



III ENEI
Encontro Nacional de
Economia Industrial e Inovação

*Indústria e Desenvolvimento Econômico:
desafios e perspectivas*

18 a 20 de setembro de 2018
Uberlândia – Minas Gerais

INTENSIDADE ENERGÉTICA E POLUIDORA DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE 1970 A 2016

Luiz Gustavo Fernandes Sereno¹
Daniel Caixeta Andrade²

RESUMO

É certo que a expansão das atividades industriais é um dos principais eixos do progresso econômico, contudo, é inegável que ao longo do processo industrializante inevitáveis impactos ambientais aconteçam. Destaca-se a utilização de fontes energéticas não renováveis como os combustíveis de origem fóssil que se relaciona diretamente com a emissão de Gases de Efeitos Estufa (GEE), cujo volume o Brasil tem se comprometido a reduzir. Neste contexto, este trabalho buscou analisar a evolução do crescimento industrial no Brasil à luz da demanda energética e das emissões de GEE. Verificou-se pelas estimativas do Índice de Intensidade Energética (IIE) e Índice de Intensidade Poluidora (IIP) que, em geral, a quantidade de energia necessária e o volume de emissões de GEE por dólar de produto apresentou tendência de aumento entre as décadas de 1970 e 2016. Estes resultados são preocupantes do ponto de vista ambiental, visto que o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de GEE no último acordo climático. Em assim sendo, advoga-se que a elaboração de políticas industriais articuladas deve incorporar medidas para que o crescimento industrial seja acompanhado do aumento da eficiência energética e redução do seu impacto poluidor.

Palavras chave: Indústria, Intensidade Energética, Eficiência Energética, Emissão de GEE, Intensidade Poluidora

ABSTRACT

It is certain that the industrial expansion it is one of the main axes of economic progress, however, it is inelible that unavoidable environmental impacts will occur along the industrializing process. Stands out the use from non-renewable sources like fossil fuels that is directly related to greenhouse gas (GHG) emissions, whose volume Brazil has committed itself to reduce. In this context, this paper tried to assay the industrial growth evolution in Brazil in relation to energy demand and GHG emissions. It was verified by industrial energy intensity and industrial polluting intensity that, in general, the required amount of energy and GHG emissions per product dollar showed a growth trend between 1970 and 2016. This results are worrisome from the environmental point of view, since Brazil has committed to reduce GHG emissions in the latest climate agreement. Therefore, it is argued that the industrial policies must incorporate measures of industrial growth to be accompanied by increased energy efficiency and reduction of its polluting impact.

Key-words: Industry, Energy Intensity, Energy Efficiency, GHG emissions, polluting intensity

Área ABEIN: Área 5.3 Inovação,ecoinovação, desenvolvimento e sustentabilidade

Classificação JEL: Q40, O14, L60

¹Mestrando em Economia pelo Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal de Uberlândia. e-mail: luizgustavosereno@gmail.com

² Professor Associado do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia. Bolsista de Produtividade do CNPq. e-mail: daniel.andrade@ufu.br

INTRODUÇÃO

A eficiência da alocação de recursos na produção permeia a ciência econômica desde sua fundação. A literatura econômica preconiza que a tendência do desenvolvimento industrial é de melhor aproveitamento de recursos como a energia, dado o progresso técnico. De similar modo, a visão preponderante da Economia Ambiental enuncia a redução relativa do impacto ambiental sobre a produção com o crescimento econômico. Considerando os efeitos adversos da utilização de combustíveis fósseis e de outras fontes não renováveis de energia para o Meio Ambiente, faz-se necessário investigar se os comportamentos da eficiência energética e poluidora seguem a propensão poupadora de recursos indicada pelo saber econômico dominante considerando que avaliações empíricas sobre o tema não são convergentes (FOCACCI, 2005 e MIKETA 2007).

Tendo em vista as metas estabelecidas pelo Brasil no Acordo de Paris (BRASIL, 2015), é preciso investigar a tendência da contribuição da indústria brasileira para as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) nacionais, se seguem ou não a propensão poupadora apregoada pela literatura. Dessa forma, este trabalho se presta a investigar o comportamento da intensidade energética da indústria no Brasil e seus desdobramentos relativos as emissões de GEE na geração e consumo de energia industrial entre os anos de 1970 e 2016. Para tanto, propõe um exame da demanda energética e das emissões de GEE industriais e calcula os Índices de Intensidade Energética (IIE) e Intensidade Poluidora (IIP) para a indústria brasileira e seus subsetores.

O trabalho é estruturado em quatro seções além desta introdução. Na segunda seção são apresentados, de forma resumida, os pressupostos teóricos a respeito da Eficiência Energética e a relação entre Indústria e Meio Ambiente. O histórico de demanda energética e emissão de GEE no Brasil é apresentado na terceira seção e, na quarta, são apresentados e discutidos os resultados dos índices de intensidade da indústria brasileira. Por fim, na última seção, são apresentadas as considerações finais.

1. REVISÃO TEÓRICA

1.1 Emissões de GEE e Crescimento Econômico

Sun (2003) destaca que o modelo de desenvolvimento sustentável deve incluir aumento na eficiência energética e menores níveis de emissão de CO₂ (enquanto GEE). Além disso, o autor ressalta que existem maiores possibilidades de substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia nos países em desenvolvimento. Apesar de inicialmente ignorada, a considerável difusão da problemática ambiental – sobretudo a partir da publicação de *Limits to Growth* (MEADOWS, 1972) - dificultou sua rejeição por parte das teóricas econômicas predominantes. Sendo assim, a sustentabilidade ambiental passa a ser incorporada como variável de interesse nos modelos econômicos resultando em discussões teóricas e análises empíricas. Destaca-se neste bojo a adaptação do modelo de Kuznets (1955) sobre o efeito da variação da renda *per capita* ao longo do tempo sobre a desigualdade social para a discussão da relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental, iniciada na década de 1990. O trabalho original (KUZNETS, 1955) trouxe evidências empíricas de que, em um primeiro momento, aumentos da renda *per capita* em um país em desenvolvimento, de estrutura predominantemente agrária concentrada e população predominantemente residente nas zonas rurais, tendem a aumentar a concentração de renda.

No entanto, com a migração da população para as cidades, o processo de industrialização e a instituição de sociedades democráticas com instituições mais fortes, a desigualdade de renda encontraria um ponto de inflexão, a partir do qual o crescimento econômico propiciaria condições para uma maior parcela da sociedade se apropriar de parcela da renda gerada, comparado à população que imigrou inicialmente. Seria formada, portanto, uma curva em formato de “U” invertido na regressão da desigualdade de renda contra o PIB *per capita* (coeficiente maior do que zero) e o PIB *per capita* em sua forma quadrática (coeficiente menor do que zero).

Já Grossman e Krueger (1991, 1995) aplicaram os termos dessa causalidade entre crescimento econômico e desigualdade de renda para a degradação ambiental. Estes autores conseguiram demonstrar por meio de estudos econométricos empíricos que havia uma relação explícita, que mostra o desenvolvimento de uma economia ao longo do tempo dividido em duas fases. Na primeira fase, em que as nações são pouco desenvolvidas, a estrutura da população é predominantemente residente no campo,

com elevada dependência do setor primário, e a prioridade é industrializar-se, inserir-se no comércio internacional e também preocupar-se em resolver os problemas de pobreza da população. Quanto maior a escala de uma economia, uma maior quantidade de materiais e energia são utilizados nos processos e, portanto, maior a emissão de resíduos. Portanto, o Fator Escala se torna relevante para o aumento da degradação ambiental nessa fase inicial (MUELLER, 2004).

Com o êxodo rural, maior nível de renda *per capita* e estrutura econômica mais industrializada, existe uma tendência de aumento da participação na renda do setor de serviços. Visto que literatura costuma considerar o setor de serviços como menos intensivo em energia e materiais que o primeiro e segundo setores (agricultura e indústria), espera-se uma diminuição da degradação. Dessa forma, o Fator Composição é o primeiro fator que explica a trajetória de queda na degradação ambiental na segunda fase do desenvolvimento econômica. Outro fator importante para explicar a segunda fase do processo é o de Mudança Tecnológica. A maior disponibilidade de recursos para o progresso tecnológico, com o avançar do desenvolvimento, possibilita o surgimento de novas tecnologias mais limpas a substituir as tecnologias obsoletas e mais intensivas em energia e matéria (MUELLER, 2004).

Assim sendo, a teoria da Economia Ambiental predominante define que a aplicação de tecnologias mais avançadas implicaria na redução da poluição resultante dos processos produtivos ao mesmo tempo em que esses processos se tornariam menos relevantes para a determinação do crescimento econômico nacional. . No âmbito da CKA, o governo, na fase ascendente da curva, impõe ações e políticas em favor do crescimento que geram aumento da depleção ambiental, mas ao chegar a um estado de maior desenvolvimento, implementam políticas para melhorar a qualidade do meio ambiente e proteger os recursos naturais. Nesta perspectiva, portanto, a “solução” para a crescente degradação do meio ambiente seria o próprio desenvolvimento econômico e conseqüente enriquecimento da população, ou seja, a sustentabilidade ambiental é inerente ao próprio sistema capitalista, fruto do livre funcionamento das forças de mercado, hierarquização de preferências, e demanda mercadológica e política por bens e serviços mais “limpos”.

Não obstante, há que se considerar as críticas que a literatura da Economia Ecológica registra acerca da hipótese do “U” invertido, sobretudo considerando que “há sérias razões, entretanto, para não aceitar essa visão otimista” (MUELLER, 2004, p. 25). O primeiro ponto apresentado por Mueller (2004) é que a hipótese se aplica normalmente apenas a alguns poluentes que em geral são de curto prazo e de impacto geograficamente reduzido. Tendo em vista que a redução de um poluente específico em determinada região não significa, necessariamente, redução do seu impacto global. É possível supor, ainda, que essa redução pode estar relacionada ao crescimento da emissão em outra região.

Ademais, de acordo com Mueller, “os estudos empíricos da curva do U invertido geralmente consideram poluentes altamente visíveis e que tendem a provocar crescentes reações de desagrado e protesto nas populações atingidas” (MUELLER, 2004, p. 25). Por fim, o autor ressalta que – em dimensões globais e considerando o histórico de emissões antrópicas – os efeitos dos gases acumulados na atmosfera superam em muito os efeitos locais.

1.2 Índice de Intensidade Energética (IIE)

O Índice de Intensidade Energética (IIE) busca medir a eficiência na utilização do recurso energia na produção e geração de renda (MOTTA e ARAUJO, 1998). Para tanto, o índice relaciona a demanda energética em relação ao Produto Interno Bruto (PIB).

$$IIE = \frac{\text{Consumo total de Energia}}{\text{Produto Interno Bruto}}$$

Motta e Araujo (1998) descrevem três determinantes para a intensidade energética total de uma economia, quais sejam: mudanças na composição do produto, mudanças no conteúdo energético e Mudanças no nível de atividade econômica. A explicação dada pelos autores se concentra na dimensão econômica que tem por base o pressuposto teórico do ótimo de *Pareto*.

