



CLIMATE POLICY INITIATIVE

NÚCLEO DE AVALIAÇÃO
DE POLÍTICAS CLIMÁTICAS
PUC-Rio

Desafios da Eficiência Energética na Indústria

Juliano Assunção

Climate Policy Initiative (CPI) & Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas da PUC-Rio (NAPC/PUC-Rio), Departamento de Economia da PUC-Rio

juliano.assuncao@cpirio.org

Amanda Schutze

Climate Policy Initiative (CPI) & Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas da PUC-Rio (NAPC/PUC-Rio)

amanda.schutze@cpirio.org

Sara Brolhato

Departamento de Economia da PUC-Rio

sarabrolhato@gmail.com

Agosto 2018

Agradecimentos

Isabela Salgado, Maria Mittelbach e Rhayana Holz realizaram ótimo trabalho de assistência de pesquisa.

Sumário

1. Introdução.....	3
2. Dados	5
3. Eficiência Energética e Eficiência Produtiva da Indústria Brasileira.....	6
4. Decompondo a Eficiência Energética e a Eficiência Produtiva.....	7
5. Eficiência Energética e Eficiência Produtiva da Firma Típica	8
6. Indicadores de Qualidade Alocativa da Eficiência Energética (IQA _E) e da Produtividade (IQA _P)	11
7. Ganho Potencial de Eficiência sobre a Produção.....	14
8. Referências.....	19
ANEXO 1 – 106 setores industriais estudados.....	21
ANEXO 2 – Como calcular os IQAs?	23
ANEXO 3 – Como calcular os ganhos potenciais de produtividade?.....	25
ANEXO 4 – Robustez: Os resultados não dependem da medida de produtividade.....	29

1. Introdução

O consumo racional de eletricidade é um dos caminhos para o desenvolvimento sustentável do Brasil nos próximos anos. No caso da indústria, a eficiência energética (EE) consiste em manter – ou até aumentar – os níveis de produção ao mesmo tempo em que se diminui o consumo de energia. A redução do consumo de eletricidade tem o potencial de estimular a produtividade e a competição das firmas, além de reduzir as externalidades ambientais negativas relacionadas à sua produção.

Este relatório tem por objetivo avaliar a dinâmica do setor industrial brasileiro em relação à eficiência energética e à eficiência produtiva com base em uma vertente de estudos econômicos recentes, que caracterizam como a alocação eficiente de recursos (capital, trabalho, eletricidade, etc.) afetam produtividade. Desta forma, indicadores são desenvolvidos para avaliar a eficiência na utilização de insumos e o potencial para ganhos produtivos. A análise é realizada a partir de dados anuais ao nível da planta industrial, abrangendo 106 setores das indústrias extrativas e de transformação, no período de 2003 a 2015.

Na primeira parte do trabalho, a decomposição de Olley e Pakes (1996) é utilizada para investigar a evolução da eficiência energética e eficiência produtiva. Nessa decomposição, as medidas de eficiência são separadas em dois fatores: a eficiência da firma típica, que caracteriza a eficiência na utilização de recursos dentro da firma; e o Indicador de Qualidade Alocativa (IQA), que mede a eficiência de alocação de recursos entre as firmas do mesmo setor. A análise da evolução de cada componente permite uma avaliação de diferentes aspectos da eficiência na alocação de recursos. Por exemplo, mudanças nas condições do ambiente econômico (tecnologia, financiamento, instituições, política pública) podem promover maior eficiência via melhoria na utilização de recursos dentro das firmas (eficiência da firma típica) ou pela maior participação de mercado das firmas mais eficientes (IQA).

Na segunda parte, a metodologia de Hsieh e Klenow (2009) é utilizada para a construção de exercícios de simulação sobre o impacto produtivo de diferentes cenários de melhoria na utilização de recursos. Dada uma realocação dos insumos produtivos entre firmas, ou seja, do capital, trabalho e eletricidade, a produtividade total dos fatores (TFP) do Brasil poderia alcançar ganhos de 81% em 2015. Quando consideramos que não existe distorção no uso do capital em relação ao trabalho, os ganhos potenciais obtidos com a realocação dos fatores são de apenas 15%, enquanto na ausência de distorção apenas sobre eletricidade o ganho potencial é estimado em 76%. Desta forma, as distorções de capital se provam mais relevantes na explicação dos ganhos potenciais da realocação do que as distorções do uso da eletricidade.

Os resultados não apenas mostram o potencial econômico da agenda de eficiência energética no Brasil como também ilustra alguns de seus desafios. Primeiro, eficiência energética e eficiência produtiva na indústria brasileira estão relacionadas, ou seja, os desafios de

promoção da eficiência no Brasil estão alinhados a questões mais amplas sobre a produtividade do setor. Segundo, apesar das condições do ambiente econômico propiciarem uma maior eficiência das firmas típicas, essas condições têm reduzido a participação de mercado das firmas mais eficientes. No período analisado, a queda observada no IQA sugere que as firmas mais eficientes (sob a ótica energética ou produtiva) estão perdendo espaço. A promoção de eficiência energética precisa reverter esse processo. Por fim, na perspectiva do setor, melhor alocação de capital gera maiores ganhos produtivos que melhorias na eficiência energética. Dessa forma, para que a agenda de eficiência energética, que tem benefícios sociais mais amplos que os benefícios privados, seja efetiva, é necessário um trabalho de convencimento e estímulo ao setor.

Essa análise torna-se ainda mais essencial tendo em vista que, apesar da preocupação do governo brasileiro em promover a eficiência energética¹, os avanços obtidos no país em comparação ao resto do mundo mostram que ainda há um longo caminho para se alcançar níveis ótimos de uso da energia. Como apresentado pelo Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente, o país encontra-se na 20^a posição em um ranking de 25 países avaliados em relação às suas políticas e esforços para promoção da EE (ACEEE, 2018).²

No relatório *Panorama da Eficiência Energética no Brasil* (Assunção e Schutze (2017)), os autores mostram que o setor residencial tem sido o principal foco dos programas e financiamentos disponíveis no país. As políticas de eficiência energética têm ocorrido principalmente de forma reativa a choques na oferta de energia, ao invés de ser parte de um planejamento energético de longo prazo. Logo, restam poucos incentivos para a redução do consumo de eletricidade das firmas brasileiras. Como principal consumidor de energia no país³, no entanto, a indústria tem um enorme potencial para a expansão de medidas de EE.

A experiência internacional também tem apontado dificuldades na realização dos ganhos de eficiência energética. A baixa adoção de equipamentos energeticamente eficientes e os níveis subótimos de investimento estão associados a uma série de barreiras, como concentração de mercado e altos custos ou informação imperfeita, os quais impedem a exploração completa dos potenciais de conservação de energia (Gerarden et al. (2017), Allcot e Greenstone (2012), Häckel et al. (2017)).

Consumidores – firmas, domicílios etc. –, muitas vezes, não estão dispostos a pagar mais por produtos mais eficientes, pois não conhecem realmente quais serão os retornos de tais medidas, levando a um menor aproveitamento das oportunidades de conservação de energia

¹ A EE faz parte dos compromissos ambientais firmados pelo país através da sua Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contribution* – NDC).

² The 2018 International Energy Efficiency Scorecard (ACEEE, 2018).

³ 33% do consumo total em 2016 (EPE, 2017).

(Allcot e Greenstone (2012)). Restrições de acesso a crédito enfrentadas por pequenas e médias firmas, além de fatores ligados ao bom desempenho das firmas e características setoriais e regionais também têm impedido que os potenciais de eficiência energética sejam alcançados (DeCanio e Watchkins (1998), Fleiter et al. (2012), Ryan (2016), Davis et al. (2018)).

Este relatório desenvolve, portanto, uma série de exercícios econômicos com o intuito de analisar de que maneira a eficiência da alocação energética está relacionada à produtividade das empresas na indústria brasileira e seus efeitos sobre o produto agregado. A primeira seção apresenta a trajetória da EE e da produtividade na indústria brasileira ao longo dos últimos anos. As seções seguintes decompõem e detalham esses resultados. Já a última seção consiste na análise dos ganhos potenciais da indústria dada uma alocação eficiente dos recursos.

