

DECOMPOSIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA BRASILEIRA: EFEITOS DO AUMENTO DE ATIVIDADE ENTRE 1970 - 2019

Marlon Salazar¹

¹Universidade Federal de São João del-Rei

DOI: 10.47168/rbe.v27i1.582

RESUMO

A indústria é um dos setores da economia que mais consomem energia, sendo responsável por 32% do consumo final em 2019. Compreender como se comporta o consumo da indústria ao longo das décadas, decompondo a variação do consumo entre os efeitos atividade, estrutura e intensidade, através da decomposição de números índices, é de grande importância e é o objetivo principal deste trabalho. Este trabalho inova ao utilizar o método “*Index Decomposition Analysis (IDA)*” para os dados de consumo de energia industrial. Conclui-se que o efeito atividade é o principal responsável pelo aumento no consumo de energia, já que captura a participação do aumento da produção industrial sobre o consumo de energia. Por outro lado, o efeito intensidade cresce no período, o que indica que a indústria brasileira está se tornando menos eficiente no consumo de energia. Já o efeito estrutura contribui reduzindo o consumo no período estudado, o que indica que os setores energia intensivos perderam participação na produção industrial. Além disso, a partir da estimação da equação de demanda de energia utilizando como *proxy* do consumo o efeito atividade, constata-se que a elasticidade renda da demanda de energia foi de 1,57% no período, já que a elasticidade preço da demanda não é significativa.

Palavras-chave: Consumo de Energia, Decomposição de índice, Função de demanda.

ABSTRACT

The industry is one of the most energy-demanding sectors of the economy, accounting for 32% of final consumption by 2019. Understanding how industry consumption evolved over the decades, decomposing its variation into the effects activity, structure, and intensity

is of great importance, and is the main objective of this paper. This paper innovates when using the “Index Decomposition Analysis (IDA)” method for data of industrial energy consumption. It is concluded that the activity effect is the main responsible for the increase in energy consumption, since it captures the participation of the increase of the industrial production over the energy consumption. On the other hand, the intensity effect increases in the period, which indicates that the Brazilian industry is becoming less energy efficient. On the other hand, the structure effect contributes to reducing the consumption in the period studied, which indicates that the energy-intensive sectors lost participation in industrial production. Moreover, from the estimation of the energy demand equation using the activity effect as a proxy for consumption, it appears that the income elasticity of energy demand was 1.57% in the period, since the price elasticity of demand was not significant.

Keywords: Energy consumption, Index decomposition, Demand function.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e social de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade nos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população em adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica) (ANEEL, 2017).

Entre os setores que mais consomem energia, destaca-se a indústria. No Brasil, o setor industrial aumentou sua participação no consumo final energético ao longo das últimas cinco décadas; de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2019, a participação era de 28,4% em 1970 e passou para 32,0% em 2019 (EPE, 2019). Por outro lado, a indústria vem perdendo participação no PIB brasileiro, como pode ser constatado por dados do IBGE (2019), passando de 29,2% do PIB em 1970 para 16% em 2019, aumentando assim a intensidade energética na indústria. A evolução da participação da indústria no consumo de energia e no PIB pode ser vistos na Figura 1.

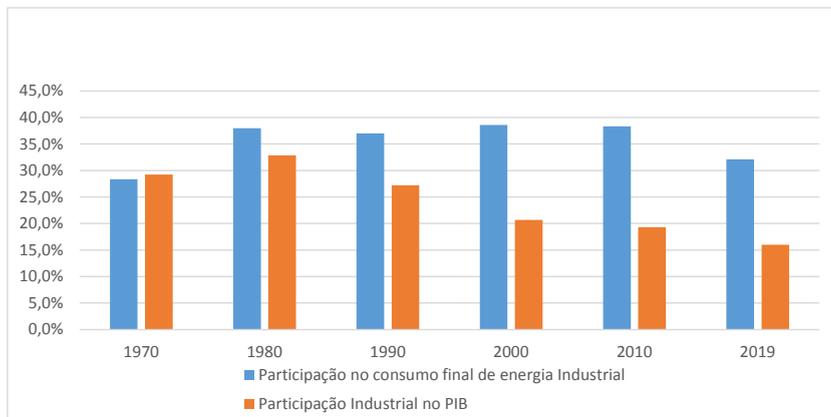


Figura 1 – Participação industrial no consumo final de energia e no PIB

Os dados da Figura 1 foram obtidos em EPE (2019). Com relação aos setores industriais, estes podem ser divididos em energia-intensivos e não energia-intensivos. A EPE (2007a) define a indústria energia-intensiva por três diferentes critérios: i) intensidade energética; ii) consumo específico de energia e; iii) participação do segmento no consumo total de energia.

Por intensidade energética pode-se entender como a razão entre o consumo agregado de energia e o Produto Interno Bruto. Pelo critério anteriormente citado, em geral, segmentos industriais energia-intensivos são aqueles que possuem alta intensidade energética. Já o consumo específico de energia entende-se como a razão entre o consumo agregado de energia e a produção física do segmento.

EPE (2007b) destaca que levando em consideração os três critérios, pode-se definir como seguimentos energia-intensivos em energia: alimentos e bebidas, papel e celulose, ferro-gusa e aço, ferro-ligas, mineração e pelotização, metais não-ferrosos e outros da metalurgia e química. Cimento, cerâmica, têxtil e outras indústrias foram classificados no grupo demais indústrias.

Como destaca EPE (2007b), a dinâmica dos subsetores que compõem o segmento industrial contribuiu para as modificações na estrutura de consumo de energia no período. Setores mais intensivos em energia apresentaram forte expansão no período. São exemplos dessa expansão os segmentos de ferro-gusa e aço, papel e celulose, não ferrosos e outros da metalurgia, e ferro-ligas.

Analisando o consumo de energia nos últimos 49 anos, observa-se que houve uma redução da participação dos setores de alimentos e bebidas, cimento e cerâmica e têxtil no consumo energético do setor

industrial. Em contrapartida, os setores de ferro-gusa e aço, ferro-ligas e não ferrosos, mineração e pelletização e papel e celulose e outros metais ganharam participação, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Participação por segmento industrial no consumo final de energia (BEN 2019)

Ano	Mineração e Pelotização	Cimento e Cerâmica	Ferro-gusa e aço, Ferro-ligas e não-ferrosos	Química	Alimentos e Bebidas	Têxtil	Papel e Celulose	Outras Indústrias
1970	1,5%	16,5%	22,3%	6,8%	33,2%	4,6%	5,4%	9,7%
2019	3,1%	10,3%	27,8%	8,5%	24,4%	1,1%	16,2%	8,7%

Como observa Alves (2007), o conceito de eficiência energética pode ser tratado como o uso da menor quantidade de energia possível para o fornecimento de um determinado produto ou serviço, ou ainda, produzir mais resultados (produtos e/ou serviços) para uma mesma quantidade de energia esperada. A eficiência energética pode ser medida a partir de diferentes indicadores, em função do equipamento, processo, tecnologia ou serviço estudado, mas a sua unidade pode ser expressa basicamente como a relação entre uma unidade de produto e serviço por unidade de entrada energia.