O determinante de Mudanças na composição do Produto se relaciona com o efeito composição da CKA. De acordo com os autores, alterações na estrutura do PIB podem levar a setores menos intensivos em energia a uma maior participação no PIB. Dessa forma, o índice energético total tende a se reduzir. Assim sendo, o aumento na eficiência energética nacional não estaria atrelado diretamente a um aumento

de eficiência, mas sim ao crescimento de setores mais eficientes, como o setor de serviços. Portanto, os autores denominam o determinante de efeito estrutural, considerando que o fator está vinculado a “tendências de consumo, a programas governamentais, a padrões do comércio exterior, ou mesmo resultantes de perdas ou ganhos de mercado devido aos impactos dos custos elevados de certos insumos repassados aos preços do produto” (MOTTA e ARAUJO, 1998 p. 8).

O segundo determinante, mudanças no conteúdo energético, baseia-se na premissa de que “capital, trabalho, e energia podem ser combinados em diferentes proporções, seja por decorrência de alterações nos seus preços relativos, de melhorias técnicas ou do progresso tecnológico” (MOTTA e ARAUJO, 1998 p. 9). À vista disso, supõe-se que é possível existirem diminuições na intensidade energética resultantes de uma melhoria técnica associada a uma ampliação de plantas, o que estaria relacionado ao avanço da escala de produção. Além disso, avanços técnicos que propiciassem alterações nas combinações dos fatores produtivos poderiam aumentar a eficiência da produção e reduzir a intensidade energética. Ressaltam ainda que aumentos na intensidade podem estar relacionados a variações nos preços relativos das fontes de energia que poderiam causar o emprego de combustíveis menos eficientes, embora isso possa ser só no curto prazo.

Por fim, o determinante de mudanças no nível de atividade econômica visa explicar as mudanças na intensidade pontuais que não necessariamente indicassem tendências de longo prazo. O argumento apresentado pelos autores é que “plantas menos eficientes podem entrar em operação em consequência de uma inesperada elevação do nível de atividade [ou então considerando que] certos usos de energia não podem ser reduzidos de imediato quando a capacidade ociosa aumenta” (MOTTA e ARAUJO, 1998 p. 9). Assim sendo, defendem que a defasagem entre o investimento produtivo e choques de demanda constituiria um período no qual a intensidade energética aumentaria temporariamente. Contudo, verificando-se uma mudança real por parte da demanda, o processo produtivo se adaptaria à nova condição de mercado retornado ao nível de intensidade anterior.

Dentre os estudos que dirigiram esforços ao tema se destacam os trabalhos de Focacci (2005) e Miketa (2007). Focacci (2005) encontrou evidências de que maiores taxas de crescimento no produto estão relacionadas à menor intensidade energética e redução nas emissões de GEE para o Brasil, China e Índia. Miketa (2007), por sua vez, demonstrou que existe uma relação positiva entre o tamanho da indústria e a intensidade energética, contrariando concepções teóricas acerca de que o desenvolvimento industrial se encarrega de forçar aumentos na eficiência energética da indústria.

2. INDÚSTRIA, DEMANDA ENERGÉTICA E GEE NO BRASIL: 1970-2016

O Brasil tem se comprometido – de acordo com o cenário global – a reduzir suas emissões de GEE. Como signatário do Acordo de Paris (2105), o país estabeleceu metas e meios para o cumprimento do acordo em sua Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) (BRASIL, 2015). No documento o país afirma que

“Todas as políticas, medidas e ações para implementar a iNDC do Brasil são conduzidas no âmbito da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009), da Lei de Proteção das Florestas Nativas (Lei 12.651/2012, o chamado Código Florestal), da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000) e da legislação, instrumentos e processos de planejamento a elas relacionados” (BRASIL, 2015, p. 1)

As metas expressas na iNDC estão inseridas no compromisso firmado pelo Brasil de “reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025” (BRASIL, 2015), abrangendo todo o território nacional e incluindo os gases CO₂, CH₄, N₂O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF₆. O documento cita ainda o compromisso de instigar esforços para uma transição para sistemas de energia baseados em fontes renováveis e a descarbonização da economia mundial.

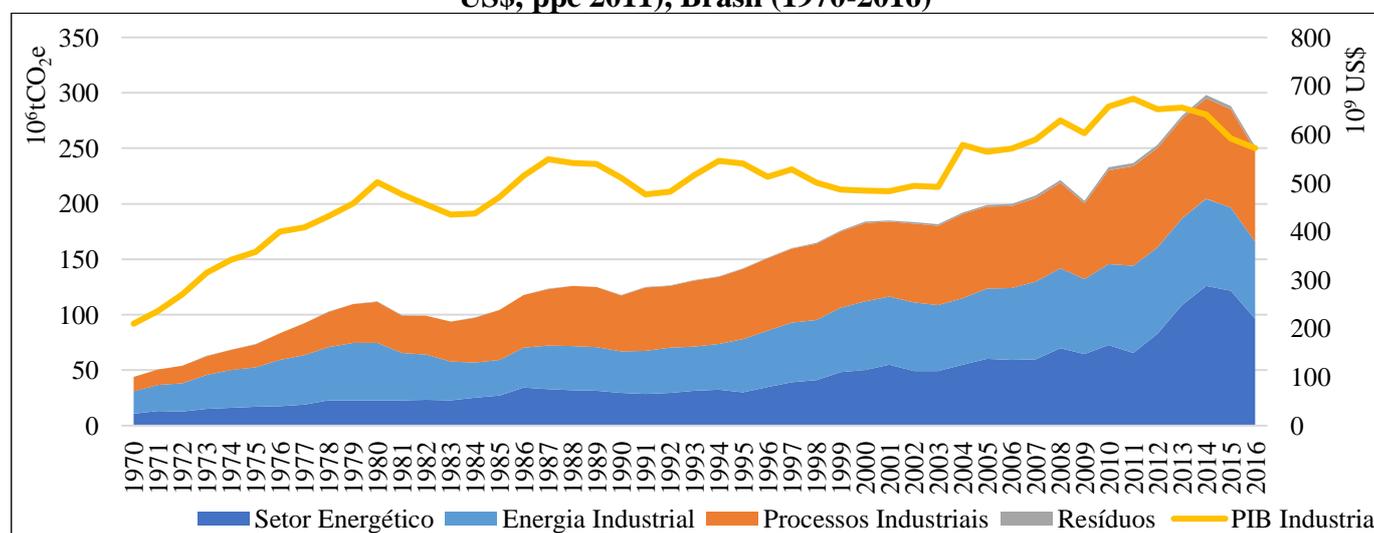
Euler (2016) destaca que, apesar dos avanços que o Brasil obteve na primeira década do século XXI, não existe ainda um consenso interno sobre as ferramentas de redução das emissões bem como falta interação com outros instrumentos e incentivos macroeconômicos. Monzoni (2016) ressalta que o crescimento das emissões entre os anos de 2014 e 2016 acende o alerta para dificuldades em se cumprir a meta brasileira do Acordo de Paris.

Tendo em vista a intensidade de uso de combustíveis de origem fóssil para as emissões de GEE é importante inquirir sobre o comportamento da eficiência energética e poluidora da indústria brasileira. Para

tanto, é necessário um balanço prévio a respeito da demanda energética e das emissões de GEE da indústria. Os dados utilizados foram obtidos junto ao Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)³, do Observatório do Clima (OC, 2017), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Balanço Energético Nacional (BEN) (EPE, 2017). Foram considerados os dados de emissão de GEE referentes à atividade industrial⁴ dos setores de Energia, Processos Industriais e Resíduos do SEEG, cuja unidade de medida considerada é a tonelada métrica de carbono equivalente (CO₂e GTP⁵). Os dados das atividades relacionadas à geração de energia foram agregados no Setor Energético, de acordo com classificação do BEN (2017). Os dados de Produto Interno Bruto dado por paridade do poder de compra (PIB ppc) da Indústria foram extraídos do BEN (EPE, 2017) e IBGE.

As variações das emissões de GEE da indústria guardam certa relação com as variações verificadas no PIB industrial. Nota-se, contudo, que o crescimento das emissões foi claramente superior ao crescimento total do PIB (GRÁFICO 1). O crescimento acumulado no período analisado das emissões totais foi de 367,12% (33 milhões de tCO₂e em 1970 para 155 milhões em 2016), enquanto que o PIB da Indústria variou 329,24% (de US\$ 210 bilhões para 570 bilhões a preços de 2011). Na década de 1970, o vertiginoso crescimento das emissões da indústria - que quase triplicaram no período - resultou em um crescimento anual médio de 10,41%, superior ao crescimento do PIB de 9,10%. Na década de 1980, houve uma alteração nesta dinâmica: as emissões experimentaram redução de 0,16% contra crescimento de 0,18% do PIB industrial. Já a década de 1990 representou novo estágio de crescimento para as emissões: aumento de 4,29% enquanto o PIB industrial retraiu 0,54%. Em que pese a relativa aproximação do acréscimo total nos anos 2000 - 1,83% para as emissões contra 3,11% do PIB -, a partir de 2011 as emissões se reduziram 0,56% enquanto o produto industrial encolheu 2,30%.

GRÁFICO 2 - Emissões de GEE relacionadas à Indústria (10⁶ tCO₂e) por setor e PIB indústria (10⁹ US\$, ppc 2011), Brasil (1970-2016)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG (OC, 2017)

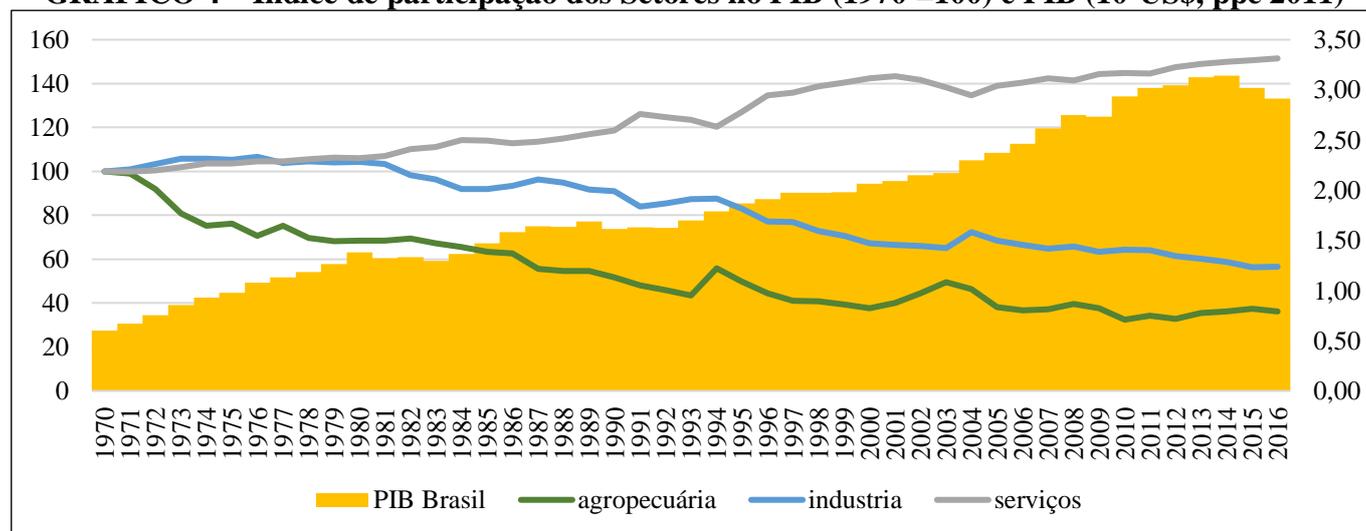
Considerando a importância do fator de composição do PIB, tanto a definição da demanda energética quanto para a emissão de GEE, torna-se necessário averiguar o comportamento do PIB brasileiro e a participação de cada setor ao longo do período analisado. As modestas taxas de crescimento do PIB industrial entre 1980 e 2002 refletiram-se na queda da participação do setor no PIB nacional (GRÁFICO 3). Mesmo com o crescimento da indústria entre 2004 e 2011, a participação permaneceu em constante queda até 2016. Verifica-se, ainda, que o aumento total nas emissões brasileiras entre 2014 e 2016 (EULER,

