopolíticas e sociais e, por isso, a simulação de cenários se mostra útil.

A estrutura de mercado de energia tem grande relevância econômica, sobretudo no tocante a eficiência, conservação e seus efeitos multiplicadores. Perobelli et al. (2010) recorreram ao uso do modelo de insumo-produto para analisar a interdependência econômica e verificar as implicações de choques de crescimento. A análise de insumo-produto também se mostra útil em análises de impactos ambientais e dos encadeamentos hierárquicos sobre a oferta e demanda de energia.

Neste sentido, a estrutura produtiva de cada setor pode ser representada por um vetor de coeficientes estruturais, que descreve a relação entre quantidades de insumos ofertados em dado setor e a demanda desses insumos noutros setores, de maneira a determinar tais relações de interdependência setorial.

Um sistema de equações lineares como mostra a expressão 1 descreve essas relações entre quantidades totais de insumos e a produção agregada em um determinado período.

$$\begin{aligned} x_1 &= z_{11} + z_{12} + z_{13} + \dots + z_{1j} + f_1 \\ &\vdots \\ x_i &= z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} + \dots + z_{ij} + f_i \\ &\vdots \\ x_n &= z_{n1} + z_{n2} + z_{n3} + \dots + z_{nj} + f_n \end{aligned} \quad (1)$$

O sistema de equações constante na expressão 1 caracteriza o modelo de insumo-produto, em que os elementos do termo Z_{ij} representam m transações interindustriais do setor i para o setor j , x_i simboliza o valor da produção e f_i define a demanda final de cada setor. Em termos matriciais, temos na matriz $x_{(nx1)}$ o vetor da produção final; $Z_{(n \times m)}$ é a matriz de dimensão $n \times m$; e $f_{(nx1)}$ é o vetor coluna da demanda final em termos de valor monetário.

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}; Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nj} \end{bmatrix}; e f = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

De forma sintética, a expressão 2 pode ser representada na 3, em que i é o vetor coluna de i -ésima linha e J -ésima coluna de Z .

$$X = Z_{ij} + f \quad (3)$$

Miller e Blair (2009) mostram que a estrutura analítica de insumo-produto foi ampliada para permitir a mensuração de impactos da poluição e o fluxo de oferta e demanda de energia.

A contabilização da geração de poluentes interindustrial consiste de inserção da matriz do produto de poluição ou dos coeficientes de impactos diretos. Cada elemento da matriz $D^p = [d_{kj}^p]$ representa, neste caso, quantidades de poluentes do tipo k gerados por unidade de valor monetário da produção industrial j , podendo ser representado na expressão 4, onde x^{p*} é o vetor de níveis de poluição.

$$x^{p*} = D^p x \quad (4)$$

Logo, ao inserir no modelo tradicional de Leontief, $x = Lf$, em que $L = (I - A)^{-1}$, se obtém a expressão 4 reescrita na forma x^{p*} como função de demanda final, que neste caso, representa a poluição total por tipo gerada direta e indiretamente. A demanda final é dada pela expressão 5, como a matriz de coeficientes de impactos ambientais (dentro dos colchetes), que se relaciona aos impactos da poluição em valor monetário da demanda final.

$$x^{p*} = [D^p L] f \quad (5)$$

Por exemplo, a análise de uso de energia *versus* multiplicador de emprego, pode ser inserida através de D^e e D^l , respectivamente. Assim, a nova matriz dos coeficientes de impacto direto é reescrita com as submatrizes de impactos agregados, de tal forma que $x^* = Dx$ capta o vetor de todos os impactos resultantes de choques da demanda.

$$D = \begin{bmatrix} D^e \\ D^p \\ D^l \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$x^* = \begin{bmatrix} x^{e*} \\ x^{p*} \\ x^{l*} \end{bmatrix} \quad (7)$$

4.1 Construção e simulação de cenários para a análise setorial energético-ambiental

Com o objetivo de analisar os impactos energético-ambientais decorrentes de variações da atividade econômica setorial será usada a matriz de insumo-produto da economia brasileira, para o ano-base 2016, construída a partir de Tabelas de Recursos e Usos do IBGE, com agregações setoriais que destaque os setores de Metalurgia e Mineraiis Não Metálicos.