O inverso da eficiência energética é a intensidade energética, que pode ser expressa como a quantidade de energia por unidade de produto ou serviço. No Brasil, utilizam-se principalmente os indicadores de intensidade energética para medir a eficiência.

$$\text{Intensidade Energética} = \frac{\text{QUANTIDADE ENERGIA}}{\text{PRODUTO/SERVIÇO}} = \frac{\text{Tep}}{\text{US\$}} \quad (1)$$

$$\text{Eficiência Energética} = \frac{\text{PRODUTO/SERVIÇO}}{\text{QUANTIDADE ENERGIA}} = \frac{\text{US\$}}{\text{Tep}} \quad (2)$$

Contudo, a construção de uma série histórica com os índices obtidos nas equações (1) e (2) podem incorporar diversas informações relevantes que devem ser decompostas nos chamados Efeito Estrutura,

Efeito Intensidade e Efeito Atividade, através de uma metodologia específica.

O Efeito Estrutura refere-se ao tamanho total do setor/segmento na demanda total de energia, o que se relaciona ao nível de atividade de cada setor/segmento de acordo com o crescimento do PIB, bem como da estrutura setorial, ou seja, o Efeito Estrutura está associado com a relação entre setores energo-intensivos e suas respectivas participações no produto industrial.

O Efeito Intensidade é definido como o percentual de ganho relativo de eficiência ao se adotar uma dada fonte energética mais eficiente (por exemplo, gás natural para geração de vapor em substituição ao óleo combustível), ou por substituição tecnológica, ou ainda, através de mudanças de procedimento (hábitos de uso, especificação correta de equipamentos ou de equipamentos mais eficientes, dimensionamento de sistemas, manutenção adequada, gestão energética etc.).

Por outro lado, o Efeito Atividade refere-se à variação do consumo de energia decorrente da alteração na atividade econômica, ou seja, o Efeito Atividade indica o quanto variou o consumo de energia na indústria decorrente das variações da produção.

É justamente o aumento do consumo de energia decorrente do aumento de atividade que deve ser levado em consideração para estimar as elasticidades preço e renda da demanda, ao invés da quantidade de energia consumida sem retirar os demais efeitos, pois o consumo de energia na indústria pode aumentar de um ano para o outro não em decorrência da atividade econômica, mas sim por ineficiência (aumento da intensidade) ou mesmo pelo aumento de participação de setores energo-intensivos (efeito estrutura).

Como destacado acima, a eficiência energética cujo cálculo é feito a partir da Equação (2) pode distorcer a verdadeira eficiência, pois esta deve ser calculada retirando os efeitos da variação de atividade e mudança de estrutura no setor industrial; logo, o correto cálculo da eficiência energética dará muito mais respaldo para as pesquisas sobre consumo de energia e eficiência energética na indústria brasileira.

Além disso, o consumo de energia pode estar ligado à mudança de estrutura produtiva da indústria, logo, a variação do consumo de energia pode não ter relação com o aumento de produção. Dessa forma, decompor o consumo excluindo a mudança de estrutura visa calcular de forma correta as elasticidades preço e renda da demanda de energia, uma vez que estas podem estar sendo superestimadas devido ao aumento da participação dos setores energo-intensivos. Se o consumo aumenta mais que a produção, maior seria a elasticidade renda da demanda. O mesmo pode ser dito da elasticidade preço da demanda.

Portanto, este artigo tem por objetivo geral decompor o consumo de energia industrial em efeito intensidade, efeito estrutura e efeito atividade. Além disso, este trabalho tem por objeto estimar as elasticidades preço e renda da demanda de energia na indústria brasileira entre os anos de 1975 e 2019. Dessa forma, este trabalho propõe estimar a elasticidade preço e renda da demanda incorporando cálculos mais precisos de consumo de energia decorrente da atividade econômica e, também a eficiência energética, adicionando assim inovação na estimação econométrica.

Por fim, este artigo busca aprimorar e atualizar o trabalho de Salazar (2012). Aprimorar, uma vez que o método de decomposição utilizado naquela oportunidade foi uma decomposição conhecida com Laspeyres Refinado, proposto por Sun (1998), e no presente artigo se utiliza o método *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI), desenvolvido em Ang e Liu (2001). E atualizar, já que o trabalho de Salazar (2012) compreende o período de 1970 até 2008.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversos trabalhos nacionais e internacionais utilizaram a metodologia de decomposição de números índices para analisar o consumo de energia do setor industrial. Howarth et al. (1993) decomuseram o consumo de energia industrial para cinco países da OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) entre os anos de 1973 a 1988, utilizando como método a decomposição convencional de índice de Laspeyres¹. Encontraram que mudanças na estrutura dos países analisados tiveram importantes impactos na relação consumo de energia/PIB. Essas mudanças ocorreram independentes de alterações na utilização de técnicas mais eficientes de produção e utilização de energia.

Greening et al. (1997) utilizaram seis métodos diferentes de decomposição de intensidade agregada de energia para o setor industrial de 10 países da OECD, entre os anos de 1970 e 1992. Os autores chegaram à conclusão que a maior parte da mudança na intensidade energética pode ser explicada pelo Efeito Intensidade. Entretanto, mudanças de produção setoriais, isto é, Efeito Estrutura, também se mostraram importantes na determinação da Intensidade Energética.

Ang e Zhang (2000) fizeram um resumo dos últimos artigos que utilizaram a metodologia de decomposição de índices aplicada ao consumo de energia. Estes mesmos autores desenvolveram técnicas atualizadas para aplicação do método de decomposição de números

¹ Para mais detalhes relativos à evolução do método de decomposição do consumo de energia, indica-se Salazar (2012).

índices, inclusive o método *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI), apresentado em Ang e Liu (2001).