⁴ Para mais informações sobre as atividades consideradas ver **ANEXO 1**

⁵ O índice agrega as estimativas das emissões de todos os GEE em relação ao Dióxido de Carbono (CO₂) de acordo com seu Potencial de Aumento da Temperatura Global (GTP)

2016) não se relaciona diretamente às emissões industriais que tiveram seus valores absolutos reduzidos nos anos de 2015 e 2016. Contudo a redução nas emissões experimentada na década anterior (EULER, 2016) também não se verificou nas emissões industriais.

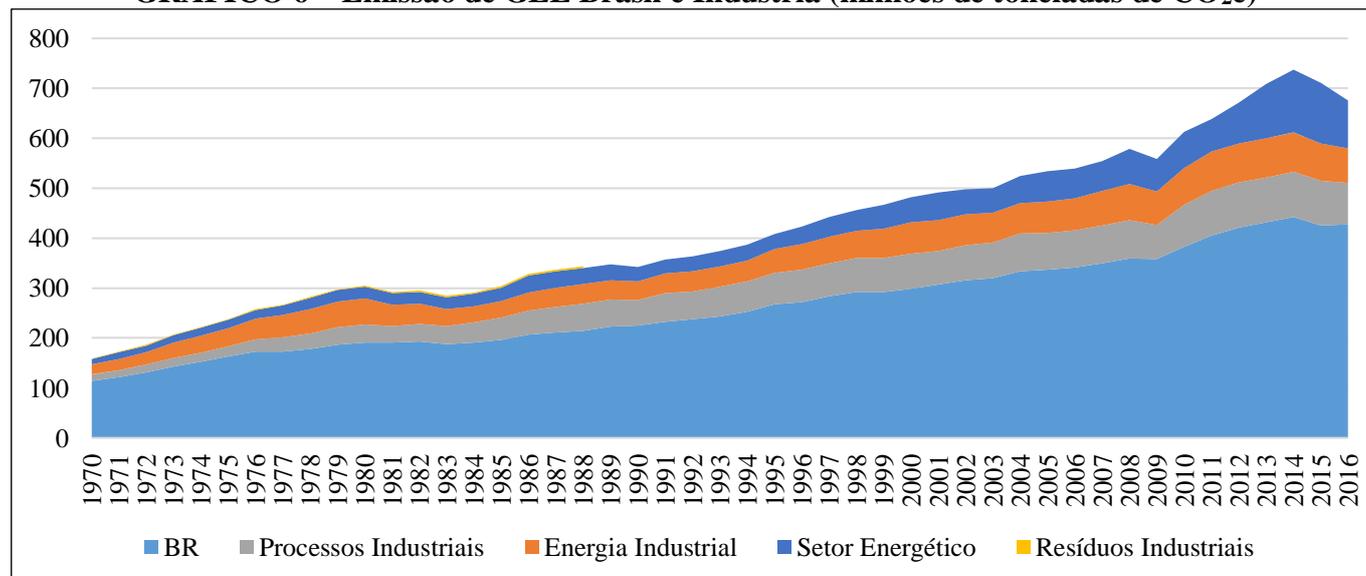
GRÁFICO 4 – Índice de participação dos Setores no PIB (1970 =100) e PIB (10⁹US\$, ppc 2011)



Fonte: Elaborado a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e IBGE

O crescimento em termos absolutos das emissões relacionadas à produção de energia industrial fica mais evidente ao compararmos com as emissões totais do Brasil (GRÁFICO 5). Enquanto o crescimento médio anual das emissões de GEE no Brasil entre 1970 e 2016 foi de 3,15%⁶, as emissões industriais cresceram a uma taxa média anual de 3,33%, assim a participação saltou de 29,34% em 1970 para 41,13% em 2011 e 35,43% no ano de 2016. A variação das emissões do setor energético também foi superior à nacional: 4,75% ao ano, o que resultou em um crescimento na participação das emissões do setor energético de 6,86% em 1970 para 17,02% em 2015 e 14,18% em 2016.

GRÁFICO 6 – Emissão de GEE Brasil e Indústria (milhões de toneladas de CO₂e)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG (OC, 2017)

O Setor de Mudanças no Uso da Terra não foi considerado dado que os dados só estão disponíveis a partir de 1990

⁶ Considerando apenas as emissões não relacionadas à indústria e ao setor energético a taxa foi de 2,85%

Considerando as emissões totais do período, o setor industrial somou 5,03 bilhões de tCO₂e, 26,85% das emissões totais brasileiras que somaram 19,46 bilhões (TABELA 1). Ainda do total, 2,38 bilhões de tCO₂e (12,22%) estão relacionadas ao consumo de energia industrial e 2,03 bilhões (10,45%) à geração de energia total. Dessa forma, excluindo-se as emissões relativas ao setor de mudanças no uso da terra, a geração de energia e a utilização de energia industrial somadas só não foram mais poluentes que a Agropecuária e a geração de energia para o restante da economia⁷.

TABELA 1 – Emissões de GEE

Setor	Emissões totais (milhões tCO ₂ e)	Variação (%)	Variação média (milhões tCO ₂ e)	Variação média (%)
Energia ¹	6.629,42	364,92	4,02	3,32
Energia Industrial	2.379,33	248,67	1,06	3,65
Setor Energético	2.034,03	787,34	1,82	4,75
Energia Total	11.042,79	392,32	6,90	3,45
Processos Industriais	2.606,33	526,46	1,47	3,98
Resíduos ²	308,49	427,38	0,20	3,60
Resíduos Industriais	48,26	3710,26	0,07	8,05
Resíduos Total	356,91	545,00	0,27	4,05
Agropecuária	5.458,50	191,27	2,45	2,30
Brasil ¹	12.396,41	274,63	6,67	2,85
Brasil Indústria	7.068,12	470,80	4,41	3,78
Brasil Total	19.464,52	329,24	11,09	3,15

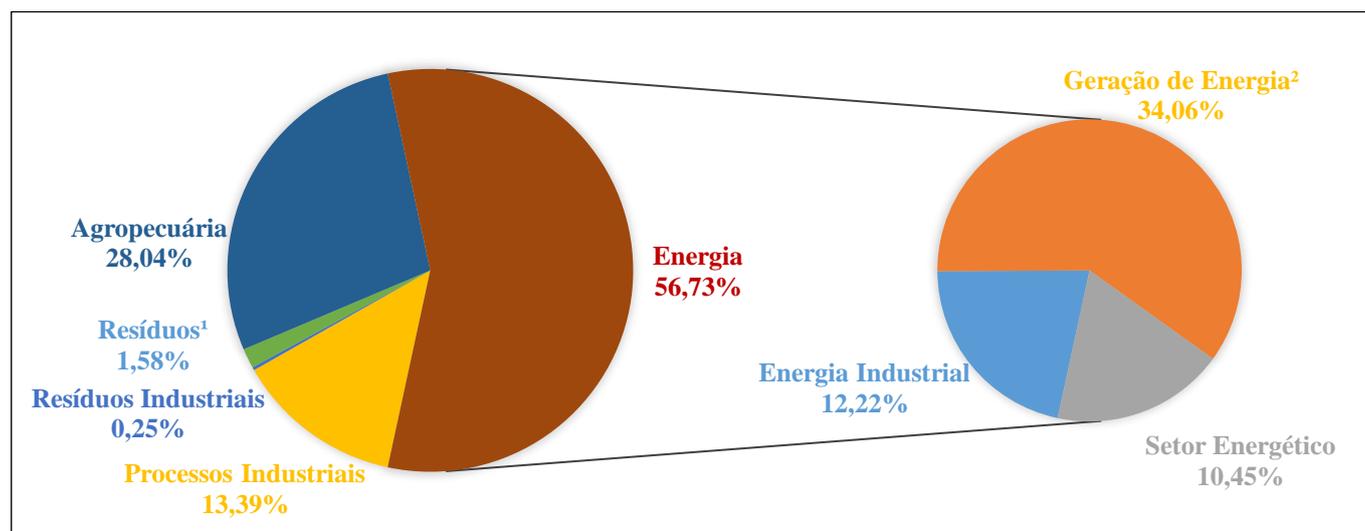
Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG (OC, 2017)

¹Exclusive Indústria e Setor Energético

² Exclusive Indústria

Considerando mais uma vez as estimativas do volume total de emissão de GEE para o Brasil (GRÁFICO 7), o setor de Energia é preponderante: responde por cerca de 56,73% das emissões contra 28,04% da Agropecuária, 1,83% de resíduos e 13,39% de Processos Industriais.