O Anuário Estatístico do Setor de Mineraiis Não Metálicos para o ano de 2017 considera como parte deste setor atividades relevantes ao País, notadamente as indústrias que compõe o complexo da construção civil em que faz parte cimento, cerâmica, gesso, vidro, concreto etc., e esse setor é classificado pela CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas – IBGE), na Seção C onde estão localizadas as Indústrias de Transformação, na Divisão 23 Fabricação de Produtos de Mineraiis Não Metálicos.

De acordo com a Pesquisa Industrial Anual do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) o total da receita líquida de vendas do setor de Fabricação de Produtos de Mineraiis Não Metálicos somou R\$ 76,269 bilhões em 2017, valor que representa 2,6% do setor industrial. Segundo a RAIS (BRASIL, 2019), em 2017, foram registrados 363.112 empregos no setor; em 2018 o consumo energético representou 9,83% do setor industrial e 3,07% do consumo total nacional. A emissão de poluentes foi estimada em 26,48 milhões de Toneladas (Ton.) de CO₂e GWP-AR5 em 2017, segundo o Sistema de Estimativa de Emissão dos Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2019).

Segundo o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico, este segmento tem expressiva importância no cenário econômico brasileiro, com uma extensa cadeia produtiva, ligada à metalurgia e usinagem, sendo a base de atividades relevantes para o país como as indústrias automobilística, de construção civil e de bens de capital. O Setor de Metalurgia está classificado pelo CNAE na Seção C, onde estão localizadas as Indústrias de Transformação, na Divisão 24, setor composto pelos grupos de Produção de Ferro-Gusa e de Ferroligas, Siderurgia; Produção de Tubos, de Aço, exceto sem costura; Metalurgia dos Metais Não Ferrosos e Fundição.

A Pesquisa Industrial Anual elaborada pelo IBGE (2019) revela que a receita líquida da Metalurgia foi de R\$ 176,862 bilhões em 2017. Quanto ao consumo final de energia, a metalurgia representou $17.955 \cdot 10^3$ tep do consumo industrial e os dois setores em análise somados corresponderam a aproximadamente 12% do consumo energético nacional para o ano de 2018. As emissões de CO_2 foram estimadas em 50,75 milhões de Ton. de CO_2 e, o que equivalem 51,2% das emissões industriais totais. Os setores de Minerais e de Metais juntos são responsáveis por 78% das emissões do Setor de processos industriais medidos pelo Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2019), o que totaliza 77,23 milhões de Ton. de CO_2 e. Em relação ao número de empregos, foram contabilizados 623.423 de empregos formais em 2017 segundo a RAIS (BRASIL, 2019).

Como já observado, os setores Metalúrgico e de Minerais Não Metálicos impactam fortemente na dinâmica econômica do setor industrial, tendo grande grau de complementariedade com diferentes e importantes outros segmentos industriais. Para a construção da matriz de impacto do consumo de energia nestes dois setores, os dados secundários do Balanço Energético Nacional - BEN (EPE, 2018) foram utilizados, com destaque para fontes de maior consumo final de energia. Foram organizadas cinco categorias de consumo: Gás Natural; Biomassa (formado por lenha, bagaço de cana e carvão vegetal) e Biocombustível; Derivados de Petróleo (óleo diesel, óleo combustível, gasolina); Carvão (gás de coqueria, carvão mineral e carvão vapor); e Eletricidade.