No Brasil, a metodologia de decomposição de índice é pouco utilizada. Motta e Araújo (1989) decompueram as variações do consumo industrial brasileiro de energia separadamente para energia elétrica, óleo combustível e outros combustíveis. O intuito era relacionar os principais aspectos do crescimento econômico e as políticas energéticas; os autores concluíram que no período analisado, 1973 a 1984, o efeito estrutura não teve participação relevante para explicar o consumo de energia no setor industrial.

Salazar (2012) decompôs o consumo de energia para indústria brasileira no período de 1970 e 2008. O autor concluiu que o efeito atividade foi o principal responsável pelo aumento de consumo de energia na indústria. Somente no período da década de 1990 o efeito atividade não foi o mais importante, perdendo espaço para o efeito intensidade, que cresceu bastante no período.

Resumindo, a análise de decomposição pode ser feita a partir de dados de consumo de energia ou intensidade energética. Por outro lado, a metodologia de decomposição foi sendo aprimorada a partir da utilização moderna da teoria de Números Índices, de modo que a metodologia utilizada neste trabalho, demonstrada no próximo tópico, é denotada como a mais atual.

Além disso, a decomposição do consumo de energia no setor industrial brasileiro se mostrou bastante restrita. Contudo, os trabalhos mostram que o efeito estrutura apresenta baixa influência na variação do consumo de energia, ficando o efeito atividade responsável pela maior parte da variação do consumo de energia na indústria brasileira.

3. METODOLOGIA

3.1 Método de decomposição

Os métodos de decomposição populares entre os analistas de consumo de energia e intensidade energética podem ser divididos em dois grupos: os métodos relacionados com o índice de Laspeyres, e métodos relacionados com o Índice de Divisia. Bem conhecido em estudos econômicos, o índice de Laspeyres mede a variação percentual em algum aspecto de um grupo de itens ao longo do tempo, usando pesos baseados nos valores de alguns anos base. O índice Divisia, por sua vez, é uma soma ponderada das taxas de crescimento logarítmico, em que os pesos são partes dos componentes do valor total, dado na forma de uma linha integral (Ang, 2004).

Em termos simples, a construção de métodos ligados ao índice

de Laspeyres é baseada no conceito familiar de variação percentual, enquanto que a construção de métodos relacionados com o índice de Divisia é baseado no conceito de mudança logarítmica (Ang, 2004).

Ang e Zhang (2000) propuseram a aplicação do índice de Divisia na metodologia de *Index Decomposition Analysis* (IDA), de modo que a decomposição do consumo de energia pode ser denotada como:

$$\text{Efeito Atividade} \quad \Delta E_{act} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (3)$$

$$\text{Efeito Estrutura} \quad \Delta E_{str} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{S^T}{S^0} \right) \quad (4)$$

$$\text{Efeito Intensidade} \quad \Delta E_{int} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{I^T}{I^0} \right) \quad (5)$$

$$\text{Peso média Logarítmica} \quad w_i = \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \quad (6)$$

em que E_{act} é o efeito atividade, Q^T e Q^0 são, respectivamente, o produto por setor nos períodos T e 0; E_{str} é o efeito estrutura, sendo medido a partir da variação de S^T e S^0 , razão entre o produto de cada setor industrial sobre o total do produto industrial; E_{int} é o efeito intensidade medido a partir da razão entre a intensidade no período T e 0, I^T e I^0 ; w_i é o peso de cada setor industrial sobre o total da indústria, que é medido a partir do consumo de energia por setor entre dois períodos, T e 0.

O método de decomposição por média logarítmica aditiva satisfaz as principais propriedades desejáveis de índices de preços, reversão no tempo, circularidade e reversão de fatores¹.

Os métodos adequados, que são aprovados no teste de reversão de fatores, não deixam resíduo, o que tenderia a complicar a interpretação dos resultados. Em alguns casos a decomposição aditiva pode ser preferível à decomposição multiplicativa, ou vice-versa, pois os resultados podem ser mais facilmente compreendidos e comunicados. Os métodos que dão uma associação direta entre a decomposição aditiva e multiplicativa também pode levar à facilidade de interpretação dos resultados. Para mais detalhes a respeito da associação entre de-

¹ São propriedades desejáveis de um número índice; para mais detalhes, consultar Ang(2004).

composição aditiva e multiplicativa pode ser consultado Choi e Ang (2003).

3.2 Método de estimação

A partir das séries históricas de números índices calculados através do método de decomposição explicitado no tópico anterior, o passo seguinte é aplicar econometria de séries temporais para calcular as elasticidades de preço e renda da demanda de energia da indústria brasileira. Econometria de séries temporais, em especial os modelos VAR (Vetores Auto Regressivos), permite utilizar dados temporais (passados) para estimar parâmetros, e também realizar previsões, em geral, incondicionais e de curto prazo sobre certas variáveis (Rossi e Das Neves, 2014).

Segundo Enders (1995), uma série é estacionária fracamente quando sua média é constante ao longo do tempo. Sua variância também deve ser constante ao longo do tempo, e sua covariância indica que a autocorrelação entre dois valores de y_t , tomados a partir de dois períodos de tempo distintos, depende somente do intervalo de tempo entre esses dois valores e não de sua data, ou seja, $Cov(y_t, y_{t+s})$ é constante para todo t que não seja igual a s .

Caso um dos pressupostos mencionados não seja atendido, a série temporal analisada não é estacionária. A utilização de séries temporais não-estacionárias na análise clássica de regressão pode levar a um problema conhecido na literatura como “regressão espúria”, cuja principal característica é um elevado valor de R^2 , t – estatístico e uma estatística DW (Durbin-Watson) baixos, que podem parecer significativos, porém não têm qualquer significado econômico.

As séries temporais econômicas são, na sua maioria, não-estacionárias em nível. Contudo, séries não-estacionárias podem se tornar estacionárias depois de uma ou mais diferenciações. Uma série temporal que precisa ser diferenciada “ d ” vezes para se tornar estacionária é chamada integrada de ordem “ d ” ou $I(d)$. Desse modo, uma série estacionária em nível é dita ser $I(0)$.

Após constatação pelo teste de raiz unitária de que as séries não são estacionárias em nível, quer dizer, apresentam raiz unitária, a etapa seguinte é identificar as relações de cointegração. Engle e Granger (1987) chegaram à conclusão de que uma combinação linear de duas ou mais séries não-estacionárias pode ser estacionária. Caso essa combinação exista, ela pode ser interpretada como relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis.

Para que duas ou mais séries sejam co-integradas, elas devem ter a mesma ordem de integração, ou seja, se uma série for $I(1)$,

todas as demais também devem ser $I(1)$. O teste de cointegração de Johansen (1988) baseia-se em um modelo VAR (*Vector Autoregressive Model*).