GRÁFICO 8 – Volume total de emissões de GEE acumulado no Brasil por setor (1970-2016)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEEG (OC, 2017)

¹Exclusive Indústria

²Geração de energia para uso do Comércio, da Agropecuária, Público, Residencial, Transporte e outros

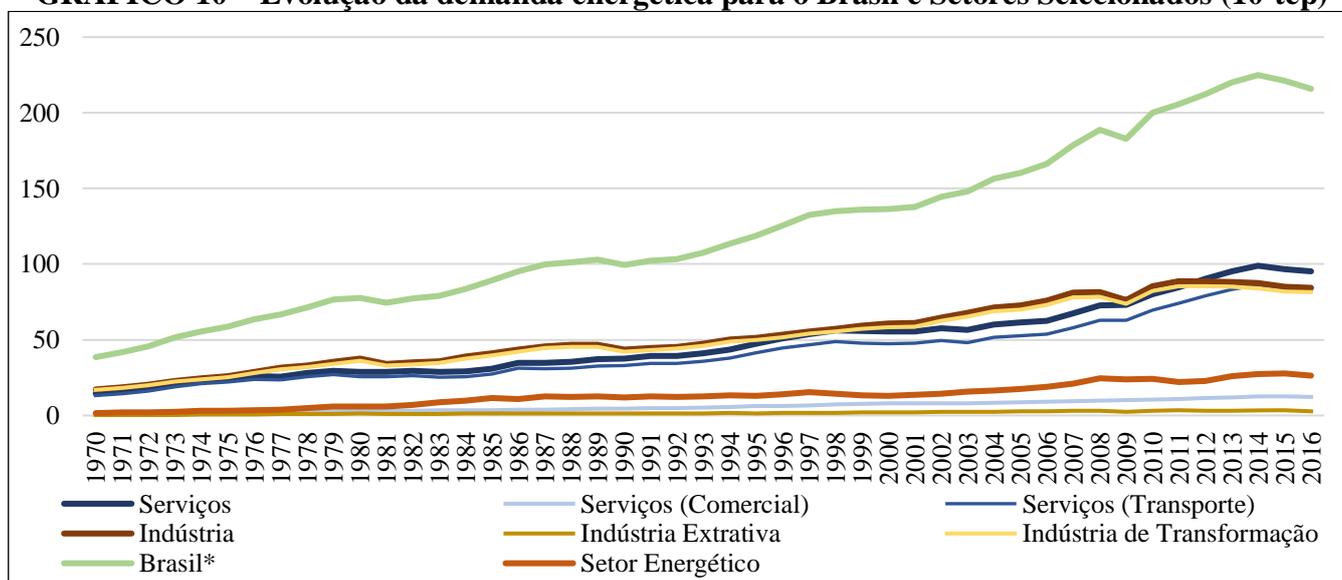
Demanda Energética Industrial

Tendo em vista a importância absoluta do setor energético e do consumo de energia industrial para as emissões de GEE no Brasil, bem como sua tendência de crescimento, realizam-se aqui observações sobre

⁷ Ressalta-se aqui o peso da queima de combustíveis no transporte para esse resultado

a demanda energética industrial do Brasil. Os dados, retirados do BEN (EPE, 2017), são apresentados em toneladas equivalentes em petróleo (tep) para fins e comparação entre diferentes fontes energéticas. A demanda energética do Brasil (GRÁFICO 9), excluindo a residencial, apresenta trajetória constante de crescimento entre 1970 e 2014. O único período no qual a demanda por energia sofre queda por dois anos consecutivos são os dois últimos anos da série, ressaltando ainda as quedas na crise de 2008, no período de instabilidade política do início da década de 1980 e instabilidade macroeconômica do início da década de 1990

GRÁFICO 10 – Evolução da demanda energética para o Brasil e Setores Selecionados (10⁶tep)

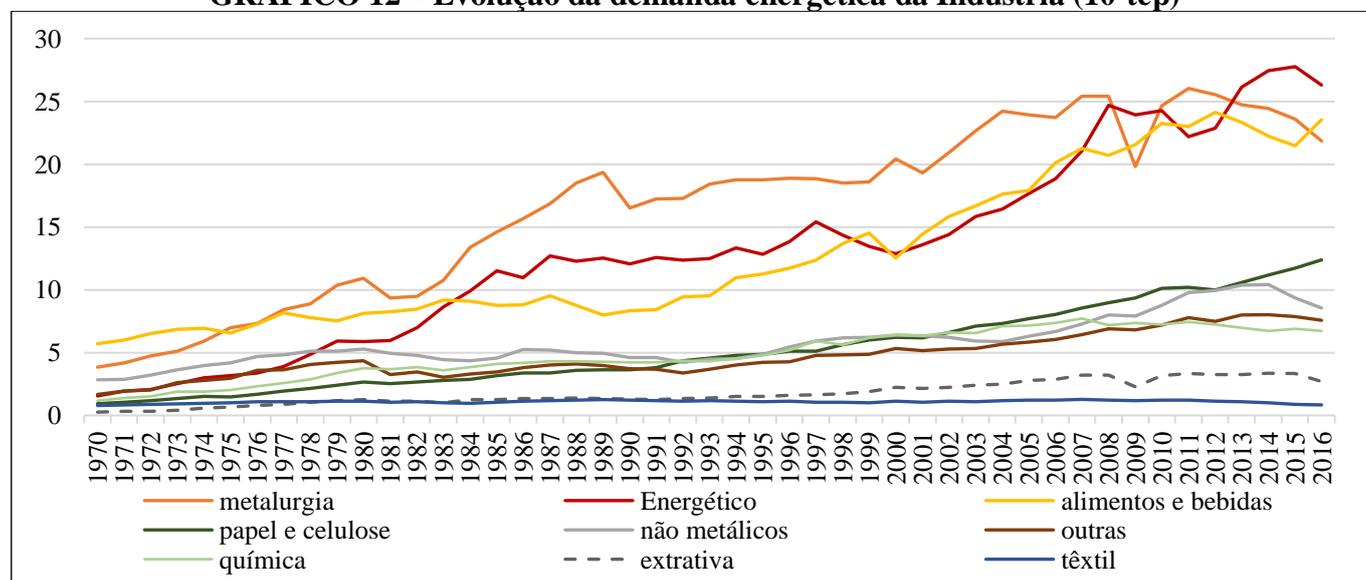


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

* Exclusive demanda energética residencial

Em relação a trajetória da demanda energética dos setores da indústria (GRÁFICO 11), destacam-se três grupos com comportamento distintos. O primeiro grupo, de crescimento acentuado, é composto pelas indústrias de Metalurgia, e Alimentos e Bebidas e o Setor Energético. O segundo grupo, dos sub setores de Papel e celulose, não metálicos, química e outras apresentou crescimento moderado. Já o terceiro, de menor crescimento ou estagnação, inclui as indústrias Têxtil e Extrativa.

GRÁFICO 12 – Evolução da demanda energética da Indústria (10⁶tep)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

A literatura econômica sugere que indústrias de Baixa Intensidade tecnológica como Alimentos e Bebidas, Têxtil e Papel e Celulose e de Média Baixa Intensidade como Metalurgia, Produtos Minerais Não Metálicos e derivados do petróleo sejam menos intensivos que indústrias de Média Alta Intensidade como a Química. Em convergência com a literatura, no grupo de maior crescimento da demanda por energia, encontram-se indústrias de baixa e média baixa. Por outro lado, conjectura-se igualmente que indústrias em fase de desenvolvimento tenham maior crescimento da demanda do que indústrias consolidadas já que se presume que as últimas apresentem maiores rendimentos de escala. Portanto, é provável que a estagnação verificada na demanda energética da cadeia produtiva Têxtil esteja relacionado ao fato de ser uma indústria intensiva em capital e já consolidada no Brasil durante a década de 1970.

INTENSIDADE ENERGÉTICA E POLUIDORA DA INDÚSTRIA NO BRASIL

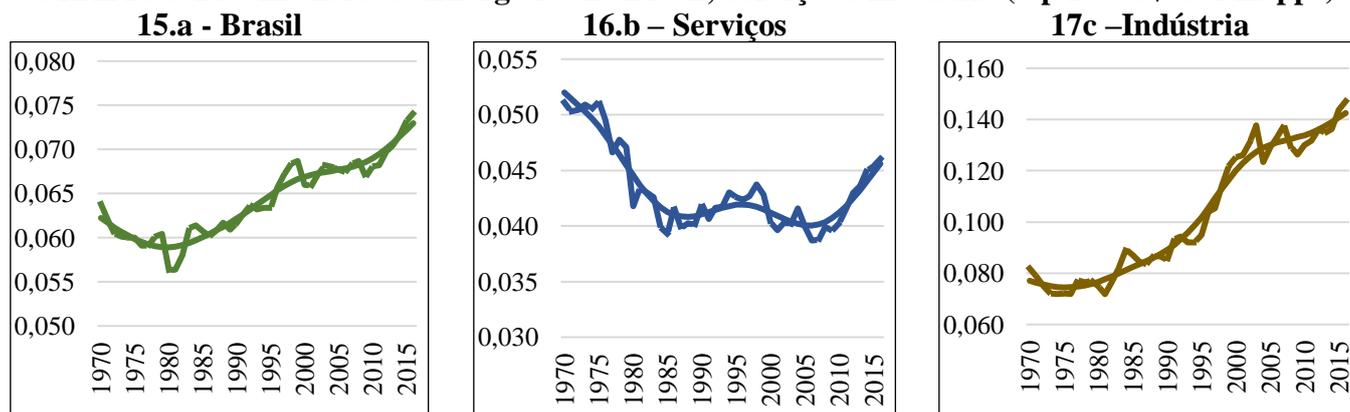
Índice de Intensidade Energética (IIE)

Com o propósito de averiguar o comportamento da demanda energética em relação à renda gerada foram calculados os Índices de Intensidade Energética (IIE) para o Brasil (excluindo-se o consumo de energia residencial) e para os setores de Serviços e Indústria. Os índices calculados foram filtrados pela metodologia de Hodrick-Prescott (filtro HP). Basicamente, o processo tem como finalidade decompor uma série temporal em dois elementos: 1. Tendência da trajetória e 2. Variações cíclicas (ANGELIS, 2004). Dessa forma, é possível eliminar as variações relacionadas a fatores cíclicos que influenciam a intensidade energética, obtendo assim a tendência de longo prazo.

Por conseguinte, eliminam-se dos índices calculados os fatores de variação relacionados ao determinante de Mudanças no Nível de Atividade Econômica. Removendo os ciclos, as alterações na intensidade energética causadas por variações repentinas na demanda são amenizadas. Da mesma forma, o fator de alteração relativa nos preços (inserido no determinante de Mudanças no Conteúdo Energético) também é suavizado, já que mudanças temporárias para fontes energéticas de eficiências distintas causadas por alterações temporárias no preço relativo são atenuadas. Após o processo, permanece os Determinantes de Mudanças na composição do produto (estruturais) e de Mudanças no Conteúdo energético relativas a melhorias técnicas ou progresso técnico que nos fornecem uma melhor percepção da tendência de longo prazo da intensidade energética.

Considerando a tendência do IIE para o Brasil (GRÁFICO 13.a), nota-se que o índice apresentou trajetória de queda no período entre os anos de 1970 e 1980, a partir do qual se verifica uma inflexão e o índice revela tendência de crescimento até o final da série. A inclinação do índice foi mais acentuada nas décadas de 1980 e 1990, mais branda entre os anos de 2000 e 2010 e se intensificando após 2011. Evidencia-se a importância do nível de atividade econômica para a determinação da IIE no Brasil, dado que as maiores taxas médias anuais de crescimento do PIB no período foram na década de 1970 (8,63%) e 2000 (3,58%), passo que as décadas de 1980 (1,57%) e 1990 (2,49%) apresentaram as menores taxas. Em tempo, no período mais recente (2011 a 2016) o PIB brasileiro retraiu 0,14% e o IIE nacional apresentou maior coeficiente de aumento.

GRÁFICO 14 – Intensidade Energética no Brasil, Serviços e Indústria (tep/10³US\$ de PIB ppc)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, EPE, 2017)

O efeito composição na determinação do IEE se torna claro ao notar que o índice brasileiro em 1970 era de 0,064 tep/10³US\$, o do setor de serviços era da ordem de 0,051 e o da indústria 0,082 enquanto em 2016 os índices foram, respectivamente, 0,074, 0,046 e 0,147. Verifica-se, portanto, uma maior importância do IIE do setor de Serviços (GRÁFICO 18.b) em contrapartida ao do índice da Indústria (GRÁFICO 19.c).