2. Dados

A principal fonte de dados utilizada é a Pesquisa Industrial Anual (PIA), realizada anualmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A PIA tem como objetivo coletar informações básicas acerca da atividade industrial no Brasil, como número de trabalhadores e valor da produção. A amostra para estimação dos dados é dividida em dois tipos: o estrato amostrado e estrato certo. O estrato certo é formado pelas firmas que ocupam 30 ou mais pessoas e/ou que auferiram, no ano anterior de referência da pesquisa, uma receita bruta proveniente das vendas de produtos e serviços industriais superior a um corte⁴ estipulado a cada ano. Apenas as firmas incluídas na amostra de estrato certo foram consideradas neste trabalho, uma vez que elas contêm informações mais detalhadas sobre os insumos utilizados para a produção, como o gasto com eletricidade.

Os dados utilizados são de 2003 a 2015, incorporando os setores da indústria extrativa e de transformação. As variáveis disponíveis incluem os setores (CNAE⁵ de três dígitos), número de trabalhadores em 31 de dezembro, remuneração do trabalho (inclui salários, bônus, benefícios e contribuições previdenciárias), valor adicionado, gasto com energia elétrica⁶ e valor contábil do capital (estimado pelo método de inventário permanente). Os valores monetários foram deflacionados usando o deflator IPA-OG da FGV a três dígitos da CNAE.

⁴ Na pesquisa de 2008 também entravam no extrato certo as empresas que tinham Receita Bruta, em 2007, superior a R\$8,5 milhões. Já na pesquisa de 2015 esse valor passou a ser R\$ 12.8 milhões.

⁵ A CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas), versão 2.0 é a classificação oficialmente adotada pelo Sistema Estatístico Nacional e pelos órgãos federais gestores de registros administrativos.

⁶ As observações que relatam consumo de energia elétrica abaixo de R\$30,00 foram deletadas, já que o valor mínimo cobrado pelos distribuidores de energia elétrica, estabelecido pela Resolução Normativa 414/2010 é de 30kW.

A base de dados final é composta por cerca de 30.000 firmas a cada ano distribuídas em 106 setores (listados no Anexo 1). Não foram incluídos 5 setores com menos de 200 observações no período considerado.⁷ A Tabela 1 detalha o número de firmas incluídas para cada ano da amostra.

Tabela 1 – Número de Observações por Ano

Número de Observações por Ano					
Ano	2003	2004	2005	2006	2007
Nº de Firmas	23.749	24.794	26.562	27.872	27.604
Ano	2008	2009	2010	2011	2012
Nº de Firmas	29.508	29.943	30.753	32.520	32.718
Ano	2013	2014	2015	Total	
Nº de Firmas	32.139	32.240	29.765	380.167	

Fonte: *Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)*

3. Eficiência Energética e Eficiência Produtiva da Indústria Brasileira

Esta seção apresenta a evolução da eficiência energética e produtiva da indústria brasileira. A eficiência energética das firmas é definida como o valor adicionado dividido pelo gasto com eletricidade e a eficiência produtiva corresponde ao valor agregado da firma dividido pelo número de trabalhadores. Essa medida de eficiência energética – produto gerado pela firma em relação ao uso ou gasto de energia – é amplamente adotada na literatura sobre energia, como em Allcott e Greenstone (2012), e pela Agência Internacional de Energia (IEA (2017)). Medidas equivalentes de produtividade também podem ser encontradas em Bartelsman et al. (2013) e McMillan e Rodrik (2011).

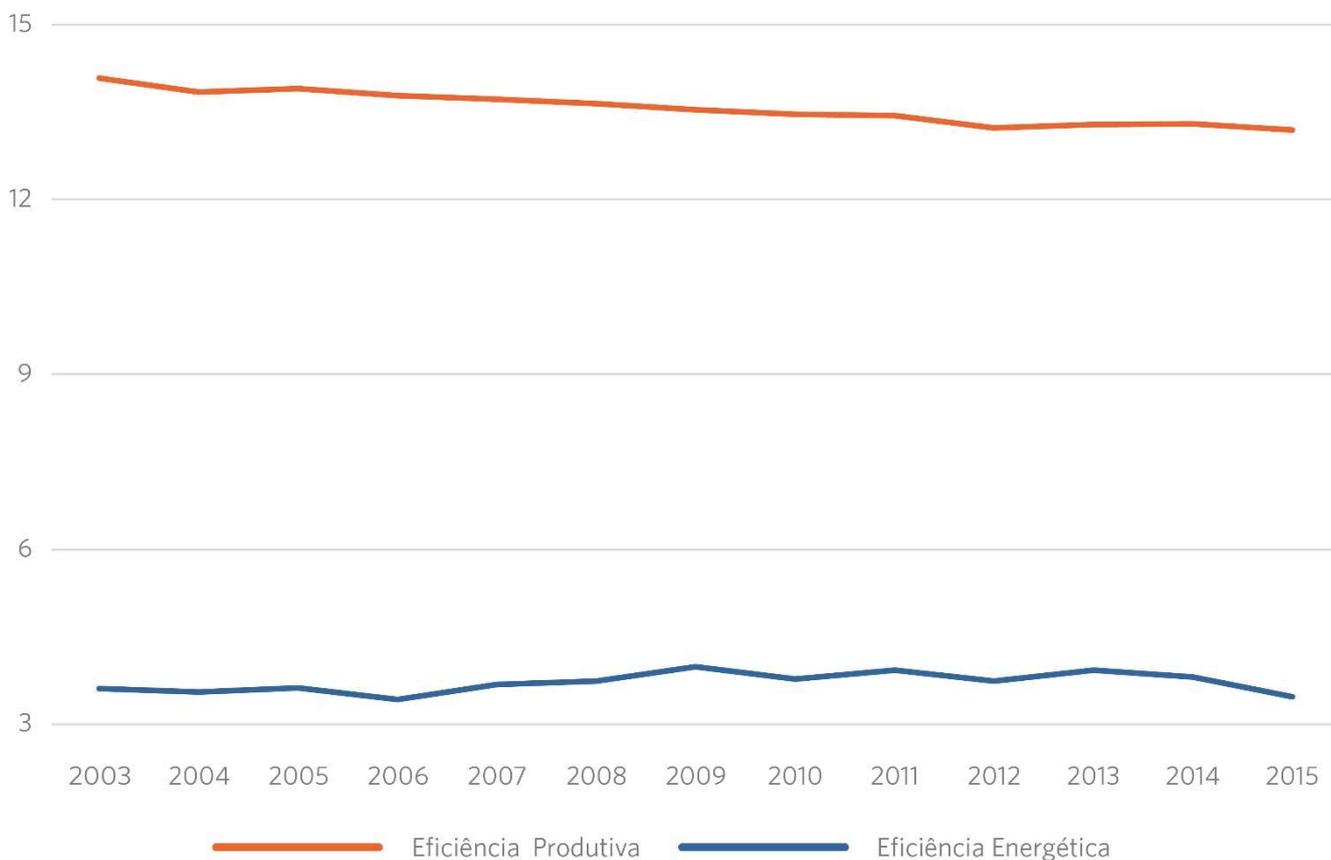
Com base nos dados para os 106 setores pertencentes à indústria extrativa e de transformação, foram calculadas a eficiência no uso da energia elétrica e a produtividade das firmas brasileiras entre os anos de 2003 e 2015. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1:

É possível observar que não houve grandes mudanças quanto à eficiência energética e produtiva na indústria durante esse período. Isso não significa, no entanto, que as firmas foram produtivas ou fizeram uso da eletricidade sempre da mesma maneira ao longo desses anos.

⁷ Esses setores são: Extração de petróleo e gás natural, atividades de apoio à extração de minerais (exceto petróleo e gás natural), coquearias, fabricação de mídias virgens, magnéticas e ópticas, fabricação de veículos militares de combate.

Torna-se necessário, portanto, entender os componentes que determinam a eficiência energética e produtiva da indústria.

Figura 1 – Evolução da Eficiência Energética e Produtiva da Indústria Brasileira (2003-2015)



Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)

4. Decompondo a Eficiência Energética e a Eficiência Produtiva

Olley e Pakes (1996) desenvolveram um método de decomposição com o objetivo de distinguir os fatores que levaram às mudanças nos níveis de produtividade da indústria americana ao longo das décadas de 1970 e 1980. Aplicando esta metodologia, é possível identificar os fatores por trás das tendências apresentadas para a eficiência energética e a produtiva na indústria brasileira (para maiores detalhes, ver Anexo 2).

A eficiência energética (e) de determinado setor pode ser decomposta em duas partes:

1. a eficiência energética da firma típica \bar{e} (equivalente à média não ponderada da eficiência energética das firmas);

2. o Indicador de Qualidade Alocativa da Eficiência Energética – IQA_E , (que indica se as firmas mais eficientes são as que têm maior participação no valor adicionado produzido no setor).