As emissões de poluentes foram obtidas do SEEG (2019), a iniciativa do Observatório do Clima que compreende a produção de estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. Nesta pesquisa foram usados os dados sobre os gases de efeito estufa em carbono equivalente (CO_2 eq) disponibilizados no endereço eletrônico da SEEG (2019), visando comparar impactos de gases diferentes como, por exemplo, o monóxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), tetrafluorometano (CF_4) e clorofluorcarbonetos (CFC). Quanto aos dados de emprego, eles foram compilados da estatística da RAIS. Todos os dados são referentes ao ano-base 2016 para compatibilizar à matriz de insumo-produto brasileira.

Os setores de atividade econômica brasileira foram agregados em nove grandes agregados para compatibilizar as informações de consumo de energia e de emissões de poluentes. Os nove agregados setoriais foram assim distribuídos:

- **Setor I:** agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura;
- **Setor II:** indústrias extrativas, extração de carvão mineral, petróleo e minerais metálicos;
- **Setor III:** parte da indústria de transformação, incluindo fábricas de produtos alimentícios, bebidas, produtos do fumo, confecção de artigos do vestiário, produtos de madeira, papel celulose e fabricação de produtos farmacêuticos e produtos de borracha;
- **Setor IV:** fabricação de produtos minerais não metálicos;
- **Setor V:** atividade de metalurgia;
- **Setor VI:** outras indústrias de transformação, fabricação de produtos de metal, equipamentos de informática, eletrônicos, veículos automotores, móveis, serviços de utilidade pública e construção civil;
- **Setor VII:** atividades do comércio;
- **Setor VIII:** agregado de transporte, armazenamento e correios;
- **Setor IX:** serviços diversos, atividades de alojamento, informação e comunicação, atividades financeiras, seguros e serviços relacionados, imobiliárias, administração pública, educação e outras atividades de serviços, inclusive, a atividade doméstica.

Com base nesse nível de agregação setorial, foram construídos três cenários analíticos:

- **Cenário I:** analisar o contexto em que choques de retração da demanda final nos setores da Metalurgia e Minerais Não Metálicos afetam a emissão de poluentes e consumo de energia;
- **Cenário II:** análise da possibilidade de ocorrência de uma conjuntura conservadora, onde não haveria grande distinção em relação ao comportamento observado no ano de referência 2016;
- **Cenário III:** análise no contexto da expansão/ aquecimento da demanda final dos setores de Metais e Minerais Não Metálicos, mantendo os outros setores econômicos constantes nesses cenários.

A formulação amostral básica apresentada na expressão 8 serviu para definir o erro e a variância para

a estimação prévia do tamanho amostral. Os dados da demanda final foram simulados com a aplicação do Método de Monte Carlo, usando amostra de tamanho n dado pela expressão 8, onde σ^2 é a variância, Z^2_γ é o quadrado do valor crítico da distribuição Z definido para nível de significância 95% de probabilidade e ε^2 , o quadrado do erro amostral.

$$x^{p*} = [D^pL]f \quad (8)$$

Com n estimado em 3 milhões para o intervalo de confiança de 90%, resultou na variância de 2.772, e, conseqüentemente, desvio padrão de 53, ambos medidos em milhões de reais a preços correntes de 2016.