Além disso, o único período de queda no IIE total brasileiro (década de 1970) ocorre simultaneamente a diminuição do índice da indústria e ao expressivo decréscimo experimentado pelo IIE do setor de serviços. Durante a década de 1980 a inflexão no índice total ocorre concomitante a uma leve inflexão do IIE de Serviços e forte crescimento do IIE industrial. A partir da década de 1980 a indústria passa a ter sua participação do PIB reduzida em relação ao terceiro setor, portanto, a intensificação no crescimento na intensidade energética industrial durante a década de 1990 é relativamente compensada pela quase estagnação do índice de Serviços⁸ e a IIE total não apresenta uma menor inflexão na tendência.

A atenuação do crescimento da intensidade energética total entre os anos de 2000 e 2010 coincide com o período no qual o índice de serviços apresentou os menores valores da série (aprox. 0,038 em 2006 e 2007) e também com uma menor inclinação da tendência de crescimento do IEE industrial. A partir de 2011 o forte crescimento da intensidade energética total está associado ao aumento na intensidade energética industrial mas, sobretudo, relacionada à vultosa elevação no índice de serviços que voltou a apresentar valores próximos aos do final da década de 1970, considerando que o setor de serviços aumentou consideravelmente sua participação no PIB em relação ao segundo setor. No entanto, em que pese sua decrescente participação relativa no PIB, o IIE da indústria foi superior ao nacional e ao de serviços em toda a série, com médias de 0,103, 0,064 e 0,043 tep/10³US\$, respectivamente. Portanto, a crescente participação do setor de serviços no PIB se refletiu também em amenizar o IEE total médio anual.

Considerando o viés de aumento na intensidade energética total do Brasil pela atividade industrial – dado pelos sucessivos crescimentos do IIE industrial – faz-se necessário analisar o IIE dos subsetores da Indústria. Acrescenta-se aqui à análise o Setor Energético que agrupa subcategorias da Indústria Extrativa, de Transformação e do Setor de Serviços. Analisando o IEE dos subsetores selecionados da economia (GRÁFICO 20) salta aos olhos o índice do subsetor de transportes em termos absolutos (GRÁFICO 21.a): na média de toda a série o índice de intensidade nos transportes é de aproximadamente doze vezes superior ao do setor de serviços, cinco vezes superior ao da indústria e mais de oito vezes superior ao do IIE total. Em tempo, o índice de Transportes excede em quase cem vezes a intensidade energética do subsetor de comércio.

Evidencia-se ainda que a tendência de queda do IIE dos transportes (GRÁFICO 22.b) até 2006 representou um aumento médio anual na eficiência energética, entretanto, a tendência sofre uma inflexão depois de 2007 apresentando forte crescimento da intensidade a partir de então. Percebe-se aqui a influência da dependência do modal de transporte rodoviário – altamente intensivo na utilização de combustíveis fósseis - na intensidade energética nacional.

Além disso, a tendência de crescimento verificada no Setor Energético implica uma menor eficiência energética na geração de energia ao longo do tempo. É importante ressaltar que a crise do Setor Energético no início do século XXI foi precedida por três décadas de queda na eficiência energética do setor (GRÁFICO X.b) e, apesar de um período de leve melhora na eficiência, o setor voltou a apresentar tendência de queda na eficiência a partir de 2009 similares as da década de 1970. No total da análise o setor experimentou uma retração média anual de 2,33%.

Em relação a intensidade energética da indústria, a Indústria de Transformação se demonstra o principal componente do IIE industrial, exibindo tendência de intensificação energética no período em geral. A taxa média anual de aumento no IEE industrial foi de 1,32% contra aumento de 1,44% da Indústria de Transformação e queda média de 0,55% da Indústria Extrativa⁹. A queda do IIE da Indústria extrativa – que apresenta forte intensificação energética entre as décadas de 1970 e 1990¹⁰, – se deve, sobretudo, a

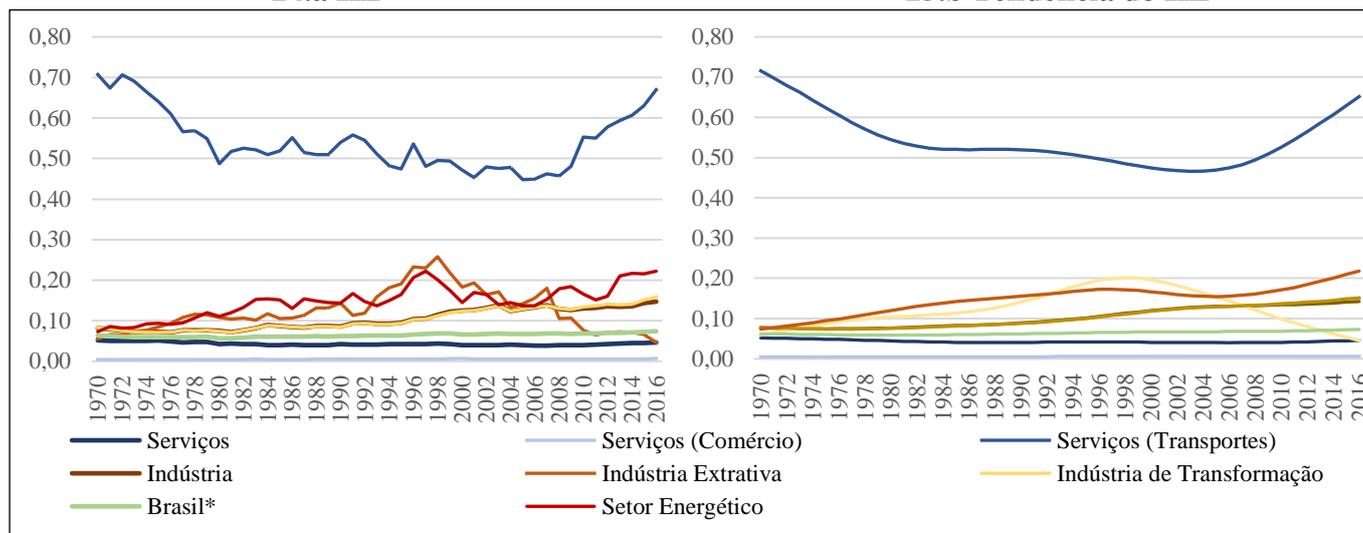
⁸ O setor de serviços na década de 1990 apresenta tendência de crescimento até meados da década, entretanto, o índice do final da década é muito próximo ao inicial (0,041 em 1991 e 0,040 em 2000)

⁹ Aqui se considera apenas a demanda energética de Mineração e Pelotização, extração de Petróleo, Gás Natural e Carvão Mineral estão alocadas no Setor Energético (para mais informações ver ANEXO 2)

¹⁰ O IEE da Indústria Extrativa chegou ao pico absoluto de 0,2579 tep/10³US\$ em 1998

expressiva queda no índice após 1998, obtendo em 2016 valores inferiores ao de 1970 (0,0466 contra 0,0559 tep/10³US\$).

GRÁFICO 23 – Intensidade Energética Brasil, setores selecionados (tep/10³US\$ de PIB ppc)
24.a IIE **25.b Tendência do IIE**



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

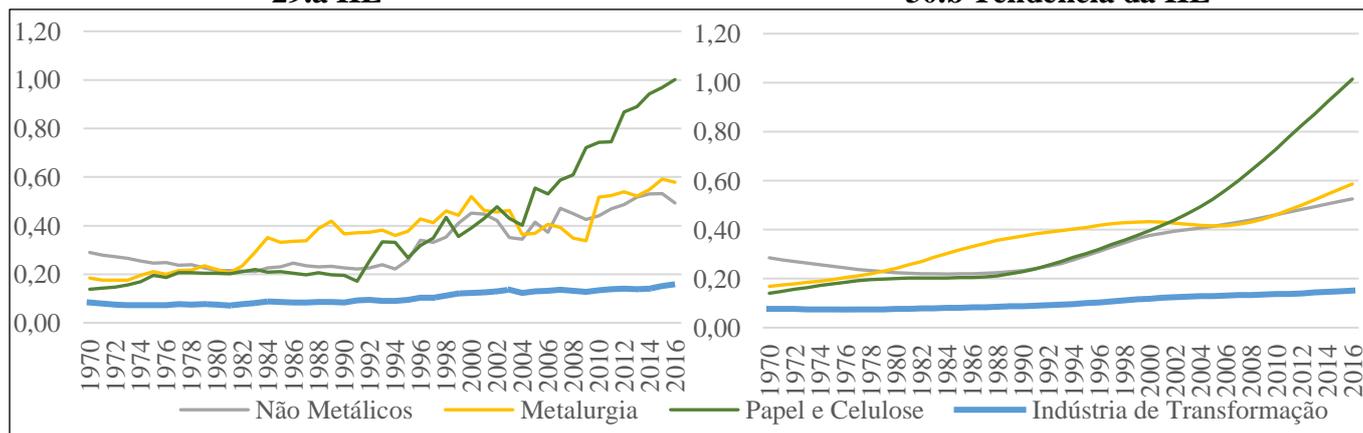
*Exclusive consumo energético residencial

Considerando tanto a diminuta participação da Indústria extrativa na indústria quanto sua pequena influência na determinação da intensidade energética total da indústria, faz-se necessário uma investigação mais acurada acerca dos subsetores da Indústria de Transformação. Para tanto, examinaremos os seis subsetores mais relevantes da Indústria de Transformação e o Setor Energético. Das as disparidades dos índices ao final da série, para a análise do IIE os subsetores da Indústria de transformação foram divididos em dois grupos a fim de facilitar a visualização. O primeiro grupo conta com as indústrias de maior índice, quais sejam: Produtos Minerais Não Metálicos, Metalurgia e Papel e Celulose. O segundo grupo, com IIE de moderado a baixo, incluem as indústrias Química, Alimentos e Bebidas, Têxtil e Outras.

Ao analisar os IIE para o primeiro grupo (GRÁFICO 26), destaca-se o comportamento da Indústria de Papel e Celulose que surge como importante determinante para o crescimento da intensidade energética industrial, sobretudo após o início da década de 1990. A indústria, que apresentava índice de 0,1405 tep/10³US\$ em 1970, experimenta um crescimento de 0,2282 em 1990 para 1,0147 em 2016, a queda na eficiência – aumento da tendência da IEE (GRÁFICO 27.b) - também foi a maior entre todos os setores.