Quanto maior a eficiência energética da firma típica e quanto maior a participação das firmas mais energeticamente eficientes no produto total do setor, maior a eficiência energética do setor.

A produtividade (θ) de determinado setor também pode ser decomposta em duas partes: a produtividade da firma típica ($\bar{\theta}$) e o Indicador de Qualidade Alocativa da Produtividade (IQA_P), que mostra se as firmas mais produtivas são as que tem maior participação no valor adicionado produzido no setor. Quanto maior a eficiência produtiva da firma típica e quanto maior a participação das firmas mais eficientes no produto total do setor, maior a produtividade do setor.

A evolução da eficiência energética (e) e eficiência produtiva (θ) agregadas e suas decomposições para a indústria brasileira ao longo do tempo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Evolução e decomposição da Eficiência Energética e da Eficiência Produtiva

	Eficiência Energética			Eficiência Produtiva		
	Eficiência Energética (e)	Eficiência Energética da Firma Típica (\bar{e})	IQA_E	Eficiência Produtiva (θ)	Eficiência Produtiva da Firma Típica ($\bar{\theta}$)	IQA_P
2003	3,61	2,86	0,75	14,08	11,69	2,39
2004	3,55	2,84	0,71	13,84	11,60	2,24
2005	3,62	2,80	0,82	13,90	11,59	2,32
2006	3,42	2,83	0,59	13,78	11,60	2,18
2007	3,67	2,91	0,77	13,72	11,61	2,11
2008	3,74	3,04	0,70	13,64	11,64	2,01
2009	3,98	3,07	0,91	13,54	11,59	1,95
2010	3,77	3,18	0,59	13,46	11,65	1,82
2011	3,92	3,23	0,69	13,44	11,65	1,79
2012	3,74	3,29	0,45	13,22	11,61	1,61
2013	3,92	3,41	0,51	13,28	11,65	1,63
2014	3,81	3,37	0,44	13,30	11,66	1,65
2015	3,47	3,02	0,45	13,19	11,63	1,56

Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)

Pode-se perceber, mais uma vez, que tanto a eficiência energética quanto a eficiência produtiva não variam muito ao longo dos anos. Já as eficiências energéticas e produtivas da firma típica apresentam tendência de crescimento, o que pode estar associado a condições mais favoráveis no ambiente econômico. Apesar disso, o IQA_E e o IQA_P diminuem entre 2003 e 2015. Ou seja, apesar da melhoria das firmas típicas, a queda nos IQAs representam aumentos nas distorções setoriais, em que firmas menos eficientes aumentaram sua participação no produto total de certos setores. Esses efeitos parecem se anular, resultando no comportamento constante dos níveis agregados.

5. Eficiência Energética e Eficiência Produtiva da Firma Típica

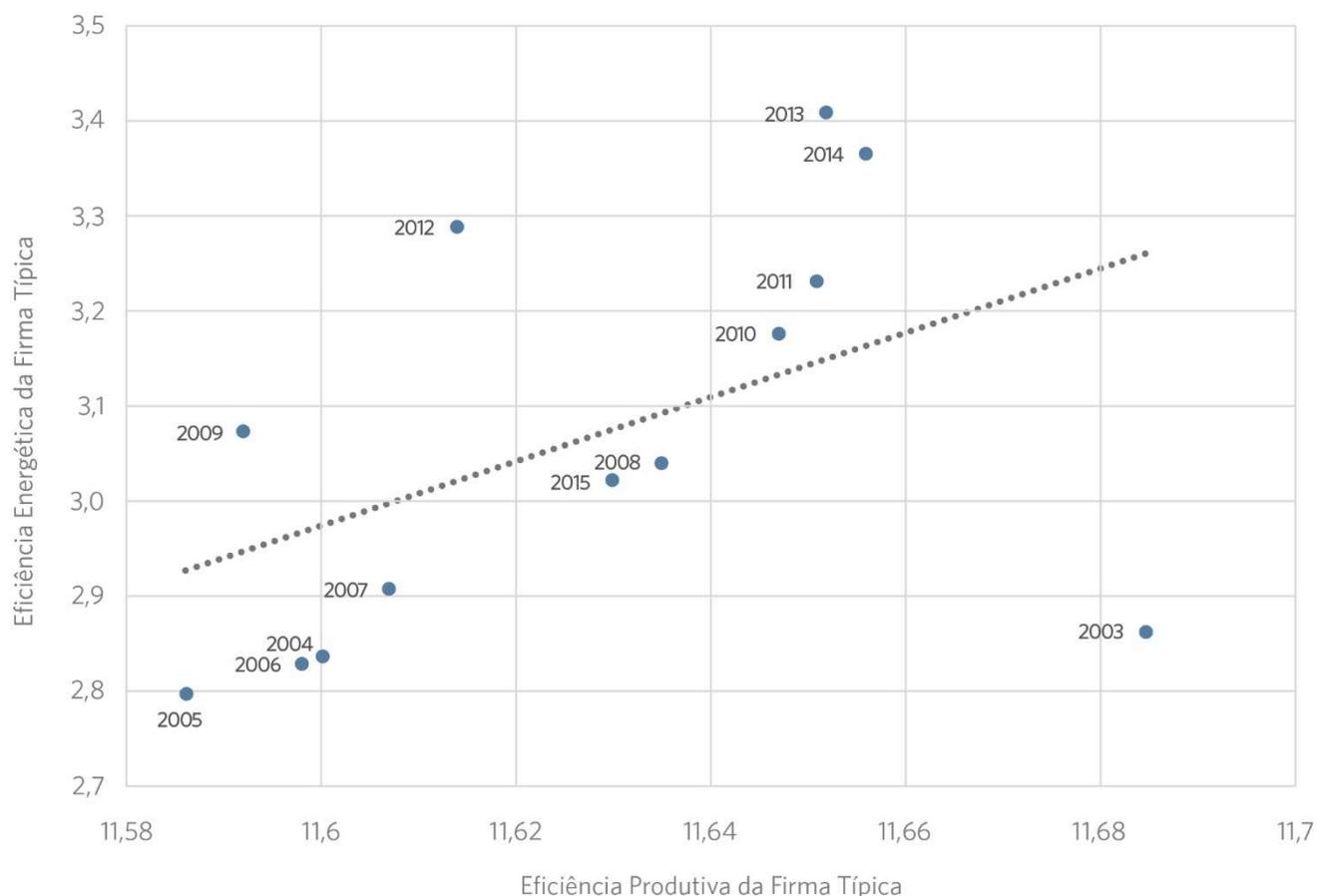
As medidas de eficiência energética e de eficiência produtiva da firma típica são obtidas a partir do cálculo da média simples desses valores para cada setor industrial. Isto é, qual é o nível médio de eficiência observado sem considerar as participações das firmas no produto adicionado do setor.

Na Figura 2, pode-se perceber uma relação positiva entre a eficiência energética (\bar{e}) e a eficiência produtiva ($\bar{\theta}$) da firma típica para a economia agregada. Esse resultado está de acordo com as evidências de que a eficiência energética é um determinante de produtividade das firmas, uma vez que o uso mais eficiente dos recursos energéticos influencia as decisões de alocação de outros insumos (Ryan (2016)).

Entre 2004 e 2014, ocorre uma melhora tanto da eficiência energética como da produtividade da firma típica. Apesar de uma melhora no valor de \bar{e} nesse período, houve uma significativa piora no uso de eletricidade da firma típica no ano de 2015.

Além disso, observou-se que há uma grande concentração quanto ao consumo de eletricidade na indústria brasileira. Dentre os 106 setores analisados, apenas 11 representam, conjuntamente, cerca de 50% dos gastos totais com eletricidade: Metalurgia dos metais não ferrosos; abate e fabricação de produtos de carne; fabricação de produtos químicos inorgânicos; siderurgia; fabricação de produtos de material plástico, fabricação de peças e acessórios para veículos automotores; fabricação de cimento; extração de minério de ferro; fabricação de produtos químicos orgânicos; tecelagem, exceto malha; e fabricação de papel, cartolina e papel-cartão.