Assumindo que x_t seja o vetor das variáveis, pode ser representado em notação matricial da seguinte forma:

$$x_t = \Theta_1 x_{t-1} + \Theta_2 x_{t-2} + \dots + \Theta_p x_{t-p} + \varepsilon_t = \sum_{s=1}^p \Theta_s x_{t-s} + \varepsilon_t \quad (7)$$

em que x_t é o vetor ($k \times 1$) das variáveis do modelo; θ_s são matrizes ($n \times n$), que relacionam os termos defasados das variáveis com os valores correntes destas; n é o número de variáveis; e ε_t é o vetor ($k \times 1$) dos erros.

A Equação (7) pode ser representada com uso do operador de defasagem B :

$$(I - \Theta_1 B - \Theta_2 B^2 - \dots - \Theta_p B^p) x_t = \varepsilon_t \quad (8)$$

em que $B^m x_t = x_{t-m}$, para qualquer $1 < m < p$.

Após definição das defasagens incluídas no modelo, as Equações (7) e (8) representam a forma definitiva do modelo.

Segundo Johansen (1988), pode-se adotar a seguinte forma para estimar as relações de co-integração:

$$\Delta x_t = \Pi x_{t-1} + \sum_{s=1}^{p-1} \Gamma_s \Delta x_{t-s} + \varepsilon_t \quad (9)$$

em que $\Pi = \sum_{s=2}^p (\Theta_s - 1)$ e $\Gamma_i = -\sum_{j=i+1}^p \Theta_j$

O posto da matriz Π é r , tal que $0 < r < k$; então haverá matrizes α e β , de dimensão ($r \times k$), tal que $\Pi = \alpha\beta^T$ e que $\beta^T x_t$ seja estacionária. O posto r é o número de relações de co-integração, e cada coluna de β é um vetor de co-integração.

O método de Johansen consiste em estimar a matriz Π por máxima verossimilhança, na forma irrestrita. Em seguida, testam-se se as

restrições decorrentes do posto de Π podem ser rejeitadas. A hipótese nula de que há r vetores de co-integração é testada por dois testes de razão de verossimilhança: teste do traço e teste do máximo autovalor.

Johansen e Juselius (1990) indicaram o teste do traço e o teste do autovalor máximo. Os valores críticos dos testes são utilizados para verificar a existência do número máximo de vetores de cointegração.

Segundo Enders (1995), o teste estatístico de traço é dado pela seguinte expressão algébrica:

$$P(r_0) = T \sum_{r_0+1}^n \ln(1 - \lambda_i) \quad (10)$$

em que $r_0 = 0, 1, \dots, k-1$, quando λ_i é o i -ésimo autovalor; P é a estatística de traço; e T é o número de observações. O teste do traço testa a seguinte hipótese:

$$H_0: r < r_0$$

$$H_A: r > r_0$$

Conforme Enders (1995), o teste do autovalor máximo é dado pela seguinte expressão algébrica:

$$P(r_0, r_0 + 1) = T \ln(1 - \lambda_{r_0+1}) \quad (11)$$

em que se testam as seguintes hipóteses:

$$H_0: r = r_0$$

$$H_A: r = r_0 + 1$$

3.3 Dados

Os dados referentes ao consumo de energia e produção por segmento industrial são obtidos junto ao Balanço Energético Nacional (BEN), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ligada ao Ministério de Minas e Energia. O BEN é publicado anualmente, com dados iniciando em 1970. Logo, este trabalho utilizará dados referentes ao período 1970 a 2019, sendo 2019 o último ano com informações disponíveis quando este artigo foi preparado.

Os dados do PIB da indústria de transformação e do preço do petróleo importado também são obtidos no BEN. Por outro lado, os dados relativos ao Nível de Pessoal Ocupado são obtidos no IPEADATA, dados estes calculados pela FIESP.

Para decompor as séries de consumo de energia industrial foram utilizados dados de 1970 até 2019, porém para estimar as equações de demanda de energia foram utilizados dados de 1975 até 2019, principalmente porque os dados relativos ao Nível de Pessoal Ocupado estão disponíveis a partir de 1975.

3.4 Modelo empírico

Este trabalho propõe estimar uma equação de demanda de energia para a indústria brasileira utilizando como *proxy* do consumo de energia o “Efeito Atividade” obtido a partir da decomposição do consumo de energia. A utilização do “Efeito Atividade” como *proxy* do consumo de energia decorre do aumento de atividade que deve ser levado em consideração para estimar as elasticidades preço e renda da demanda em vez da quantidade consumida de energia sem retirar os demais efeitos, pois o consumo de energia na indústria pode aumentar de um ano para o outro não em decorrência da atividade econômica, mas sim por ineficiência (efeito intensidade) ou mesmo pelo aumento de participação de setores energia-intensivos (efeito estrutura).

A equação a ser estimada é:

$$EA_t = f(Y_t, P_t, P_t^S) \quad (12)$$

A equação (12) denota a demanda por energia em que EA_t é o Efeito Atividade usado como *proxy* da demanda agregada de energia pela indústria”, Y_t é o PIB da indústria de transformação, P_t é um índice de preço do petróleo e P_t^S é o nível de pessoal ocupado na indústria paulista (*proxy* do nível de pessoal ocupado para indústria total brasileira).

4. RESULTADOS

4.1 Decomposição do consumo de energia

O principal objetivo deste trabalho é decompor o consumo de energia da indústria de acordo com o método indicado na metodologia, item 3.1. Como denotado na referida seção, a decomposição do consumo de energia pode ser dividida em três efeitos distintos: Efeito Atividade, Efeito Estrutura e Efeito Intensidade.

A Figura 2 mostra os resultados da decomposição do consumo de energia pela indústria entre os anos de 1970 e 2019, dividido em grupos de cinco anos. Como pode ser visto, nos dois primeiros períodos (anos de 1970 – 1975 e 1976 – 1980) o Efeito Atividade representa a maior parte do acréscimo de energia consumida pela indústria nos períodos. O Efeito Estrutura teve uma pequena contribuição, reduzindo o consumo de energia no primeiro grupo, porém os Efeitos Estrutura e Intensidade não tiveram contribuição significativa no segundo período.