GRÁFICO 28 – Intensidade Energética da Indústria de Transformação: Produtos Minerais Não Metálicos, Metalurgia, Papel e Celulose e Química (tep/10³US\$ de PIB ppc)

29.a IIE **30.b Tendência da IIE**



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

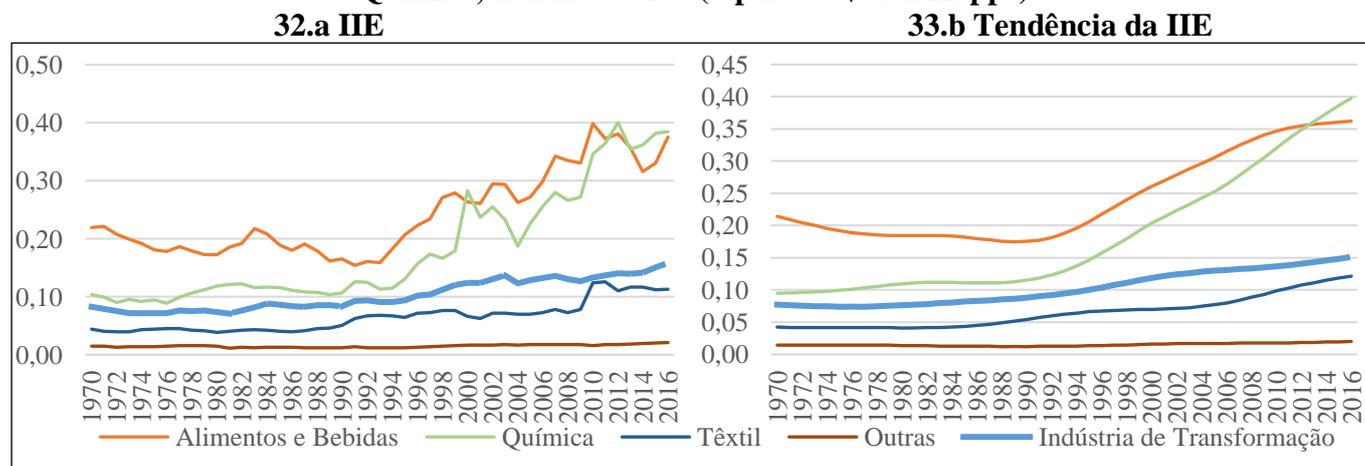
Em sequência, na ordem decrescente de intensidade energética, aparecem as indústrias de Metalurgia e de Produtos Minerais Não Metálicos. O forte crescimento da intensidade energética da metalurgia nas décadas de 1970 e 1980 se ocorre concomitante ao período de contínua expansão das atividades produtivas. No entanto o expressivo crescimento do PIB durante a década de 1970 foi inferior ao crescimento da demanda energética no período. Nas décadas de 1980 e 1990, apesar da redução na taxa de crescimento da demanda energética, a retração da indústria -que finalizou a década de 1990 com produto inferior ao do final da década de 1970 – o índice de intensidade a indústria ainda expandiu.

Após 1999 se verifica uma inflexão na curva do IIEE da Metalurgia no ano de 2001, o resultado é que entre os anos de 2000 e 2006 houve um aumento médio anual na eficiência energética de 0,61%. É possível supor que a mudança no comportamento da curva se deveu, sobretudo, ao aumento expressivo no PIB do setor durante o ciclo de expansão chinês (2003 – 2008). A ocorrência da melhoria da eficiência energética do setor confirmaria a suposição de que em uma indústria já consolidada a intensidade energética tende a diminuir. No entanto, a queda crítica no PIB do setor com a crise de 2008 – bem como a trajetória constante de queda nos anos subsequentes relacionada ao final do ciclo de expansão da China– foram fundamentais para o agravamento da eficiência energética do setor. O resultado final é que no ano de 2009 o IIE da indústria já atingia valores superiores aos do início da década e, após sucessivos aumentos, em 2016 o índice da metalurgia foi de 0,5867, mais de três vezes superior ao de 1970 (0,1686).

A Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos, por sua vez, não apresenta crescimento na demanda energética tão expressivo quanto a Indústria Metalúrgica. O PIB do setor apresentou crescimento quase ininterrupto durante a década de 1970, em grande parte devido as políticas de investimento em infraestrutura do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND) que impulsionou o setor de construção e, conseqüentemente, o consumo de cimento. No entanto, nas décadas seguintes a trajetória do PIB do setor foi de queda. Passando por uma leve recuperação entre 2007 e 2011, principalmente devido ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e os incentivos para os programas governamentais de financiamento habitacional, o produto setorial experimentou um maior crescimento médio anual na primeira década do século XXI. Isso se refletiu em um menor crescimento da intensidade do setor no período em relação à década anterior, mesmo que o consumo energético tenha crescido a taxas semelhantes nos dois períodos.

Entretanto, assim como a indústria metalúrgica – e a indústria de transformação em geral – entre 2011 e 2016 o PIB do setor sofreu forte queda. Dessa forma, em que pese a redução no consumo final energético, o IIE do setor cresceu a taxas semelhantes a da década passada. Assim sendo, verifica-se no IIE do setor uma inflexão na trajetória descendente no ano de 1984 (0,2190 em 1983 e 1984) e o índice permanece em crescimento até o final da série. No ano de 1995 (0,2934) o índice supera o valor de 1970 (0,2845) pela primeira vez e o valor de 2016 (0,5258) é quase duas vezes superior ao inicial.

GRÁFICO 31 – Intensidade Energética da Indústria de Transformação: Alimentos e Bebidas, Química, Têxtil e outras (tep/10³US\$ de PIB ppc)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

Com tendência similar à indústria de produtos não metálicos se apresenta a curva da IIE da indústria de Alimentos e Bebidas. Os expressivos valores de PIB¹¹ do setor colaboram para que o índice da indústria de alimentos e bebidas não seja tão expressivo ao final da série, embora seja ainda maior que IIE da indústria de transformação no total. É importante destacar que a partir de 2010 o setor apresentou redução na inclinação positiva da intensidade energética e, ainda que não apresentasse valores decrescentes, a redução média anual da eficiência foi mais contida entre 2011 e 2016 em relação ao período anterior. Com índices finais próximos ao da indústria de Alimentos e Bebidas aparece a indústria Química que, no entanto, expressa trajetória mais ascendente (GRÁFICO 34.b). Ainda que os índices absolutos em 2016 (GRÁFICO 35.a) das duas sejam iguais, ao remover os movimento cíclicos é possível notar que o IIE da produção química apresenta tendência quase constante de crescimento entre 1990 e 2016.

Por fim, como setor menos intensivo, aparece o segmento têxtil. É o único dos setores selecionados dentre os maiores consumidores de energia que tem intensidade inferior à da indústria de transformação como um todo. Entretanto o índice do setor quase triplicou entre 1970 (0,0421) e 2016(0,1214). Tendo em vista que o consumo energético do setor não acompanhou o crescimento da indústria em geral¹² o que explica a tendência de progressiva redução na eficiência energética é o fato de que o setor foi o único que teve seu PIB reduzido entre 1970 e 2016 com quedas crescentes entre os anos de 1980 e 2016. Assim, é possível inferir sobre a tendência de um setor da baixa intensidade tecnológica e já consolidado de aumentar sua intensidade energética.

O grupo de outras indústrias ampliou sua participação no PIB indústria entre 1970 e 2016 de 61,42% para 69,8% em 2016. A participação na demanda energética, contudo, reduziu-se de 11,58% para 9,32%. Dessa forma, além de guardarem o menor IIE entre os calculados, também apresentaram menor crescimento total no período. Logo, conclui-se que, em geral, todos os subsetores apresentaram perdas em termos de eficiência energética no total do período, sobressaindo-se os resultados mais acentuados após a crise de 2008. Inclusive, as outras indústrias - de maior eficiência energética - tiveram sua participação no PIB reduzida de 72,41% em 2010 para 69,85% no ano de 2016. Assim sendo, as perspectivas são de intensificação energética da indústria em geral, na contramão de aumento na eficiência tanto na geração como no consumo de energia.

Índice de Intensidade Poluidora (IIP)

De modo análogo ao IIE foi calculado o Índice de Intensidade Poluidora da Indústria (GRÁFICO X) seguindo a classificação do IPCC (2007) e do BEN (EPE, 2017) para o setor de Energia. Assim, é possível verificar a relação da eficiência energética com as emissões de GEE da produção e consumo industrial de energia, além das emissões relacionadas aos processos industriais não associadas à demanda energética. Os índices calculados também foram filtrados pelo filtro HP a fim de remover as variações cíclicas.

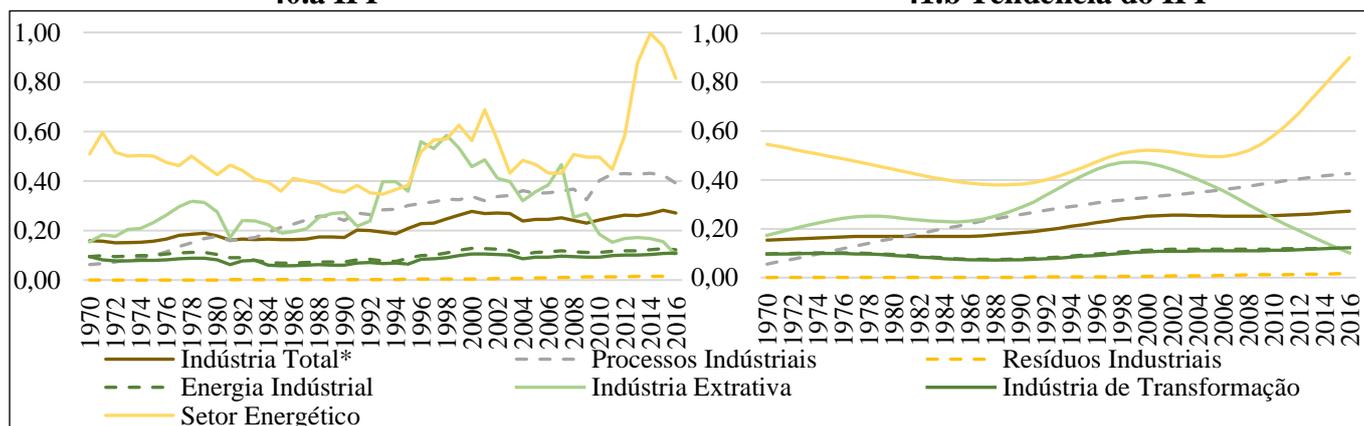
No GRÁFICO 11 se destaca o agravamento da eficiência energética do setor de modo geral: o índice que era de 0,1534 CO₂e/10³ US\$ em 1970 salta para 0,2721 no ano de 2016. Nota-se, contudo, acréscimos mais acentuados no IIP na década de 1990 explicado, sobretudo, pela contração do PIB da indústria em um período no qual as emissões de GEE totais aumentaram, de modo semelhante ao IIE. Nesse mesmo sentido, os resultados mais recentes são alarmantes para o cumprimento do Acordo de Paris. Apesar das emissões anuais diminuírem em 2015 e 2016, o PIB do setor recuou mais que proporcionalmente no mesmo período. Em consequência, apesar da redução da intensidade em 2015 e 2106 (GRÁFICO 36.a), a tendência (GRÁFICO 37.b) ainda apresenta inflexão positiva..