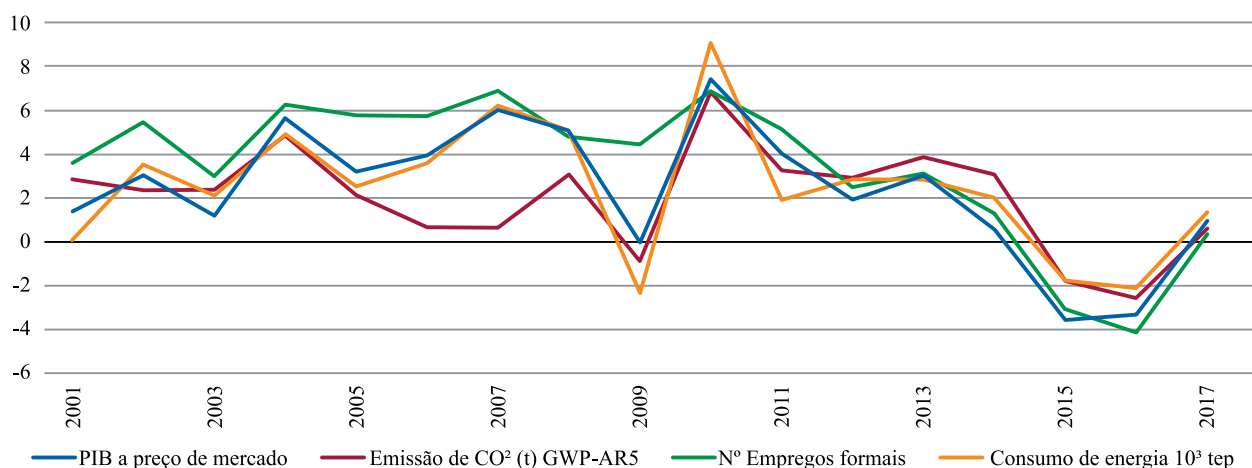
O valor que compôs o cenário de retração foi obtido do valor mínimo da simulação. Os dados da conjuntura conservadora foram extraídos da média entre o 2º e o 3º quartis e, por último, o cenário de expansão foi calculado com base no valor máximo da simulação dos dados de demanda final de 2016.

4.2 Análise de resultados

O início do Século 21 foi marcado por mudanças políticas e econômicas importantes. A evolução da economia internacional influenciou decididamente na evolução do PIB brasileiro, que depois de um ciclo de baixo crescimento observou momentos de expansão do produto agregado, culminando no ponto máximo em 2010, com crescimento de 7,53%, resultado influenciado por medidas de políticas adotadas para aquecer a economia em anos anteriores e pela fraca base de comparação, uma vez que o ano de 2009 foi marcado por redução de -0,13% no PIB.

Considerando a variação percentual anual, as variáveis número de empregos formais, emissão de CO₂eq (excluindo mudanças de uso da terra e floresta) e o consumo final de energia apresentaram trajetórias similares à variação do PIB a preços de mercado.

Figura 4 – PIB, empregos, emissão e consumo energético (% a.a.), Brasil 2001-2017



Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados de Ipeadata (2019), RAIS (BRASIL, 2019), SEEG (2019) e BEN (EPE, 2018).

A Figura 4 ilustra o comportamento do PIB, emprego, emissão de poluentes e consumo de energia no Brasil, durante os anos de 2001 a 2017, e mostra o consumo de energia e do PIB a preços de mercado que variaram a taxas muito próximas, enquanto o número de empregos formais e a emissão de poluentes passaram a acompanhar essa tendência a partir de 2010.

Utilizando a metodologia proposta para a construção dos cenários hipotéticos, observou-se que o produto total da economia diminuiu em mais de R\$ 1 bilhão, considerando uma redução na demanda final sob condições de retração. Para o ano de 2016, a demanda final foi de R\$ 7,023 trilhões, en-

quanto o valor simulado foi de R\$ 7,022 trilhões. Na conjuntura mais conservadora, a demanda final apresentou elevação no valor de R\$ 36 milhões de reais, totalizando R\$ 7.023.761 milhões reais. Assim, em um cenário de expansão, o crescimento da demanda final na economia somaria R\$ 569 milhões de reais a mais em relação à demanda original. Com as demandas projetadas, o produto final da economia brasileira em 2016 teria queda de R\$2,094 bilhões para o cenário I, enquanto no cenário II o produto nacional teria aumento de R\$ 74 milhões, e no cenário III o produto final elevaria em R\$ 1,178 bilhões de reais.