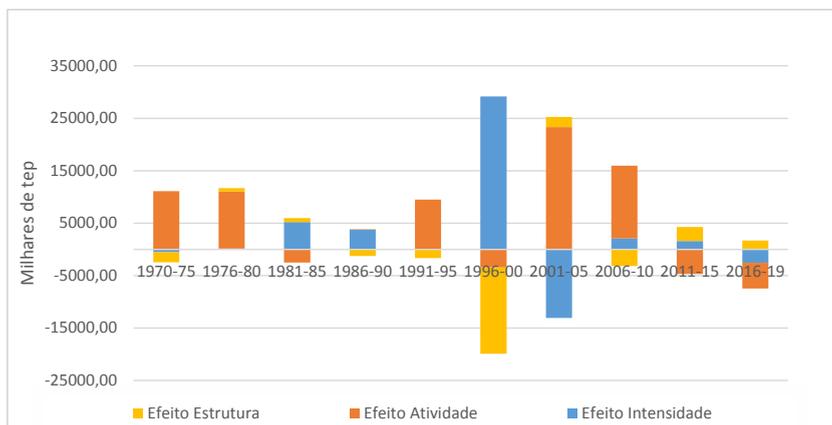


Figura 2 – Decomposição do Consumo de Energia na Indústria, em tep, entre 1970 – 2019

Os dois primeiros períodos se caracterizam pelo forte crescimento da indústria, uma vez que partir de 1970 a taxa de crescimento do PIB brasileiro ultrapassou os dois dígitos, como observa Gremaud et al. (2009): mais especificamente, no primeiro período a taxa média de crescimento do PIB industrial foi de 11,48% a.a. O forte crescimento se deve basicamente aos investimentos públicos em infraestrutura e fortalecimento das empresas estatais, particularmente Petrobras e Vale; já os setores de construção civil e bens de capital cresceram 15% a.a. e 18,1% a.a., respectivamente, entre os anos de 1968 e 1973.

Machado e Schaeffer (1995) decompueram o consumo de energia da indústria de transformação brasileira e chegaram a resultados parecidos aos encontrados neste presente trabalho, ou seja, o Efeito Atividade é o maior responsável pelo aumento do consumo de energia no período de 1971 a 1975.

Motta e Araújo (1989) decompueram o consumo de energia do setor industrial para diferentes fontes de energia, concluindo que para o período 1971-1974 o efeito Atividade contribuiu com a maior parte do acréscimo no consumo de energia, explicado pela rápida aceleração do produto industrial, chamando a atenção que no período o preço relativo da energia estava em um patamar baixo.

No final de 1974 lançou-se o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), cujo objetivo principal era manter o crescimento do PIB e o crescimento industrial, completando a transição do modelo de crescimento do período passado, baseado no crescimento do setor de bens de consumo duráveis, para o crescimento do setor produtor de meios de produção, ou seja, bens de capital e insumos básicos, como aço, alumínio, zinco, minério de ferro, entre outros (Gremaud, Vasconcellos e Toledo Jr., 2009).

Ainda de acordo com Gremaud et al. (2009), as taxas de crescimento do período 1974 a 1979 foram menores que no Milagre Econômico¹. Por outro lado, entre os anos de 1974 e 1979 a indústria cresceu 35%, com destaque para o setor metalúrgico, que cresceu 45%, material elétrico, 49%, papel e papelão, 50%, químico, 48%, têxtil, 26% e, por fim, o setor de alimentos, 18%.

Diferentemente dos resultados encontrados neste presente trabalho, Machado e Schaeffer (1995) concluíram que o Efeito Intensidade contribuiu reduzindo o consumo de energia. De acordo com a Figura 2, Efeito Intensidade foi nulo, ou seja, não contribuiu para reduzir ou aumentar o consumo de energia. Tal diferença pode ser explicada pelo método empregado entre os dois trabalhos: enquanto Machado e Schaeffer (1995) utilizaram o método de decomposição de Divisia, o presente trabalho utiliza um método parecido, porém com pesos dados por variação logarítmica, que não deixa resíduo na decomposição, como citado no item 3.1.

Motta e Araújo (1989) concluem que para o período 1974-1979 o Efeito Intensidade contribuiu com um aumento de 19% no consumo de energia. A principal justificativa é que no período a política de preços de derivados de petróleo pouco se ajustou à nova realidade de aumento de preços no mercado internacional, na medida em que não se internalizou toda elevação no preço do petróleo. Dessa forma, segundo os autores, o Efeito Atividade, com acréscimo de 75% no consumo de energia, explica parte do crescimento industrial.

Park et al. (1993) fizeram uma análise de decomposição *cross-country* para 26 países entre os anos de 1973 a 1988, e chegaram à conclusão que entre os anos de 1973 e 1980 o Efeito Atividade foi responsável por 78,6% do acréscimo de consumo de energia, e que o

¹ Alusão ao forte crescimento econômico do Brasil no período de 1968 a 1973, cujas taxas de crescimento real foram 9,8%; 9,5%; 10,4%; 11,34%; 11,94% e 13,97%, respectivamente (IBGE, 2017).

Efeito Intensidade contribuiu com 12,6% do acréscimo. Por outro lado, neste trabalho o Efeito Atividade não teve influência no período analisado, como pode ser visto na Figura 2.

Observando a Figura 2, pode-se notar que o período entre os anos de 1981 e 1985 apresenta consumo de energia relacionado ao aumento do Efeito Intensidade e, ao mesmo tempo, uma pequena redução relativa ao Efeito Atividade. A situação da economia brasileira se encontrava em situação adversa naquele período, e foi necessário um profundo ajuste para corrigir o desequilíbrio externo. Tal desequilíbrio foi criado pela opção de continuar crescendo mesmo após sucessivos choques do petróleo e adversidade externa. Entre os anos de 1980 e 1983 a produção industrial chegou a cair 14,1%, só retornando ao patamar de 1980 no ano de 1986 (Gremaud, Vasconcellos e Toledo Jr., 2009).

Machado e Schaeffer (1995) concluíram que, diferentemente do que ocorreu no período 1975 a 1980, todos os Efeitos foram positivos, principalmente o Efeito Estrutura e Atividade. Isso mostra que a eficiência energética passou a decrescer, indicando que as tecnologias utilizadas nos processos produtivos passaram a ser obsoletas, ou mais provavelmente, o valor médio de troca da indústria de transformação decresceu no período.

Motta e Araújo (1989) argumentam que o período de 1979 a 1985 caracteriza-se por uma política energética mais ativa, propondo preços mais realistas para os derivados de petróleo e incentivando substituições de fontes energéticas. O resultado destas políticas é que o Efeito Intensidade contribuiu para a redução do consumo de energia no período, segundo os autores. Os resultados mencionados não corroboram os encontrados neste trabalho.