Nota-se ainda no GRÁFICO 38.b que um dos determinantes para o crescimento ininterrupto do índice foi o IIP relacionado aos processos industriais. Entretanto, as emissões relacionadas ao consumo de energia industrial apresentaram tendência de crescimento depois da década de 1990.

¹¹ Excetuando-se o início da década de 1980 e os anos de 2007 e 2008 a Indústria apresenta os maiores valores de PIB entre os setores da indústria de transformação

¹² O consumo energético do setor representava 4,63% do consumo total da indústria da transformação em 1970 e apenas 1,03% em 2016

GRÁFICO 39 – Intensidade Poluidora da Indústria (tCO₂e/10³ US\$ de PIB ppc)



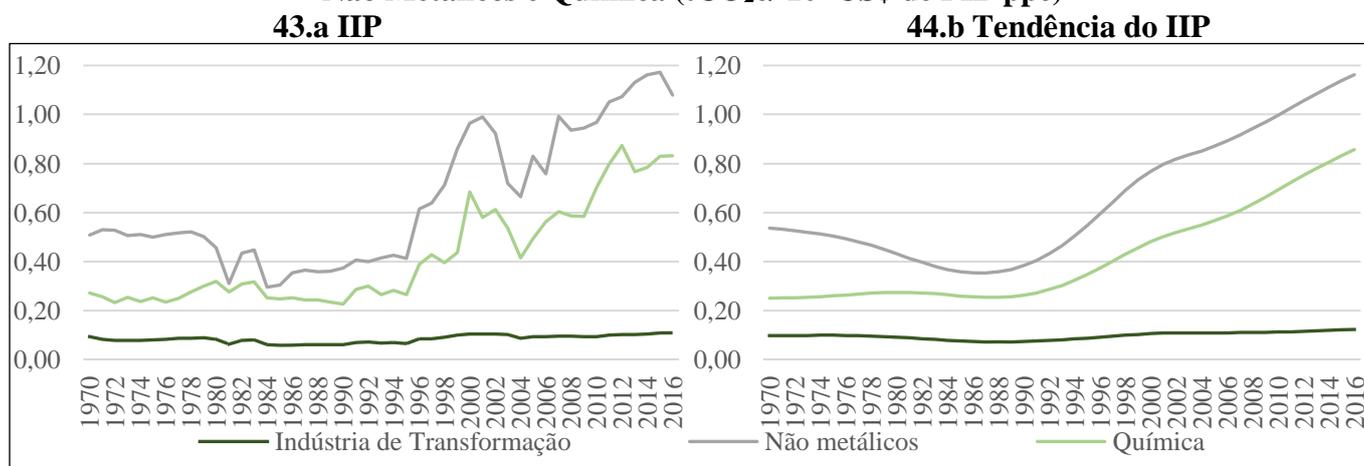
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017)

*Exclusive Setor Energético

Destaca-se, por fim, a intensidade poluidora do setor energético, sobretudo, no pós-crise de 2008. Assim como o IIE, o IIP apresentou significativa piora entre os anos de 2008 e 2016 com uma inflexão na trajetória de aumento na eficiência que perdurava desde o início do século. Já em 2009 o índice (0,5456 tCO₂e/ 10³ US\$) igualou pela primeira vez na série o índice de 1970 (0,5456) chegando a 0,9007 em 2016.

Tal qual o IIE, foram calculados adicionalmente os IIP do consumo energético para os subconjuntos da Indústria de Transformação e, para simplificar a análise gráfica, os subconjuntos foram divididos em três grupos. O primeiro conta com os setores de maior intensidade poluidora: as Indústria Química e de Produtos Minerais Não Metálicos. No segundo grupo estão as Indústrias Metalúrgica e de Papel e Celulose, com intensidade moderada. Finalmente, o terceiro grupo é composto pelas indústrias de Alimentos e Bebidas e Têxtil, assim como as Outras Indústrias.

GRÁFICO 42 – Intensidade Poluidora do consumo de Energia na Indústria de Transformação: Não Metálicos e Química (tCO₂e/ 10³ US\$ de PIB ppc)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017)

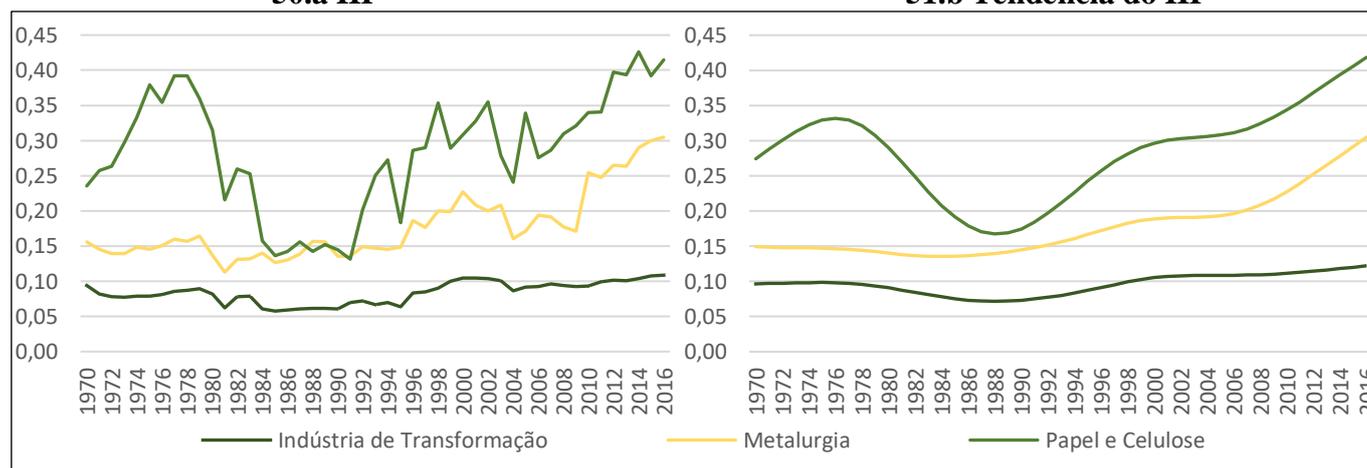
Os IIP das indústrias Química e de Produtos Minerais Não Metálicos (GRÁFICO 45) apresentam comportamentos relativamente similares ao longo do período de análise, destacando-se o intenso crescimento da tendência da intensidade poluidora a partir dos anos 1990 (GRÁFICO 46.b). O aumento da intensidade poluidora da indústria química esteve relacionado à retração do setor a partir da década de 1990 aliada a um crescimento médio anual das emissões. Assim, o índice salta de 0,2621 tCO₂e/ 10³ US\$ em 1990 para 0,8567 no ano de 2016. Ao contrário da indústria química, o setor de não metálicos experimentou

intensa redução na intensidade poluidora nas décadas de 1970 e 1980. O índice que era de 0,5366 em 1970 chega a 0,3530 em 1986 terminando a série, no entanto, em 1,1624. Assim, além de fazer parte do grupo de maior IIE o setor também apresenta maior IIP. É preponderante, para explicar a tendência de intensificação na poluição do setor as retrações sofridas pelo setor na década de 1990.

Assinala-se aqui que as indústrias que apresentaram os maiores índices e intensidade foram também as que apresentaram as menores taxas de crescimento anual do PIB no total do período, abaixo do crescimento do PIB da indústria total. Foram ainda as que apresentaram também as maiores taxas de crescimento nas emissões de GEE. Em tempo, as duas indústrias eram responsáveis por 41,74% (8,04 bilhões de tCO₂e) das emissões totais de GEE da indústria de transformação em 1970, participação que em 2016 chegou a 53,13% (33,22 bilhões de tCO₂e). Em termos de PIB a participação era de 10,23% em 1970 e 6,78% em 2016.

O grupo seguinte apresentou IIP finais próximos a metade dos índices do primeiro grupo e com trajetórias semelhantes, porém com maiores oscilações para a indústria de Papel e Celulose (GRÁFICO 47). Ao contrário da indústria de transformação, a indústria de Papel e Celulose (GRÁFICO 48b) demonstrou tendência de aumento na intensidade poluidora na década de 1970. Isto se explica pelo fato de que a indústria teve um crescimento inferior à da indústria de transformação ao passo que cresceu suas emissões em taxas similares. No entanto, durante a década de 1980 o IIP da indústria de papel e celulose sofreu uma queda acentuada guiada, sobretudo, pelas taxas de crescimento do PIB superiores às da indústria da transformação e do produto nacional. Como consequência, o índice que era de 0,2739 em 1970 e chegou a 0,3319 em 1976 caiu para 0,1675 em 1988. Já a partir da década de 1990 a trajetória do IIP do setor de papel e celulose assumiu constante crescimento, em que pese uma menor inflexão da curva para os anos 2000.

GRÁFICO 49 – Intensidade Poluidora do consumo de Energia na Indústria de Transformação: Metalurgia e Papel e Celulose (tCO₂e/ 10³ US\$ de PIB ppc)
50.a IIP **51.b Tendência do IIP**



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017)

Embora de forma mais tímida que a indústria de papel e celulose, a metalurgia também acompanhou a redução na intensidade poluidora experimentada pela indústria de transformação na década de 1980. Contudo, a partir dos anos 1990 a cadeia de produção metalúrgica apresentou crescimento no IIP mais acentuado que a indústria de transformação em geral, acompanhando a tendência do IIE do setor. Sobressai-se ainda o comportamento a partir do período pós-crise 2008: a partir de 2011 mesmo que as emissões de GEE tenham sido reduzidas além da taxa de redução da indústria de transformação, a retração do PIB da indústria metalúrgica fez com que o índice saltasse de 0,2082 tCO₂e/ 10³ US\$ em 2008 para 0,3050 em 2016.

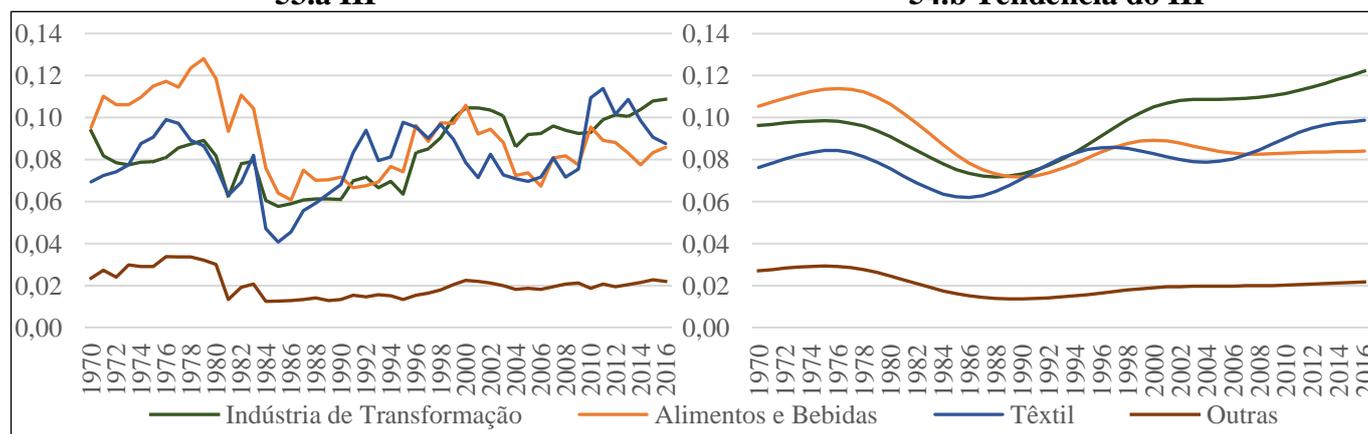
Percebe-se, portanto, que o aumento da intensidade poluidora da indústria de Papel e Celulose e da Metalurgia esteve relacionada a uma retração do PIB das indústrias no final do período, assim como no primeiro grupo. A taxa de crescimento média anual em todo o período das indústrias de Metalurgia e Papel

e Celulose foram inferiores ao total da indústria de transformação e superiores apenas às das empresas do grupo de maior intensidade poluidora. Destaca-se que a participação das indústrias do segundo grupo nas emissões totais da indústria de participação terminou a série com números muito próximos, 25,21% (4,85 bilhões de tCO_{2e}) em 1970 contra 26,29% (16,63 bilhões de tCO_{2e}) em 2016. Contudo, enquanto a participação do grupo no PIB da indústria de transformação representava 13,47% em 1970, em 2016 o grupo representava apenas 9,75%.