A primeira variável analisada foi o emprego com os dados retirados da RAIS (BRASIL, 2019). O número de empregos formais registrados no ano de 2016 foi de mais de 46,06 milhões de empregos formais. A participação dos setores Metalúrgico e Não Metálicos no número total de empregos no período foi relativamente pequena, pois a contribuição setorial foi inferior a 2,21%. No setor de produção Mineral Não Metálico foram registrados 384.754 empregos formais enquanto na indústria Metalúrgica foram gerados 631.569 empregos.

Com base nos cenários delineados, não foi observada diferença significativa no número de empregos. No primeiro deles, o total de empregos formais gerados teria variado com queda de 7.647 em relação aos valores de referência de 2016, contudo, essa diferença foi relativamente pequena e representou somente uma redução de 0,017% em comparação com os dados totais de 2016, quando foram gerados mais de 46,06 milhões de empregos. No cenário considerado conservador teriam sido gerados 271 empregos adicionais, portanto, valores tímidos se levarmos em consideração a quantidade total da força de trabalho empregada na economia.

Finalmente, no cenário otimista considerado, portanto, de expansão, a diferença positiva na geração de empregos teria sido de 4.302 adicionais, em um total de 46.064.500, valores relativamente pequenos em relação ao total do número de empregos, indicando que os dois setores foram intensivos na utilização de capital, e assim, a variação no número de postos de trabalho não foram impactantes em termos do número de empregos gerados, não obstante as características específicas de cada setor em matéria de capital humano.

Em 2016, o consumo final energético foi de 255,16 milhões de Tep, tendo, a seguinte distribuição: óleo diesel, eletricidade, bagaço de cana, a gasolina e gás natural, respectivamente, como as fontes mais usadas na economia brasileira. Analisando separadamente por setores de atividade econômica, observou-se que o setor de maior consumo energético foi o da indústria; dentre eles, o subsetor de Alimentos e Bebidas, o mais intensivo no consumo de energia, com 23,5 milhões de Tep, enquanto o setor Mineral Não Ferroso e da Metalurgia representaram em conjunto 27,6% do consumo final do setor industrial em 2016.

A distribuição do consumo nos segmentos destacados da atividade industrial deu-se como segue:

indústria de ferro-gusa e aço com 16,4 milhões, não ferrosos e outros da metalurgia, com 5,6 milhões, cimento, com 4,0 milhões de tep. Outros setores que se destacaram no consumo de energia na economia brasileira foram: transporte, principalmente, rodoviário, o próprio setor energético e o setor residencial.

Os produtos derivados de petróleo foram as fontes mais usadas para fins energéticos em 2016, tendo o consumo final alcançado 108,7 milhões de Tep. Observou-se que os produtos derivados de petróleo apresentaram a maior variação em termos do consumo final de energia quando analisados os três cenários considerados. No primeiro, a previsão de consumo de derivados de petróleo, composto por óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta, e querosene, atingiria $109.707 \cdot 10^3$ Tep, esse valor que representaria redução prevista no uso de derivados de petróleo na ordem de $43,2 \cdot 10^3$ Tep em relação ao consumo de referência de 2016. No cenário mais conservador, a previsão do consumo de energia alcançaria $109.752 \cdot 10^3$ Tep, aproximadamente, $1,529 \cdot 10^3$ Tep, superior ao que fora registrado no ano de 2016 para os derivados de petróleo. Finalmente, no cenário otimista de expansão, o consumo de energia subiria $24,280 \cdot 10^3$ Tep em relação aos valores de 2016. A Tabela 1, a seguir, descreve o consumo estimado por fontes destacando os cenários propostos.