O período seguinte, 1986 a 1990, caracterizou-se por uma pequena elevação do Efeito Atividade, explicada pelo crescimento industrial de 1986, mantido o patamar até meados de 1989. Tal crescimento deveu-se aos sucessivos planos econômicos cujos objetivos eram controlar a inflação, mas que geravam expansão da demanda e antecipação de compras.

Park et al. (1993) sugeriram que o Efeito Intensidade, no trabalho feito para 26 países, respondeu por 95,3% do acréscimo no consumo de energia no período 1980 a 1988. Esse resultado vai ao encontro com os resultados encontrados neste trabalho: o Efeito Atividade respondeu negativamente com -4,7%, e o Efeito Estrutura por acréscimo de 10%. Machado e Schaeffer (1995) argumentam que as mesmas tendências verificadas no período anterior se repetiram, porém em intensidade menor.

Entre os anos de 1989 e 1992 as altas taxas de inflação e o confisco de liquidez fizeram o produto industrial cair 11,8%. Apesar disso,

a partir de 1993, quando o vice-presidente Itamar Franco assumiu a presidência, juntamente com o ministro da fazenda Fernando Henrique Cardoso, houve melhora das contas públicas e começou a implantação de um novo plano econômico – o Real –, com o PIB industrial voltando a crescer (Gremaud, Vasconcellos e Toledo Jr., 2009).

O período de 1991 a 1995 caracterizou-se por forte Efeito Atividade, ou seja, a indústria passou a utilizar mais energia para aumentar a produção. Enquanto que a taxa de investimento em relação ao PIB foi de 22,17% entre os anos 1985 a 1990, a mesma taxa caiu para uma média de 18,97% entre os anos de 1991 a 1995.

O Efeito Intensidade foi o maior responsável pelo acréscimo no consumo de energia entre os anos de 1996 a 2000. No período, a taxa de investimento na economia foi de apenas 16,73% a.a., em média, uma das mais baixas taxas de investimento na história recente do país. Como pode ser visto na Figura 3, entre os anos de 1987 a 2003 o nível de consumo de energia relativo ao Efeito Atividade praticamente ficou inalterado, o que pode ser entendido como estagnação na produção industrial no período.

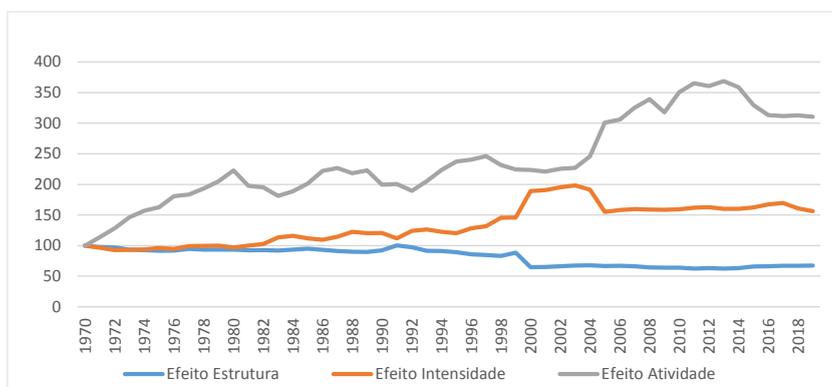


Figura 3 – Decomposição do Consumo de Energia na Indústria em índices, entre 1970 – 2019

Nesse mesmo período (1996 a 2000), o Efeito Estrutura atuou reduzindo o consumo de energia, ou seja, os setores energo-intensivos perderam participação na produção da indústria em relação aos setores não energo-intensivos. É justamente entre os anos de 1996 e 2000 que os setores industriais classificados como não energo-intensivos obtiveram maior participação no produto industrial, variando entre 62% e 65% da produção industrial.

Como pode ser constatado nas Figuras 2 e 3, a partir de 2005 o Efeito Intensidade voltou a contribuir para a redução no consumo de energia na indústria. Ao mesmo tempo, o Efeito Atividade contribuiu para o acréscimo no consumo, em especial a partir de 2004. Este resultado sugere que, com o crescimento industrial visualizado a partir do Efeito Atividade, os setores energo-intensivos cresceram à mesma taxa dos setores não energo-intensivos, evidência sugerida pela estabilidade do consumo de energia, de acordo com o Efeito Estrutura.

De um modo geral, entre os anos de 2001 a 2013 a indústria aumentou bastante o consumo de energia relativo ao aumento da produção, conforme sugere o Efeito Atividade (vide Figura 3). Já o Efeito Estrutura teve participação importante, reduzindo o consumo de energia, porém de forma discreta. Em contrapartida, o Efeito Intensidade contribuiu para o aumento do consumo de energia.

Como destacam Pires et al. (2002), em maio de 2001 cálculos do Operador Nacional do Sistema (ONS) indicavam a necessidade de redução imediata de 20% do consumo de energia elétrica no país, decorrente do grave período de estiagem e da falta de investimento e planejamento no setor elétrico. Segundo os autores, as metas de redução de consumo foram de 20% para consumidores residenciais com consumo superior a 100 kWh/mês, 20% para os consumidores comerciais e de 20% a 25% para os consumidores industriais. Ou seja, a indústria precisou fazer um esforço maior para contribuir com o racionamento.

Como as indústrias foram obrigadas a aderir ao racionamento, ao mesmo tempo em que os preços da energia elétrica ficaram mais altos, era de se esperar que os investimentos em eficiência energética perdurassem por todo o período, principalmente nos setores onde a participação da energia elétrica como insumo energético era relativamente maior como, por exemplo: não-ferrosos (56,3%), têxtil (55,6%), outras indústrias (50%), ferro-ligas (40,1%), mineração e pelotização (28,9%) e química (26,4%)¹.

A partir de 2004 a produção industrial cresceu, como pode ser visto pelo Efeito Atividade na Figura 3. Paralelamente, o Efeito Intensidade contribuiu para um aumento discreto do consumo de energia. Entre os anos de 2004 e 2013 o PIB industrial cresceu a uma taxa de 5,8% a.a. e a taxa média anual de investimento foi de 17%.

Os dois últimos períodos (2011-2015 e 2016-2019) foram caracterizados pelo impacto negativo no consumo de energia advindo do Efeito Atividade, dado que nesses períodos a atividade econômica sofreu retração, principalmente no biênio 2014 e 2015. O que diferencia o segundo período do primeiro é que, enquanto no primeiro o Efeito Intensidade impactou o aumento do consumo de energia, no segundo o mesmo efeito contribuiu para reduzir o consumo; porém em ambos a

¹ Dados obtidos para o ano de 2008, junto ao BEN (2008).

magnitude foi pequena.