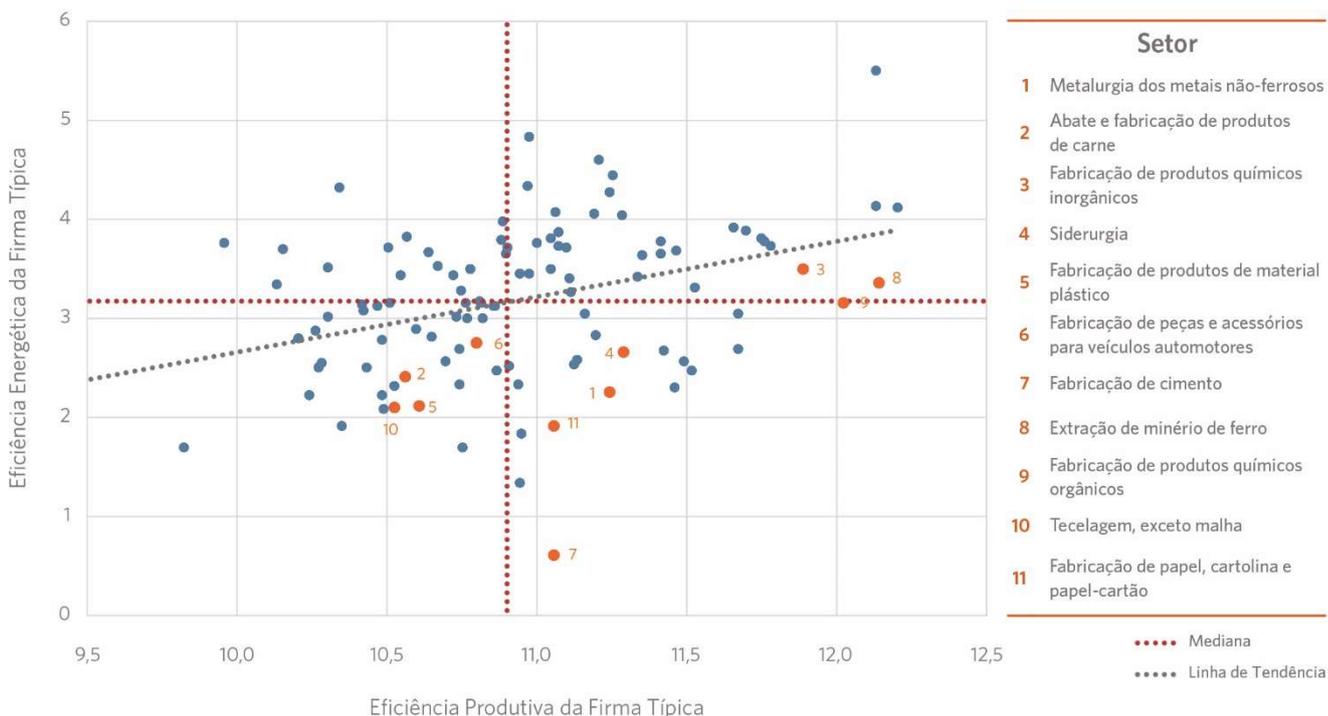
Figura 2 – Eficiência Energética e Eficiência Produtiva da Firma Típica (2003-2015)



Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)

A Figura 3 mostra a relação entre as eficiências energéticas e produtivas da firma típica para os 106 setores e suas medianas no ano de 2015 e onde estão os 11 setores com maior gasto de eletricidade. Apesar da tendência positiva entre as duas medidas, há setores como os de fabricação de cimento, metalurgia e fabricação de papel, cartolina e papel-cartão que apresentam um nível de eficiência energética baixo em comparação à sua produtividade. Ou seja, as firmas típicas desses setores são mais produtivas que a mediana da indústria, porém são menos eficientes no uso da eletricidade que a mediana da indústria.

Figura 3: Relação entre as eficiências energéticas e produtivas da firma típica e suas medianas para os setores em 2015



Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)

6. Indicadores de Qualidade Alocativa da Eficiência Energética (IQA_E) e da Produtividade (IQA_P)

Aplicando a metodologia de Olley e Pakes (1996) para os dados ao nível da firma no Brasil, foram criadas duas medidas de alocação para os setores industriais, uma em relação à produtividade e outra à eficiência energética.

Os Indicadores de Qualidade Alocativa da Eficiência Energética (IQA_E) e de Qualidade Alocativa da Produtividade (IQA_P) para cada setor s são definidos da seguinte maneira:

$$IQA_{ES} = \sum_{i=1}^{M_s} (\varphi_{si} - \bar{\varphi}_s)(e_{si} - \bar{e}_s)$$

$$IQA_{PS} = \sum_{i=1}^{M_s} (\varphi_{si} - \bar{\varphi}_s)(\theta_{si} - \bar{\theta}_s)$$

- φ_{si} é a participação da firma i no valor adicionado do setor s e $\bar{\varphi}_s$ é a participação média das firmas no setor industrial s .

- e_{si} é a eficiência energética da firma i pertencente ao setor s e \bar{e}_s é a eficiência energética da firma típica no setor s .
- θ_{si} é a eficiência produtiva da firma i pertencente ao setor s e $\bar{\theta}_s$ é a eficiência produtiva da firma típica no setor s .
- M_s é o número de firmas no setor s .

O IQA_E é, portanto, uma medida do grau de dependência numérica entre a eficiência energética e a participação das firmas dentro de um setor. Quanto maior esse indicador, maior a participação das firmas mais energeticamente eficientes no valor adicionado total do setor e, portanto, maior a eficiência energética do setor.

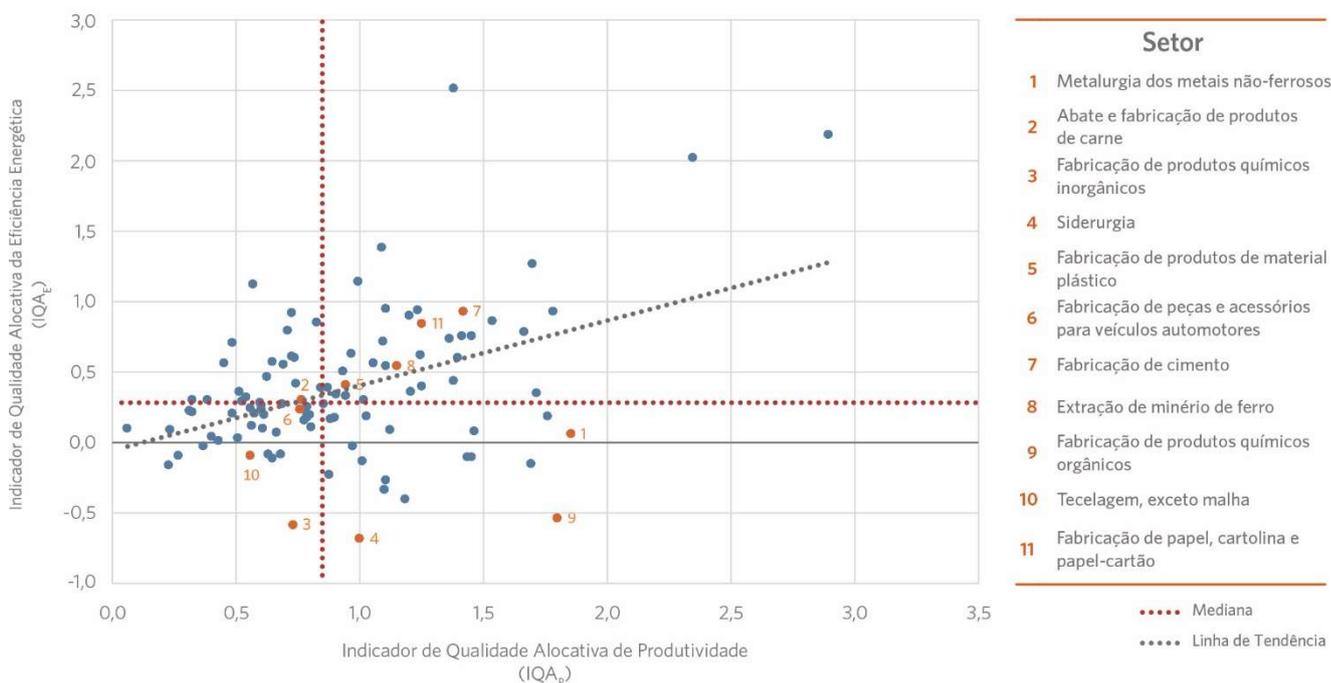
Já o IQA_P é uma medida do grau de dependência numérica entre a eficiência produtiva e a participação das firmas dentro de um determinado setor. Quanto maior esse indicador, maior a participação das firmas mais eficientes no valor adicionado total do setor e, portanto, maior a produtividade do setor.