Tabela 1 – Consumo de energia por fonte e cenário, Brasil – 2016

10 ³ tep	Retração	Conservador	Expansão
Gás Natural	17.529,81	17.543,22	17.550,05
Biomassa	39.653,71	39.677,68	39.689,89
Derivados de Petróleo	109.707,49	109.752,18	109.774,93
Carvão	10.291,08	10.323,60	10.340,15
Eletricidade	44.798,81	44.821,20	44.832,59
Total	221.980,90	222.117,88	222.187,61

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A biomassa foi considerada neste trabalho como uma junção do consumo de lenha, produtos da cana, carvão vegetal e biocombustíveis. O consumo total de biomassa em 2016 alcançaria $39.654 \cdot 10^3$ Tep em um cenário de retração da demanda. Essa variação se deveu à queda de 23.156 Tep no consumo de produtos com base na biomassa, caso houvesse diminuição na demanda dos setores não metálicos e da metalurgia.

Em uma conjuntura de demanda mais dinâmica, a previsão do consumo seria de 39.690 10^3 Tep adicionais de fontes consideradas como biomassa, enquanto que, no cenário conservador, a diferença seria de 820 Tep. No caso da eletricidade, a redução no consumo dessa fonte seria na ordem de 21.620 Tep, em relação ao consumo de 2016 que fora de 44.820 $\times 10^3$ Tep. No cenário de expressão, seriam consumidos 12.161 Tep adicionais em relação ao ano de referência, quantidade que aumentaria em 766 Tep em cenário conservador.

Levando em consideração estes cenários descritos, o consumo final energético de gás natural teria sido reduzido em aproximadamente 12.958 Tep. Em contrapartida, diante de expansão na demanda, o consumo seria de mais de 7.289 Tep de gás natural, o que representaria 17.550 10^3 Tep, e no cenário conservador o consumo de energia se-

ria de aproximadamente 459 mil Tep, com menor variação no consumo de gás natural.

Por fim, o consumo de carvão variou significativamente, considerando a junção do carvão vapor, gás de coqueria, coque de carvão mineral e alcatrão. Essa fonte foi a menos usada em 2016 dentre as fontes energéticas estudadas, tendo o consumo alcançado 10.322 10^3 Tep. O principal destino de consumo de carvão foi o setor da metalurgia no qual alcançou 9.667,68 10^3 Tep. A queda observada no consumo final dessa fonte no primeiro cenário seria da ordem de mais de 31.406 Tep. No segundo cenário, seriam consumidos mais de 1.113 Tep de carvão, enquanto no cenário de expansão, o consumo se elevaria em 17.666 Tep. Sendo assim, o carvão foi a segunda fonte de energia de maior variação observada, depois dos derivados de petróleo de acordo com os cenários analisados.

Figura 5 – Emissão de CO₂ eq GWP-AR5 em milhões, Brasil 1970-2017



Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados de SEEG (2019).

Como se pode observar na Figura 5, a emissão dos gases do efeito estufa cresceu de forma contínua entre 1970 e 1990. A partir desse último ano, uma grande elevação na quantidade de gases emitidos foi observada, além disso, as emissões de GEE se tornaram mais irregulares, fato motivado pela inclusão do setor que corresponde à mudança de uso da terra e floresta. Em 1970, as emissões estimadas alcançaram 322 milhões de toneladas (Ton.) de CO₂eq e mais de 2,071 bilhões de Ton. de CO₂eq para o ano de 2017, 50% de participação apenas do setor de mudança de uso da terra e floresta, representada pela alteração de solos para as atividades agropecuárias.

Em termos dos cenários delineados para a previsão dos impactos ambientais, observou-se uma redução de 554,95 mil Ton. CO₂eq na conjuntura de retração, o que representa emissão de 2,1 bilhões de Ton. de CO₂eq. No cenário conservador, a emissão seria de 2.118.836 10^3 Ton. de CO₂eq, com variação de 19,66 10^3 Ton. de CO₂eq. No último cenário, as emissões de CO₂eq elevariam em 312,16 mil Ton., essa variação representou menos de 1% do total. A Tabela 2 dispõe sobre previsões e emissões de todos os cenários delineados em termos de poluentes emitidos.