4.2 Estimação da demanda de energia

A estimação das elasticidades da demanda de energia na indústria de transformação será feita utilizando o Modelo de Co-integração, de acordo com o procedimento descrito em Johansen (1988).

Para tanto, inicialmente deve-se determinar se os processos geradores das séries são estacionários ou não. Para tal, utilizou-se o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado, ou ADF. O procedimento para detectar raiz unitária através do teste ADF foi baseado em Enders (1995).

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de Raiz Unitária ADF para as séries de Consumo de Energia Industrial, Valor Adicionado da Indústria de Transformação, Índice de Preços de Petróleo, Índice de Pessoal Ocupado e Índice de Utilização de Capacidade Instalada.

Tabela 2 – Teste de Raiz Unitária ADF para as séries Consumo de Energia Industrial, Valor Adicionado da Indústria de Transformação, Preços de Petróleo, Pessoal Ocupado e Utilização da Capacidade Instalada

	Constante e Tendência		Constante		Sem Constante e Tendência		Primeira diferença	
	Estatística de Teste	p-Valor	Estatística de Teste	p-Valor	Estatística de Teste	p-Valor	Estatística de Teste	p-Valor
Atividades	-2,37	0,39	-1,48	0,54	1,47	0,96	-5,41	0,00
PIBtrans	-3,08	0,12	-2,47	0,13	-2,47	0,13	-4,81	0,00
Pessoal	-2,34	0,40	-1,32	0,61	-0,99	0,29	-3,93	0,00
Petróleo	-1,79	0,69	-1,68	0,43	-0,05	0,66	-6,25	0,00

*Valores críticos: MacKinnon (1996).

Utilizando o procedimento proposto por Enders (1995), partindo de uma especificação mais geral, constata-se que, ao nível de significância de 5%, todas as séries são não estacionárias. Os mesmos resultados podem ser obtidos a partir de especificações mais restritas como constante, e sem tendência e sem constante. Os resultados sugerem que todas as séries em questão são integradas de ordem 1, pois em suas primeiras diferenças todas são estacionárias.

Para estimar a equação de demanda de energia de longo prazo utilizando o procedimento descrito por Johansen (1988), é necessário determinar o número de defasagens constantes no modelo. Conclui-se que com uma defasagem o modelo não apresenta problemas de autocorrelação nos termos de erro, tanto pelos critérios de Akaike quanto Schwarz.

A partir da correta especificação do modelo, realizou-se o teste proposto por Johansen (1988) e Johansen e Juselius (1990), com o objetivo de encontrar, caso exista, relações de longo prazo entre as variáveis, ou seja, os vetores de co-integração. Para tanto, utilizou-se o teste do Traço. A Tabela 3 apresenta os resultados do teste do Traço.

Tabela 3 – Teste de Co-integração entre as séries: Consumo de Energia Industrial, Valor Adicionado da Indústria de Transformação, Índice de Preço Petróleo, Pessoal Ocupado, assumindo a ausência de intercepto e tendência no vetor de cointegração, com um *lag*

	Autovalor	Traço	P-valor
Nenhum	0,389	40,485	0,046*
1 Vetor*	0,237	18,784	0,214
2 Vetores	0,143	6,868	0,340
3 Vetores	0,002	0,081	0,839

De acordo com o teste do Traço, a hipótese nula de que o posto da matriz de cointegração é nulo é rejeitada a 5%, como mostrado na Tabela 2. Portanto, há no mínimo um vetor de cointegração que estabelece as relações de longo prazo entre as variáveis. Contudo, o teste não rejeita a hipótese nula de que há um ou menos vetores de cointegração. Portanto, o teste de Traço indica que, para o nível de significância estabelecido, há um vetor de cointegração entre as variáveis analisadas.

O passo seguinte é justamente determinar o vetor de cointegração que garante que as variáveis caminhem juntas a longo prazo. Essa relação está demonstrada na Tabela 4, que também apresenta o nível de significância dos parâmetros estimados.

Tabela 4 – Determinantes da Demanda de Energia pela Indústria

Atividade	PIB-trans	Petróleo	Pessoal
1	-1,572	0,079	0,521
Desvio	-0,106	0,056	0,103
t	-14,765*	-1,431	-5,038*

* significativo a 1%, ** significativo a 5% e *** significativo a 10%.

Os resultados demonstrados na Tabela 4 podem ser melhor visualizados na equação abaixo.

$$ATIVIDADE_t = 1,57 \text{ PIBTRANS} - 0,079 \text{ PETROLEO}_t - 0,521 \text{ PESSOAL} \quad (13)$$

-14,76* -1,431 -5,038*

De acordo com a equação (13), um aumento de 1% no Valor Adicionado da indústria de transformação implica um aumento de 1,57% no consumo de energia, ou seja, a elasticidade renda da demanda por energia na indústria é próxima à unidade. Com relação à significância do parâmetro, o mesmo se mostrou significativo a 1%.

Schmidt e Lima (2004) estimaram a demanda por energia elétrica para a indústria brasileira entre o período de 1969 e 1999, e chegaram à conclusão que a elasticidade renda da demanda por energia foi de 1,718. Contudo, a energia elétrica é apenas uma das fontes de energia consideradas neste trabalho; a energia elétrica contribui com aproximadamente 20% da demanda energética industrial.

Mattos (2005) estimou a demanda por energia elétrica industrial no Brasil entre os períodos de 1974 a 2002. O autor conclui que a elasticidade renda da demanda por energia elétrica é de 1,588. Esse resultado é próximo das estimativas realizadas por Schmidt e Lima (2004). Salazar (2012) estimou a demanda por energia na indústria entre os anos de 1970 e 2008, e encontrou que a elasticidade renda da demanda de energia é de 0,95.

Contudo, vale lembrar que todos os trabalhos citados apresentam diferenças significativas com relação ao trabalho reportado neste artigo. As estimativas de Mattos (2005) e Schmidt e Lima (2004) levam em consideração a demanda por energia elétrica, enquanto que a estimativa de Salazar (2012) leva em consideração a demanda por energia na indústria. Já o trabalho ora proposto assume como demanda de energia apenas aquela derivada do Efeito Atividade, ou seja, a parcela

do consumo de energia que exclui o Efeito Estrutura e o Efeito Intensidade. Logo, espera-se que as estimativas de elasticidade renda e preço estejam livres de ruídos dos efeitos estrutura e intensidade.