Ao calcular os valores do IQA_E e IQA_P para 106 setores pertencentes à indústria extrativa e de transformação, também é possível observar uma relação positiva entre os dois indicadores. Isto é, setores com melhores alocações de eficiência energética são os que também possuem melhores alocações de produtividade.

A Figura 4 mostra a relação entre os Indicadores de Qualidade Alocativa da Eficiência Energética (IQA_E) e de Qualidade Alocativa da Produtividade (IQA_P) para os 106 setores e suas medianas no ano de 2015 e onde estão os 11 setores com maior gasto de eletricidade. Os setores de metalurgia dos metais não-ferrosos; siderurgia; e fabricação de produtos químicos orgânicos possuem um IQA_E baixo proporcionalmente ao seu IQA_P. Isso significa que, apesar de firmas produtivas terem uma maior participação nesses setores em relação a mediana do setor, isso não é verdade para as firmas mais eficientes em termos energéticos.

Setores de fabricação de cimento; fabricação de papel, cartolina e papel-cartão; extração de minério de ferro; e fabricação de produtos de material plástico apresentam valores altos – maiores que a mediana dos setores – tanto para seus IQA_E quanto IQA_P. Ou seja, nesses setores, firmas mais eficientes quanto ao uso de eletricidade e mais produtivas possuem maior participação. Por outro lado, os setores de fabricação de produtos químicos inorgânicos; tecelagem, exceto malha; e fabricação de peças de veículos automotores são caracterizados por baixa participação de firmas eficientes e produtivas no seu valor adicionado total.

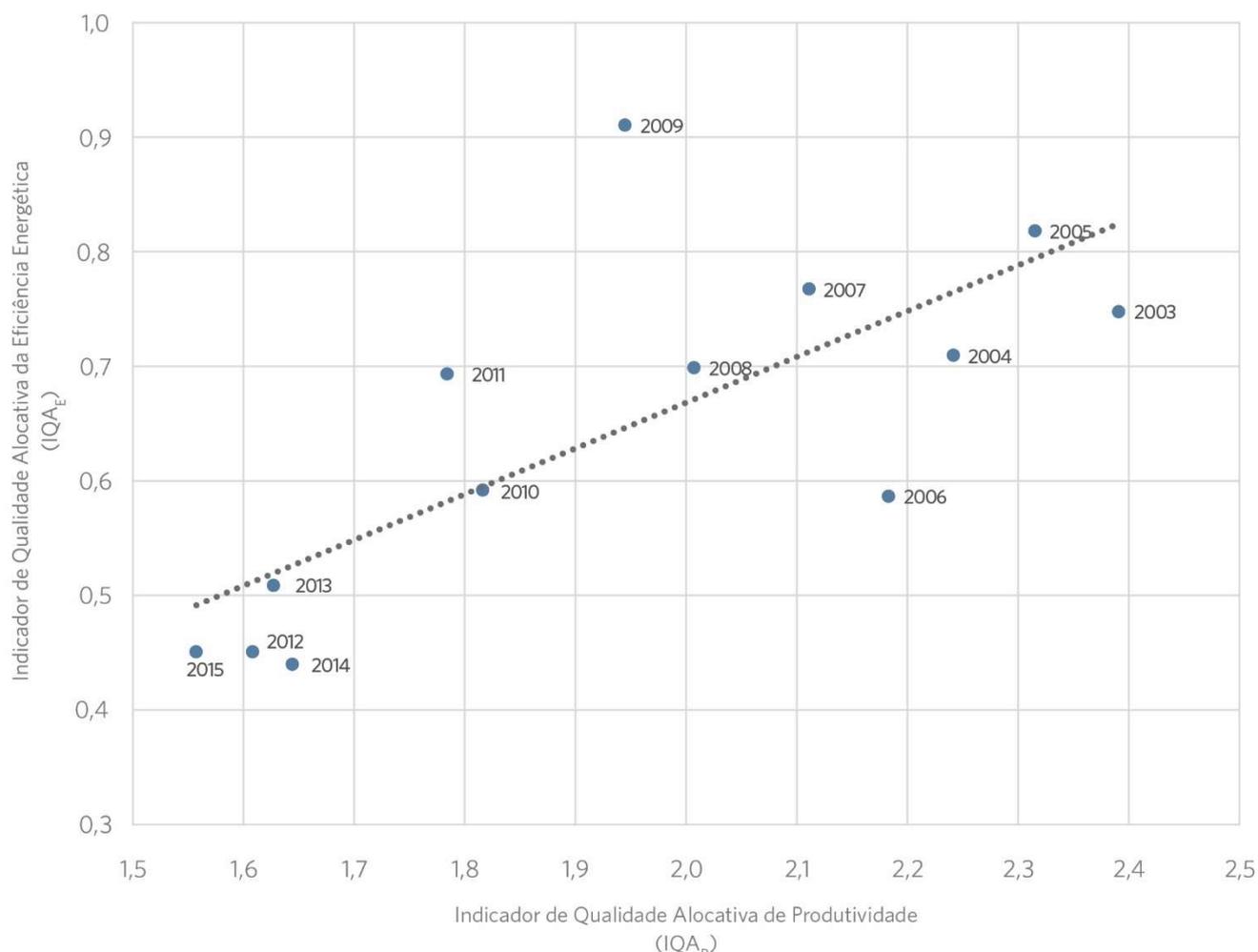
Figura 4 – Relação entre os indicadores IQA_E e IQA_P e suas medianas para setores em 2015



Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)

Na Figura 5, percebe-se que a relação positiva entre IQA_E e IQA_P para a indústria como um todo se mantém em todos os anos, de modo que ambos diminuem entre 2003 e 2015. Neste período ocorre uma realocação da produção de firmas mais produtivas para as menos produtivas e uma realocação da produção de firmas mais eficientes na utilização da eletricidade para as menos eficientes. Desta forma, ao longo do tempo a participação das firmas mais produtivas e mais eficientes no produto total da indústria brasileira diminuiu.

Figura 5 – IQA_E e IQA_P agregados por ano (2003-2015)



Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)

7. Ganho Potencial de Eficiência sobre a Produção

Tendo em vista a relação positiva entre os níveis de produtividade física e eficiência energética nos setores industriais, foi realizado um último exercício, em que é medido quanto poderia ser aumentado da produtividade total dos fatores da indústria brasileira caso os recursos das firmas menos eficientes fossem realocados para as mais eficientes.

A produção industrial é afetada por decisões internas às firmas sobre escolhas de insumos e também por alocações de fatores de produção entre as firmas. As evidências econômicas mostram que, muitas vezes, as escolhas de alocação por parte das firmas dependem de fatores externos. Determinadas políticas, como regulações sobre produtos ou mercados de trabalho, fricções financeiras, subsídios e restrições tarifárias, alteram os preços cobrados sobre os insumos produtivos das firmas, resultando em uma alocação não eficiente dos recursos. Dada as diferenças de produtividade de firmas pertencentes a um mesmo setor

industrial, a má alocação de recursos entre elas irá gerar queda nos níveis de produção do setor, o que por sua vez afetará negativamente a produtividade agregada da economia (Restuccia e Rogerson (2008), Hsieh e Klenow (2009), Bartelsman et al. (2008), Buera et al. (2008)).

Hsieh e Klenow (2009) elaboraram um modelo que se tornou seminal na literatura de alocação e produtividade. Eles partem da hipótese de que, em uma economia com alocação eficiente de recursos, os produtos marginais (quanto se gera de produto quando se adiciona uma unidade de insumo) devem ser iguais entre todas as firmas em um mesmo setor. Isso quer dizer que firmas mais produtivas receberiam maior alocação de recursos, ou seja, não há má alocação. Logo, é possível calcular o nível eficiente de produto dentro de uma economia – ou setor industrial – e compará-lo com o valor real observado, atribuindo qualquer diferença ao efeito negativo da má alocação de recursos sobre a produtividade (para maiores detalhes ver o Anexo 3).

Neste relatório, a modelagem proposta por Hsieh e Klenow (2009) foi expandida de modo a considerar a energia elétrica como um dos insumos produtivos, além do capital e trabalho. Assim, foram incluídas distorções específicas da firma que alteram os produtos marginais do capital, produto e também da eletricidade. Usando as informações ao nível da planta industrial, foi possível estimar os ganhos potenciais de eficiência sobre a produção que seriam gerados caso os recursos fossem realocados entre firmas. Em seguida, foram analisadas a importância de cada insumo em termos da má alocação de recursos, sendo possível quantificar o impacto produtivo de diferentes cenários de melhoria na utilização de recursos.