Tabela 2 – Emissões de poluentes por cenário, Brasil – 2016

Tipo de gás	10 ³ Ton. de CO ₂ eq		
	Retração	Conservador	Expansão
CO ₂ eq	2.118.262	2.118.836	2.119.129

Fonte: elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Por causa da baixa participação dos setores de minerais não metálicos e metalurgia, o total das emissões nacionais significou mínima variação nas emissões totais nos cenários propostos, pois somados esses dois setores não se passam de 5% CO₂eq emitidos, seria diferente se o objeto de análise fosse a agricultura que representou 72% do CO₂eq emitido em 2016.

Com base no conceito de entropia, não seria possível usar todas as formas de energia com a mesma eficiência, ou seja, sempre haveria alguma perda na conservação de energia, de tal forma que nenhum processo é totalmente reversível. Por esse motivo, há necessidade crescente de suprimentos de energia. Na mesma direção do conceito de entropia, os cenários acima visaram avaliar o trade-off entre o nível de atividade econômica e a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais, principalmente, em matéria de emissões poluentes.

A preocupação em relação à questão ambiental vem se mostrando de extrema relevância para a estabilidade e condições necessárias à reprodução econômica e social sustentável. Contudo, esses esforços esbarram nas restrições das estruturas produtivas conforme dualidades dos objetivos de escolha entre conservação do meio ambiente e crescimento econômico, um dilema fundamental em matéria do desenvolvimento sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia é insumo básico necessário a qualquer atividade produtiva. No plano econômico, o crescimento experimentado nos últimos anos elevou as necessidades de consumo, contrapondo o fato de ser improvável o uso de todas as formas de energia com a mesma eficiência técnica. Esse aspecto se mostrou limitativo para o crescimento contínuo, impondo restrições ao desenvolvimento sustentável.

A preocupação em relação aos problemas de sustentabilidade ambiental fez com que a questão

energética, dadas suas implicações, se tornasse o epicentro da agenda moderna em matéria de desenvolvimento econômico. Além das múltiplas categorias associadas ao conceito de sustentabilidade do desenvolvimento, o planejamento da oferta energética dentro de uma abordagem de diversificação da matriz energética é hoje a principal estratégia política, na escolha combinada entre fontes de energia, custos, externalidades econômicas e ambientais.

O debate em matéria ambiental não tem sido simples, dada a complexidade inerente ao arranjo da diversidade dos objetivos e prioridades de cada país. Por isso, as alternativas devem ser analisadas com prudência e evitar-se os mitos de salvação. O tratamento do tema na perspectiva de substituíbilidade corrobora a crença em favor da possibilidade contínua de substituição tecnológica dos recursos naturais energéticos. Tecnologias aplicadas à geração de energias alternativas ainda não foram capazes de permitir a substituição completa e atender os padrões atuais da eficiência técnica.

Como observadas, as variáveis PIB, empregos, emissão de poluentes e consumo energético variaram muito próximas nos anos recentes. Nos cenários propostos, a conjuntura de retração da demanda dos setores trabalhados resulta em uma queda de demanda total na ordem de R\$ 1 bilhão, enquanto no cenário conservador houve elevação de R\$ 36 milhões e o cenário de expansão R\$ 569 milhões.

Os dados sobre a geração dos empregos teriam pouco impacto, apresentando variação mais significativa no cenário I, com queda de 7.647 de empregos formais, por outro lado, no cenário de expansão foram gerados 4.302 empregos formais adicionais.

A maior sensibilidade observada no primeiro cenário na variável geração de empregos formais também é observada nas outras variáveis analisadas na pesquisa, em relação ao consumo de combustíveis foi de redução de 132,3 mil Tep no cenário I, enquanto em um cenário de expansão o consumo energético elevaria em 74,4 mil tep. No tocante às emissões de poluentes, seriam reduzidos em 555 mil Ton. de CO₂eq em uma retração dos setores de Metais e Não Metálicos, em contrapartida, seriam adicionados 312 mil Ton. de CO₂eq à emissão observada na economia brasileira.