Por fim, o último grupo apresenta as indústrias que, ao final da série, exibiram IIP inferiores ao da indústria de transformação. Destaca-se que as emissões de GEE das indústrias do terceiro grupo somadas representavam 33,05% (6,36 bilhões de tCO_{2e}) das emissões da indústria de transformação em 1970 contra apenas 21,77% (13,88 bilhões de tCO_{2e}) em 2016. Ao mesmo tempo em que reduziram sua participação nas emissões, o grupo cresceu sua participação no PIB total do setor: de 76,30% em 1970 para 83,48% em 2016. Destaca-se, para esse resultado, o comportamento dos índices das indústrias de Alimentos e Bebidas e das Outras Indústrias, os únicos sub-setores da indústria de transformação que reduziram seus índices no total da série. O IIP da indústria de Alimentos e Bebidas era de 0,1053 tCO_{2e}/ 10³ US\$ em 1970 contra 8,0840 em 2016, embora tenha experimentado crescimento do volume de emissões total. Nas outras indústrias o comportamento foi semelhante: crescimento médio das emissões inferior ao aumento do PIB.

Contudo, a indústria de Alimentos e Bebidas se destaca por ser o único subsetor que apresentou crescimento no PIB entre 2011 e 2016. Por outro lado, a redução nas emissões do período foi ainda superior à da indústria de transformação. Assim sendo, ao contrário de todos os demais setores a indústria de Alimentos e bebidas não apresentou piora significativa no índice no período, com valores de 0,0834 tCO_{2e}/ 10³ US\$ em 2011 e 0,0840 em 2016. Muito embora também tenha apresentado redução nas emissões entre 2011 e 2016, a queda brusca no PIB das outras indústrias representou uma piora para o índice. Por fim, a indústria têxtil foi o único subsetor a diminuir suas emissões anuais entre 1970 e 2016. Contudo, dadas as sucessivas quedas no PIB desde a década de 1980, o IIP do setor que era de 0,0761 tCO_{2e}/ 10³ em 1970 atingiu a marca de 0,0988 em 2016.

GRÁFICO 52 – Intensidade Poluidora do consumo de Energia na Indústria de Transformação: Alimentos e Bebidas, Têxtil e Outras (tCO_{2e}/ 10³ US\$ de PIB ppc)
53.a IIP **54.b Tendência do IIP**



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017)

Analisando o IIE e o IIP para a indústria de transformação brasileiro, portanto, percebe-se uma convergência para uma piora na eficiência energética e aumento da quantidade de poluição por valor de produto na maior parte dos casos, de acordo com os resultados de Miketa (2007). Nota-se, ainda, que o aumento na intensidade energética e poluidora da indústria de transformação é agravado pelo fato de estar relacionado com a recente retração do PIB da indústria de transformação. O contexto do pós-crise de 2008 é, em linhas gerais, caracterizado por uma leve redução nas emissões que, em contrapartida, está associado a uma brusca queda no PIB do setor. Assim sendo, fica claro que a redução nas emissões de GEE relacionadas à energia industrial está associada a uma minoração do processo produtivo industrial e não a aplicação de tecnologias mais eficientes.

Este fato é corroborado pelo desempenho do setor de alimentos e bebidas, de baixa intensidade tecnológica, que foi o único setor a apresentar melhorias na intensidade poluidora. Contudo, ressalta-se como esperado pela literatura que uma redução na participação de setores poluentes no PIB possa levar a uma redução nas emissões totais. Embora isso não signifique um retorno ao nível de poluição inicial. Há que se ressaltar, ainda, que essa redução esteve atrelada não só a redução relativa do primeiro setor, como também à redução absoluta do PIB da indústria, o que não é esperado inicialmente. Portanto, verifica-se que as perspectivas da indústria brasileira não demonstram congruência com as metas estabelecidas no Acordo de Paris. Espera-se que a redução na emissão de GEE esteja ligada a processos produtivos mais limpos e não a uma queda na riqueza produzida.

CONCLUSÃO

O presente estudo acerca da eficiência energética da indústria brasileira verificou que, em geral, a quantidade necessária de energia para a produção aumentou entre os anos de 1970 e 2016, assim como o volume de emissão de GEE. Não obstante os resultados positivos para a indústria extrativa a partir do final dos anos 1990, sua reduzida participação nos números da indústria total acarreta em resultados negativos gerais norteados pela queda de desempenho da indústria de transformação. Além disso, destaca-se o desempenho negativo do setor energético nas duas análises, o que traz sérias complicações para o horizonte temporal da matriz energética nacional.

Não foi possível verificar, portanto, aumentos em termos de eficiência na utilização ou consumo de energia industrial previstos pela literatura. A diminuição relativa do impacto ambiental com o aumento da produção, igualmente, não pode ser comprovada através dessa análise. As eventuais reduções – tanto na demanda energética quanto nas emissões de GEE – se mostraram predominantemente relacionadas a contrações no produto ante melhorias técnicas que propiciassem tendência de incremento na eficiência. Dessa forma, os indícios encontrados apontam que a indústria nacional não aparenta reduzir as emissões no futuro considerando um esperado aumento no produto industrial.

Acrescenta-se a necessidade de estudos adicionais que abordem aspectos relacionados à produção física além do valor monetário da produção. Assim análises que agreguem a utilização de ferramenta econométrico que possibilite um diagnóstico mais robusto através de inferências probabilísticas, superando as limitações descritivas aqui realizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas Anuais de Emissão de Gases de Efeito Estufa**. 2ª edição, Brasília, DF, 2014. 190 p. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/Estimativasd.pdf/0abe2683-e0a8-4563-b2cb-4c5cc536c336>> Acesso em outubro de 2017
- BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada**. [s.l.]: [s.n.], 2015.
- EFCTC. **Global Temperature change Potential compared to Global Warming Potential**. EFCTC. [s.l.], p. 4. 2014. Disponível em: <https://www.fluorocarbons.org/wp-content/uploads/2014/06/efctc-factsheet_gtp.pdf> Acesso em dezembro de 2017
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEM) 2017: ano base 2016**. v.13, 2017 disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em maio de 2018
- EULER, A. M. C. O acordo de Paris e o futuro do REDD+ no Brasil. In: VICENTE, M. C. P. (.). **Mudanças climáticas: desafio do século**. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2016. p. 85-104.
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic Growth and the Environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/pdf/2118443.pdf>> Acesso em agosto de 2017
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. Cambridge: NBER, 1991. (Working paper n. 3914). Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/6853464.pdf>> Acesso em agosto de 2017

- JACOBI, P. R. Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 2, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v31n2/a07v31n2.pdf>> Acesso em agosto de 2017
- KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review**, v. 45, p. 1-28. 1955.
- MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, J., BEHRENS III, W. **Limits to growth**. Nova York: Universe Books, 1972.
- MIKETA, Asami. Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries. **Energy Policy**, v. 29, n. 10, p. 769-775, 2001.
- MOTTA, R. S. da; ARAUJO, J. L. Decomposição dos efeitos de intensidade energética no setor industrial brasileiro. Rio de Janeiro. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 19, n. 1, p. 113-131, 1989.
- MONZONI, M. **Contribuições para análise da viabilidade econômica da implementação do Plano ABC e da INDC no Brasil: resumo executivo**. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas. São Paulo, p. 14. 2016.
- MUELLER, C. C. **Os economistas e as inter-relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: NEPAMA, Universidade de Brasília, v. 5, 2004.
- OC - OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa(SEEG)**. 2017 v. 5.0. disponível em < <http://seeg.eco.br/tabela-geral-de-emissoes/>> Acesso em janeiro de 2018
- SUN, JiWu. Three types of decline in energy intensity—an explanation for the decline of energy intensity in some developing countries. **Energy Policy**, v. 31, n. 6, p. 519-526, 2003.

ANEXO 1 – Categorias consideradas da classificação das emissões de GEE por setores de atividade econômica

Setor	Categoria
Energia	Geração de eletricidade - Setor Energético Industrial Produção de Combustíveis
	Agropecuária*
	Comercial*
	Público*
	Residencial*
	Transporte*
	Outros Usos*
Processos Industriais	Produtos Minerais Produção de Metais Uso não energético de combustíveis e solventes Indústria Química Emissões de Hidrofluorcarbonetos (HFCs) Uso de Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)
	Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais Incineração de Resíduos Sólidos Industriais - RSI
	Resíduos
	Tratamento e afastamento de Efluentes Líquidos Domésticos* Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde – RSS* Disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos –RSU*

Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG (OC, 2017)

* setores não incluídos por não estarem relacionados à atividade industrial

ANEXO 2 – Classificação de atividades econômicas por Categorias do BEN 2017 e subcategorias do Setor de Energia do SEEG

	Categorias BEN	Subcategorias SEEG
Industria de Transformação	Alimentos e Bebidas	Alimentos e Bebidas
	Não Metálicos	Cerâmica
		Cimento
	Metalurgia	Ferro Gusa e Aço
		Ferro-ligas
		Não Ferrosos e Outros da Metalurgia
	Papel e Celulose	Papel e Celulose
	Química	Química
Têxtil	Têxtil	
Outras Indústrias	Outras Indústrias*	
Indústria Extrativa		Mineração e Pelotização
Setor Energético		Geração de Eletricidade
		Exploração de Petróleo e Gás
		Produção de Álcool
		Produção de Carvão Mineral
		Produção de Carvão Vegetal
		Refino de Petróleo
		Transporte de Gás Natural

Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG/OC (2017/V5.0), BNE (2007) e IBGE

*Corresponde a: mecânica, materiais elétricos e comunicação, materiais de transporte, madeira, mobiliário, borracha, farmacêutica, perfumaria, sabões e velas, produção de matérias plásticas, fumo, construção e diversos