Assim, descobre-se que uma realocação de recursos entre as firmas geraria ganhos na produtividade total dos fatores de 81% em 2015 para o Brasil. Esse número é comparável ao ganho potencial de 86% em 2005 para a China estimado por Hsieh e Klenow (2009) e de 85% para a Coreia do Sul em 2007 estimado por Kim et al. (2017). Isto é, a indústria brasileira está tendo perdas de produtividade devido a falhas de mercado ou políticas governamentais que alteram as escolhas de insumos pelas firmas.

É possível também calcular os ganhos da produtividade total dos fatores de cada setor industrial separadamente.⁸ Levando essa restrição em consideração, a Tabela 3 apresenta os 10 principais setores industriais com os maiores e os 10 com menores ganhos potenciais com a realocação de recursos ao ponto de equalizar os produtos marginais entre as firmas em 2015.

⁸ Devido a razões de confidencialidade, não é possível fornecer estatísticas computadas com menos de 4 observações. Assim, embora todas os setores industriais tenham sido considerados para o cálculo dos ganhos agregados, não é possível reportar ganhos individuais para três setores específicos. Os três setores são: Extração de carvão mineral; Reprodução de materiais gravados em qualquer suporte; Fabricação de equipamento bélico pesado, armas de fogo e munições.

O setor com maior potencial de ganho de produtividade dada uma realocação de recursos é o de fabricação de produtos derivados do petróleo, podendo significar que firmas menos produtivas coexistem artificialmente com outras mais produtivas dentro desse setor. Já no caso do setor de fabricação de instrumentos musicais, por apresentar o menor ganho potencial, pode-se inferir que os recursos já são alocados de forma mais eficiente entre as firmas desse setor. Além disso, é possível perceber uma grande diferença nos valores dos ganhos de produtividade entre os 10 setores com maior potencial: 290% contra 138%.

Dentre os maiores consumidores de eletricidade na indústria, o setor de fabricação de produtos químicos orgânicos e o setor de fabricação de cimento aparecem entre os 10 setores com maior ganho potencial como resultado da realocação de recursos entre as firmas. Nenhum dos 11 setores aparece entre os setores com menor ganho potencial.

Embora tenhamos mostrado a existência de má alocação de energia e sua relação positiva com a má alocação de recursos, as distorções de capital se provam mais relevantes na explicação dos ganhos potenciais da realocação do que as distorções do uso da eletricidade.

Realizando o mesmo cálculo do ganho potencial com a suposição de que não existe distorção do capital em relação ao trabalho (apenas da eletricidade e do produto) o resultado é de um ganho potencial de 15% enquanto que com a suposição de que não existe distorção de eletricidade em relação ao trabalho (apenas do capital e do produto) o ganho potencial estimado é de 76%. Se não existir distorção no produto, e apenas da eletricidade e do capital em relação ao trabalho, o ganho estimado é de 27%.

Tabela 3 – 10 setores com os maiores e menores ganhos potenciais resultantes de uma realocação de recursos entre firmas

Número CNAE	Nome da Indústria	Ganhos de Produtividade (%)
192	Fabricação de produtos derivados do petróleo	290,44
182	Serviços de pré-impressão e acabamentos gráficos	171,10
221	Fabricação de produtos de bo racha	154,82
161	Desdobramento de madeira	146,31
241	Produção de ferro-gusa e de ferroligas	139,78
202	Fabricação de produtos químicos orgânicos	139,16
285	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso na extração mineral e na construção	139,07
105	Laticínios	138,85
232	Fabricação de cimento	138,84
309	Fabricação de equipamentos de transporte não especificados anteriormente	137,66
272	Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores elétricos	25,30
291	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	25,10
303	Fabricação de veículos ferroviários	25,07
72	Extração de minerais metálicos não-ferrosos	24,56
263	Fabricação de equipamentos de comunicação	24,55
122	Fabricação de produtos do fumo	23,77
171	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	21,92
121	Processamento industrial do fumo	19,99
295	Recondicionamento e recuperação de motores para veículos automotores	17,65
322	Fabricação de instrumentos musicais	15,81

Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)

Tabela 4 – Ganhos potenciais de produtividade com diferentes tipos de distorção

Distorções	Ganhos (%)
Incluindo todas as distorções	81
Sem distorção sobre capital	15
Sem distorção sobre eletricidade	76
Sem distorção sobre produto	27

Fonte: *Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)*

É possível perceber, portanto, que a má alocação de capital na indústria brasileira é o principal fator que resulta em baixa produção agregada por trabalhador e baixa produtividade total dos fatores. Porém, a má alocação de fatores está associada não apenas a um pior desempenho econômico, mas também a um pior desempenho ambiental. Ajustar a distribuição de recursos de firmas que usam métodos produtivos mais poluentes para as mais sustentáveis também pode ter efeitos ambientais positivos (Cherniwchan et al (2017)). Assim, um melhor uso da eletricidade pode melhorar a produtividade das firmas e reduzir danos ambientais.

Distorções como falta de informação, fricções do mercado e barreiras institucionais parecem impedir, portanto, que haja um avanço efetivo quanto ao uso racional de eletricidade pela indústria brasileira. Para entender o papel de cada determinante, precisamos de esforços adicionais de pesquisa. São necessários estudos mais detalhados de cada setor e também de uma avaliação de políticas públicas já realizadas para entender se estas tiveram algum efeito em combater algumas dessas falhas. Desse modo, será possível fortalecer os esforços de EE, melhorando a produtividade das firmas e reduzindo danos ambientais.

8. Referências

- Allcott, H., & Greenstone, M. (2012). "Is There an Energy Efficiency Gap?" *Journal of Economic Perspectives*, 26 (1), 3-28.
- American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEE) (2018). *The 2018 International Energy Efficiency Scorecard*.
- Assunção, J., & Schutze, A. (2017). "Panorama da Eficiência Energética no Brasil". *Climate Policy Initiative*.
- Bartelsman, E., Haltiwanger, J., & Scarpetta, S. (2013). "Cross-country differences in productivity: The role of allocation and selection". *American Economic Review*, 103(1), 305-334.
- Buera, F., Kaboski, J., & Shin, Y. (2011). "Finance and development: A tale of two sectors". *American Economic Review*, 101(5), 1964-2002.
- Cherniwchan, J., Copeland, B., & Taylor, M. (2017). "Trade and the environment: New methods, measurements, and results". *Annual Review of Economics*, 9, 59-85.
- Davis, L., Martinez, S., & Taboada, B. (2018). "How Effective is Energy-Efficient Housing? Evidence from a Field Experiment in Mexico". *National Bureau of Economic Research*.
- DeCanio, S., & Watkins, W. (1998). "Investment in energy efficiency: Do the characteristics of firms matter?" *The Review of Economics and Statistics*, 80 (1), 95-107.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2017). *Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016*.
- Fleiter, T., Schleich, J., & Ravivanpong, P. (2012). "Adoption of energy-efficiency measures in SMEs – an empirical analysis based on energy audit data from Germany." *Energy Policy*, 51, 863-875.
- Gerarden, T., Newell, R., & Stavins, R. (2017). "Assessing the Energy-Efficiency Gap." *Journal of Economic Literature*, 55, 1486-1525.
- Häckel, B., Pfosser, S., & Tränkler, T. (2017). "Explaining the Energy Efficiency Gap – Expected Utility Theory versus Cumulative Prospect Theory." *Energy Policy*, 111, 414-426.
- Hsieh, C. T., & Klenow, P. J. (2009). "Misallocation and manufacturing TFP in China and India". *The Quarterly Journal of Economics*, 124(4), 1403-1448.
- International Energy Agency (IEA) (2017). *Market Report Series: Energy Efficiency 2017*.

- Kim, M., Oh, J., & Shin, Y. (2017). "Misallocation and Manufacturing TFP in Korea, 1982-2007". *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 99(2), 233-244.
- McMillan, M. & Rodrik, R. (2011). "Globalization, Structural Change and Productivity Growth". National Bureau of Economic Research.
- Melitz, M. (2003). "The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity". *Econometrica*, 71(6), 1695-1725.
- Ministério de Minas e Energia (2017). *Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico – 2016*.
- Olley, S. & Pakes, A. (1996). "The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry". *Econometrica*, 64(6), 1263-1297.
- República Federativa do Brasil. (2015). "Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima" Brasil.
- Restuccia, D., & Rogerson, R. (2008). "Policy distortions and aggregate productivity with heterogeneous establishments". *Review of Economic Dynamics*, 11(4), 707-720.
- Ryan, N. (2016). "Is there an Energy-Efficiency gap? Experimental evidence from Indian manufacturing plants." Working Paper. Yale University.