Esta é a principal contribuição deste trabalho, qual seja, a estimativa da demanda por energia desconsiderando efeitos que podem afetar a estimação dos parâmetros. O Efeito Atividade refere-se à variação do consumo de energia decorrente da alteração na atividade econômica, isto é, indica o quanto a indústria variou o consumo de energia decorrente das variações na produção. Então, espera-se que as estimativas estejam mais próximas do parâmetro da elasticidade renda, uma vez que desconsidera efeitos que afetem a demanda por energia.

Com relação à elasticidade preço da demanda de energia, um aumento no preço do petróleo em 1% implica uma redução de - 0,079% no consumo de energia pela indústria. Com relação à significância estatística do parâmetro, a variável não se mostrou significativa. Este resultado pode ser explicado pela composição das fontes de energia utilizadas pela indústria: dados do EPE (2019) mostram que aproximadamente 20% do consumo final de energia industrial é energia elétrica, 21% bagaço de cana, 24% carvão mineral e vegetal, e o restante de fontes derivadas de petróleo.

Comparando com outros trabalhos, porém tendo a energia elétrica como objeto de análise, Schmidt e Lima (2004) encontraram -0,128, enquanto Mattos (2005) encontrou -0,489 para a elasticidade preço da demanda.

A variável “pessoal ocupado” na indústria foi colocada na estimativa como *proxy* de um fator de produção substituto da energia. Um aumento de 1% no número de empregados na indústria implica uma redução de - 0,521% no consumo de energia, portanto, o consumo de energia é inelástico com relação a variável “pessoal ocupado”.

5. CONCLUSÕES

Ao decompor o consumo de energia na indústria brasileira entre os efeitos: Atividade, Estrutura e Intensidade, constata-se que o Efeito Atividade teve importante participação no aumento do consumo de energia, principalmente nas décadas de 1970, na primeira metade da década de 1990 e na década de 2000. Teve também importante participação na primeira metade da década de 2010, porém de forma negativa, ou seja, reduzindo o consumo de energia. Essa redução se deve principalmente à redução da produção industrial observada no período.

Já o Efeito Estrutura teve importante participação na segunda

metade da década de 1990 e pequenas variações nos períodos posteriores. O Efeito Intensidade contribuiu para aumentar o consumo na segunda metade da década de 1990 e para reduzir o consumo na primeira metade da década de 2000.

Como o Efeito Atividade refere-se à variação do consumo de energia decorrente da alteração da atividade econômica, ou seja, o Efeito Atividade indica o quanto a indústria variou o consumo de energia decorrente das variações na produção, buscou-se estimar a demanda de energia utilizando como *proxy* da demanda o Efeito Atividade, excluindo assim os demais efeitos.

Além de decompor o consumo de energia na indústria utilizando o método que não foi utilizado anteriormente para dados brasileiros, método que se mostra livre de resíduos, este trabalho inova ao utilizar o consumo de energia oriundo exclusivamente do aumento da atividade econômica, excluindo variações de intensidade energética e mudanças estruturais da indústria, para estimar as elasticidades renda, preço e preço cruzados para o consumo de energia na indústria.

Como propostas para futuros trabalhos complementares, repetir os métodos utilizados para determinar variáveis que influenciam a intensidade energética se mostra de grande importância, uma vez que tal variável está ligada a eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. S. Tipificação dos instrumentos de políticas de apoio à eficiência energética: a experiência mundial e o cenário nacional. 2007, 187p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3 ed. Brasília,. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. 2017.

ANG, B. W.; ZHANG, F. L. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, v. 25, p. 1149 – 1176. 2000.

ANG, B. W.; LIU, F. L. A new energy decomposition method: Perfect in decomposition and consistente in aggregation. *Energy*, v. 26, p. 537 – 547. 2001.

ANG, B. W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?. *Energy Policy*, Hastings, v. 32, p. 1131-1139. 2004.

CHOI, K-H; ANG, B. W. Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference. *Energy Economics*, Singapore, v. 25, p. 615-624. 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Anuário Estatístico de Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Plano Nacional de Energia 2030 – Eficiência Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. 2007a. Acesso em: 02 nov. 2017.

ENDERS, W. *Applied econometric time series*. New York: John Wiley and Sons, 1995. 433p.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C.W.J. Co-integration and error correction representation, estimation and testing. *Econometrica*, n.55, p. 251-276, 1987.

GREENING, L. A; DAVIS, W. B; SCHIPPER, L; KHRUSHCH, M. Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries. *Energy Economics*. Singapore, v. 19, p. 375-390. 1997.

GREMAUD, A. P., VASCONCELLOS, M. A. S. de, JÚNIOR, R. T.. *Economia Brasileira Contemporânea*. 7. ed. São Paulo: Editora Altas, 2009. 659p.

HOWARTH, R. B; SCHIPPER, L; DUERR, P. A; STROM, S. Manufacturing energy use in eight OECD countries: Decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity. *Energy Economics*. Singapore, v. 13 n. 2. 1991. p. 135-142.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Contas Nacionais Trimestrais*. https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt_2019_4tri.pdf. 2019.

JOHANSEN, S.; JUSELIUS, K. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration: with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, n.52, p. 169 – 219, 1990.

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, n. 12, p. 231-254, 1988.

MACHADO, G. V., SCHAEFFER, R.. A inserção do Brasil na nova ordem internacional: uma nova ordem energética mundial?. *Revista Brasileira de Energia*, Itajubá, v. 4, n. 1. p. 1-12, 1995.

MATTOS, L. B., LIMA, J. E.. Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970 – 2002. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v. 15 n. 3, p. 31-52. set./dez. 2005.

MOTTA, R. S.; ARÚJO, J. L. Decomposição dos efeitos de intensidade energética no setor industrial brasileiro. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, v.19 n.1 p. 113-132. Rio de Janeiro, 1989.

PARK, S. H., DISSMANN, B., NAM, K. Y.. A cross-country decomposition analysis of manufacturing energy consumption. *Energy*. Aalborg, v. 18, n. 8. p. 843-858. 1993.

PIRES, J. C. L., GOSTKORZEWICZ, J., GIAMBIAGI, F. O cenário macroeconômico e as condições de oferta de energia elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA, 2001. 35 p. (Textos para Discussão, 85).

ROSSI, J. W., DAS NEVES, C. *Econometria e Séries Temporais*. LTC. Rio de Janeiro. 2014.

SALAZAR, M. B. Demanda de energia na indústria brasileira: efeitos da eficiência energética. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2012.

SCHMIDT, C. A. J., LIMA, M. A. M.. A demanda por energia elétrica no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 58 n. 1, p. 67-98. jan./mar. 2004