A pesquisa buscou estimar o consumo energético e a emissão de poluentes de acordo com a variação da atividade econômica setorial, corroborando a tese da entropia de Georgescu-Roegen. A análise das opções de uso de recursos energéticos disponíveis devem levar em conta cenários que implicam no planejamento ambiental e energético, buscando maximizar as possibilidades de ganhos técnicos e econômicos ao mesmo tempo que se possa combinar com a diminuição das emissões de poluentes industriais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. L. C. D.; MATTEI, L. F. O trinômio economia, energia e meio ambiente. **Nexus Econômicos – CME-UFBA**, Salvador, v. 6, n. 10, p. 109-128, 2012.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR METALÚRGICO. **Ano Base 2016**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), 2017. 95 p.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE TRANSFORMAÇÃO DE NÃO METÁLICOS. **Ano Base 2016**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), 2017. 90 p.
- BHATTACHARYYA, S. C. **Energy economics: concepts, issues, markets and governance**. Londres: Springer, 2011.
- BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). Empregos em 31/12. **Anuário RAIS**. Disponível em: < http://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_anuario_rais/anuario.htm>. Acesso em: 01 Out. 2019.
- CALABI, A. S. et al. **A energia e a economia brasileira: interações econômicas e institucionais no desenvolvimento do setor energético no Brasil**. São Paulo: Pioneira, 1983.
- CARMINATI, J. G. D. O.; SCALCO, P. R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 355-374, 2013.
- COSTANZA, R.; CUMBERLAND, J.; DALY, H.; GOODLAND, R.; NORGAARD, R. **An introduction to ecological economics**. 1. ed. Nova York: CRC Press LLC, 1997.
- DAMÁSIO, J. **Análise de insumo-produto**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2017. Apontamentos não publicados.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. BEN - Séries Históricas Completas. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 20 set. 2019.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. The entropy law and the economic problem. In: GEORGESCU-ROEGEN, N. **Energy and economic myths: Institutional and Analytical Economic Essays**. Nova York: Pergamon Press Inc, 1971. p. 53-60.
- GHANADAN, R.; KOOMEY, J. G. Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California. **Energy Policy**, v. 33, p. 1117-1142, 2005.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energy, environment and development**. 2. ed. London: Earthscan, 2010.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Pesquisa Industrial Anual – Empresa. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1842>. Acesso em: 29 set. 2019.
- IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key world energy statistics**. Paris: International Energy Agency, p. 81. 2019.
- IPEADATA. PIB - preços de mercado – var. anual – (% a. a.). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema de Contas Nacionais. Disponível em: Acesso em 28 set. 2019.
- MARTÍN, L.; JUSTO, J. B. **Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe**. Santiago: Cepal, 2015. 289-335 p.
- MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis foundations and extensions**. 2. ed. Nova York, EUA: Cambridge University Press, 2009.
- MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A. O uso setorial de energia renovável *versus* não renovável e as emissões de CO₂ na economia brasileira: um modelo insumo-produto híbrido para 53 setores. **Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE)**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 289-335, ago 2015.
- PEROBELLI, F. S. et al. **Interdependência energética: uma análise inter-regional**. Juiz de Fora: Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada - FE/UFJF, 2010. 1-21 p.
- PINTO JR, H. Q. et al. **Economia da energia: fundamentos economicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2007.

ROVERE, E. L. L.; ROSA, L. P.; RODRIGUES, A. P. **Economia e tecnologia da energia**. Rio de Janeiro: Marco Zero: Finep, 1985.

SEEG. SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA. OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Emissões por setor. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>. Acesso em: out.2019.

SHELL. Cenários da Shell. **Shell Brasil**. Disponível em: <http://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/futuro-da-energia/shell-cenarios.html>. Acesso em: 10 mar. 2017.