ANEXO 1 – 106 setores industriais estudados

Número CNAE	Nome completo do Setor
50	Extração de carvão mineral
71	Extração de minério de ferro
72	Extração de minerais metálicos não-ferrosos
81	Extração de pedra, areia e argila
89	Extração de outros minerais não-metálicos
91	Atividades de apoio à extração de petróleo e gás natural
101	Abate e fabricação de produtos de carne
102	Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado
103	Fabricação de conservas de frutas, legumes e outros vegetais
104	Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais
105	Laticínios
106	Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de alimentos para animais
107	Fabricação e refino de açúcar
108	Torrefação e moagem de café
109	Fabricação de outros produtos alimentícios
111	Fabricação de bebidas alcoólicas
112	Fabricação de bebidas não-alcoólicas
121	Processamento industrial do fumo
122	Fabricação de produtos do fumo
131	Preparação e fiação de fibras têxteis
132	Tecelagem, exceto malha
133	Fabricação de tecidos de malha
134	Acabamentos em fios, tecidos e artefatos têxteis
135	Fabricação de artefatos têxteis, exceto vestuário
141	Confecção de artigos do vestuário e acessórios
142	Fabricação de artigos de malharia e tricotagem
151	Curtimento e outras preparações de couro
152	Fabricação de artigos para viagem e de artefatos diversos de couro
153	Fabricação de calçados
154	Fabricação de partes para calçados, de qualquer material
161	Desdobramento de madeira
162	Fabricação de produtos de madeira, cortiça e material trançado, exceto móveis
171	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel
172	Fabricação de papel, cartolina e papel-cartão
173	Fabricação de embalagens de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado
174	Fabricação de produtos diversos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado
181	Atividade de impressão
182	Serviços de pré-impressão e acabamentos gráficos
183	Reprodução de materiais gravados em qualquer suporte
192	Fabricação de produtos derivados do petróleo
193	Fabricação de biocombustíveis
201	Fabricação de produtos químicos inorgânicos
202	Fabricação de produtos químicos orgânicos
203	Fabricação de resinas e elastômeros
204	Fabricação de fibras artificiais e sintéticas
205	Fabricação de defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários
206	Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal
207	Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins
209	Fabricação de produtos e preparados químicos diversos
211	Fabricação de produtos farmoquímicos
212	Fabricação de produtos farmacêuticos
221	Fabricação de produtos de borracha
222	Fabricação de produtos de material plástico

Número CNAE	Nome completo do Setor
231	Fabricação de vidro e de produtos do vidro
232	Fabricação de cimento
233	Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes
234	Fabricação de produtos cerâmicos
239	Aparelhamento de pedras e fabricação de outros produtos de minerais não-metálicos
241	Produção de ferro-gusa e de ferroligas
242	Siderurgia
243	Produção de tubos de aço, exceto tubos sem costura
244	Metalurgia dos metais não-ferrosos
245	Fundição
251	Fabricação de estruturas metálicas e obras de caldeiraria pesada
252	Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras
253	Forjaria, estamparia, metalurgia do pó e serviços de tratamento de metais
254	Fabricação de artigos de cutelaria, de serralheria e ferramentas
255	Fabricação de equipamento bélico pesado, armas de fogo e munições
259	Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente
261	Fabricação de componentes eletrônicos
262	Fabricação de equipamentos de informática e periféricos
263	Fabricação de equipamentos de comunicação
264	Fabricação de aparelhos de recepção, reprodução, gravação e amplificação de áudio e vídeo
265	Fabricação de aparelhos e instrumentos de medida, teste e controle; cronômetros e relógios
266	Fabricação de aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos e equipamentos de irradiação
267	Fabricação de equipamentos e instrumentos ópticos, fotográficos e cinematográficos
271	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos
272	Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores elétricos
273	Fabricação de equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica
274	Fabricação de lâmpadas e outros equipamentos de iluminação
275	Fabricação de eletrodomésticos
279	Fabricação de equipamentos e aparelhos elétricos não especificados anteriormente
281	Fabricação de motores, bombas, compressores e equipamentos de transmissão
282	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral
283	Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos para a agricultura e pecuária
284	Fabricação de máquinas-ferramenta
285	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso na extração mineral e na construção
286	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso industrial específico
291	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários
292	Fabricação de caminhões e ônibus
293	Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores
294	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores
295	Recondicionamento e recuperação de motores para veículos automotores
301	Construção de embarcações
303	Fabricação de veículos ferroviários
304	Fabricação de aeronaves
309	Fabricação de equipamentos de transporte não especificados anteriormente
310	Fabricação de móveis
321	Fabricação de artigos de joalheria, bijuteria e semelhantes
322	Fabricação de instrumentos musicais
323	Fabricação de artefatos para pesca e esporte
324	Fabricação de brinquedos e jogos recreativos
325	Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos
329	Fabricação de produtos diversos
331	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos
332	Instalação de máquinas e equipamentos

ANEXO 2 – Como calcular os IQAs?

Para obter os Indicadores de Qualidade Alocativa, IQA_P e IQA_E, foi aplicado o método de decomposição apresentado em Olley e Pakes (1996).

Suponha que o valor adicionado da firma i pertencente ao setor s seja y_{si} e o valor adicionado agregado do setor seja $Y_s = \sum_{i=1}^{M_s} y_{si}$, onde M_s é o número de firmas no setor industrial s . Logo, a participação da firma i no setor s é $\varphi_{si} = \frac{y_{si}}{Y_s}$.

A eficiência energética das firmas é definida como o valor adicionado dividido pelo gasto com eletricidade, isto é, $e_{si} = \frac{y_{si}}{z_{si}}$, sendo z_{si} o gasto com eletricidade da firma i do setor s . Quanto maior e_{si} , maior a eficiência energética da firma.

A partir da decomposição de Olley e Pakes, tem-se que a medida de produtividade agregada do setor s , θ_s , é a média ponderada da produtividade de cada firma, dada a participação das firmas naquela indústria:

$$\theta_s = \sum_{i=1}^{M_s} \varphi_{si} \theta_{si} = \sum_{i=1}^{M_s} (\bar{\varphi}_s + \Delta\varphi_{si})(\bar{\theta}_s + \Delta\theta_{si})$$

onde $\bar{\varphi}_s = \frac{1}{M_s} \sum_{i=1}^{M_s} \varphi_{si}$ é a participação média das firmas no setor industrial s e $\bar{\theta}_s = \frac{1}{M_s} \sum_{i=1}^{M_s} \theta_{si}$ é a produtividade da firma típica (igual à média não ponderada) do setor.

$\Delta\varphi_{si}$ e $\Delta\theta_{si}$ são as diferenças da participação e da produtividade da firma i em relação à firma típica. Isto é, $\Delta\varphi_{si} = \varphi_{si} - \bar{\varphi}_s$ e $\Delta\theta_{si} = \theta_{si} - \bar{\theta}_s$.

A decomposição gera o seguinte resultado:

$$\theta_s = \sum_{i=1}^{M_s} \bar{\varphi}_s \bar{\theta}_s + \bar{\varphi}_s \sum_{i=1}^{M_s} \Delta\theta_{si} + \bar{\theta}_s \sum_{i=1}^{M_s} \Delta\varphi_{si} + \sum_{i=1}^{M_s} \Delta\varphi_{si} \Delta\theta_{si}$$

A soma dos desvios à média deve ser igual a zero, logo $\sum_{i=1}^{M_s} \Delta\theta_{si} = \sum_{i=1}^{M_s} \Delta\varphi_{si} = 0$, anulando o segundo e terceiro termos da equação. Além disso, $\sum_{i=1}^{M_s} \bar{\varphi}_s \bar{\theta}_s = M_s \bar{\varphi}_s \bar{\theta}_s = \sum_{i=1}^{M_s} \varphi_{si} \cdot \bar{\theta}_s$. Por definição, $\sum_{i=1}^{M_s} \varphi_{si} = 1$, logo $\sum_{i=1}^{M_s} \bar{\varphi}_s \bar{\theta}_s = \bar{\theta}_s$. Temos, portanto:

$$\theta_s = \bar{\theta}_s + \sum_{i=1}^{M_s} \Delta\varphi_{si} \Delta\theta_{si} = \bar{\theta}_s + \sum_{i=1}^{M_s} (\varphi_{si} - \bar{\varphi}_s)(\theta_{si} - \bar{\theta}_s)$$

O somatório do lado direito da equação nos dá o efeito covariância entre a produtividade e a participação das firmas dentro de um mesmo setor. Quanto maior a covariância, maior a participação das firmas mais produtivas no produto total do setor e, portanto, maior a produtividade do setor. O indicador de alocação de produtividade IQA_P é definido como:

$$IQA_P = \sum_{i=1}^{M_s} (\varphi_{si} - \bar{\varphi}_s)(\theta_{si} - \bar{\theta}_s)$$

Logo, $\theta_s = \bar{\theta}_s + IQA_P$.

O mesmo pode ser aplicado ao uso da eletricidade entre as firmas do setor. Decompondo a eficiência energética do setor como a média ponderada das eficiências das firmas, temos:

$$e_s = \sum_{i=1}^{M_s} \varphi_{si} e_{si} = \sum_{i=1}^{M_s} (\bar{\varphi}_s + \Delta\varphi_{si})(\bar{e}_s + \Delta e_{si})$$

onde $\bar{e}_s = \frac{1}{M_s} \sum_{i=1}^{M_s} e_{si}$ e $\Delta e_{si} = e_{si} - \bar{e}_s$. A medida de qualidade alocativa da eficiência energética no setor s é:

$$IQA_E = \sum_{i=1}^{M_s} (\varphi_{si} - \bar{\varphi}_s)(e_{si} - \bar{e}_s)$$

E a média ponderada da eficiência energética do setor é a soma da eficiência da firma típica (média não ponderada) com o indicador de alocação da eficiência energética: $e_s = \bar{e}_s + IQA_E$.

ANEXO 3 – Como calcular os ganhos potenciais de produtividade?

O insumo eletricidade é introduzido no modelo desenvolvido por Hsieh e Klenow (2009), que nos permite quantificar possíveis ganhos de realocação na produção agregada. O modelo indica o ganho potencial de produtividade dada uma realocação de recursos de firmas menos eficientes para firmas mais eficientes. Parte-se de um modelo padrão de competição monopolística com firmas heterogêneas, como em Melitz (2003).

O produto final da economia Y é a soma dos produtos de vários setores, indexados por s . A parcela de determinado setor s na economia é dada por ρ_s . Logo: $Y = \prod_{s=1}^S Y_s^{\rho_s}$, onde $\sum_{s=1}^S \rho_s = 1$. A condição de primeira ordem do problema de maximização de lucro implica que $P_s Y_s = \rho_s P Y$. Onde P_s é o preço do bem intermediário Y_s e P é o preço do bem final Y . P é normalizado para um.

Em um determinado setor industrial s , há M_s firmas que produzem bens diferenciados. Os bens produzidos por essas firmas, por sua vez, são agregados de acordo com as elasticidades de substituição constantes de modo a compor o produto intermediário Y_s .

$$Y_s = \left(\sum_{i=1}^{M_s} Y_{si}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

Onde Y_{si} é o produto da firma i no setor s e σ é a elasticidade de substituição entre bens diferenciados.

Cada bem diferenciado no setor s é produzido por uma firma i de acordo com uma função de produção Cobb Douglas usando capital K_{si} , trabalho L_{si} e eletricidade E_{si} como insumos. As firmas são heterogêneas em sua produtividade física θ_{si} . As elasticidades de substituição dos fatores ($\alpha_s, \beta_s, 1 - \alpha_s - \beta_s$) são iguais para todas as firmas de um mesmo setor, porém diferentes entre setores. A função de produção é dada, portanto, pela equação abaixo:

$$Y_{si} = \theta_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{\beta_s} E_{si}^{1-\alpha_s-\beta_s}$$

Como em Hsieh e Klenow (2009), existem distorções específicas à firma alterando o produto marginal dos insumos devido a falhas de mercado ou políticas governamentais que alteram as escolhas de insumos pelas firmas. As firmas enfrentam distorções sobre os preços dos insumos (τ_{Ksi} e τ_{Esi}) e do produto (τ_{Ysi}). No primeiro caso, τ_{Ksi} e τ_{Esi} são uma forma de imposto sobre os insumos, já que afetam a receita marginal de capital e eletricidade em relação à de trabalho. Já τ_{Ysi} é interpretado como um imposto sobre o produto, pois distorce os produtos marginais dos insumos na mesma proporção.

Nesse modelo, portanto, o lucro da firma é:

$$\pi_{si} = (1 - \tau_{Ysi})P_{si}Y_{si} - wL_{si} - (1 + \tau_{Ksi})RK_{si} - (1 + \tau_{Esi})TE_{si}$$

Onde w é o salário, R o preço do capital e T é a tarifa de eletricidade. O salário, o preço do capital e da eletricidade são iguais para as firmas de todos os setores.

A maximização do lucro nos leva à condição de que o preço da firma é igual a um *mark-up* sobre o seu custo marginal:

$$P_{si} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{w}{\beta_s}\right)^{\beta_s} \left(\frac{R}{\alpha_s}\right)^{\alpha_s} \left(\frac{T}{1 - \alpha_s - \beta_s}\right)^{1 - \alpha_s - \beta_s} \frac{(1 + \tau_{Ksi})^{\alpha_s} (1 + \tau_{Esi})^{1 - \alpha_s - \beta_s}}{(1 - \tau_{Ysi})\theta_{si}}$$

Também pode-se usar a maximização do lucro para derivar as receitas marginais do capital (MRPK), do trabalho (MRPL) e da eletricidade (MRPE). A presença de distorções afetará as escolhas ideais de insumos das firmas, uma vez que a receita marginal de cada insumo será equiparada a seus custos marginais após impostos, específicos para cada firma com base nas distorções que ela enfrenta. O produto marginal do trabalho, capital e eletricidade é dado respectivamente por:

$$MRPK_{si} = \frac{R(1 + \tau_{Ksi})}{(1 - \tau_{Ysi})}$$

$$MRPL_{si} = \frac{w}{(1 - \tau_{Ysi})}$$

$$MRPE_{si} = \frac{T(1 + \tau_{Esi})}{(1 - \tau_{Ysi})}$$

Para mensurar de que forma as distorções afetam a produtividade da firma, usa-se a medida de produtividade total da receita (TFPR), a qual é definida da seguinte maneira:

$$TFPR_{si} = P_{si}\theta_{si}$$

Com a equação de preço, temos:

$$TFPR_{si} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{w}{\beta_s}\right)^{\beta_s} \left(\frac{R}{\alpha_s}\right)^{\alpha_s} \left(\frac{T}{1 - \alpha_s - \beta_s}\right)^{1 - \alpha_s - \beta_s} \frac{(1 + \tau_{Ksi})^{\alpha_s} (1 + \tau_{Esi})^{1 - \alpha_s - \beta_s}}{(1 - \tau_{Ysi})}$$

Que pode ser reescrito como:

$$TFPR_{si} = t_s \frac{(1 + \tau_{Ksi})^{\alpha_s} (1 + \tau_{Esi})^{1 - \alpha_s - \beta_s}}{(1 - \tau_{Ysi})}, \text{ onde } t_s = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{w}{\beta_s}\right)^{\beta_s} \left(\frac{R}{\alpha_s}\right)^{\alpha_s} \left(\frac{T}{1 - \alpha_s - \beta_s}\right)^{1 - \alpha_s - \beta_s}.$$

Ou seja, todas as diferenças de produtividade (medida pela *TFPR*) entre firmas de um mesmo setor industrial s são atribuídas às distorções sobre capital, eletricidade e produto. Na ausência de distorções, firmas com maior produtividade física receberiam maior alocação de recursos,

de modo que seu maior produto levaria a uma redução dos preços até o ponto em que as firmas do setor igualariam sua $TFPR$.

Com isso, pode-se definir a produtividade total dos fatores (*Total Factor Productivity* – TFP) do setor s como:

$$TFP_s = \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(\theta_{si} \frac{\overline{TFPR}_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}}$$

Onde

$$\begin{aligned} & \overline{TFPR}_s \\ &= \frac{\sigma}{\sigma-1} \left[\frac{R}{\left(\alpha_s \sum_{i=1}^{M_s} \frac{(1-\tau_{Ysi}) P_{si} Y_{si}}{(1+\tau_{Ksi}) P_s Y_s} \right)} \right]^{\alpha_s} \left[\frac{w}{\left(\beta_s \sum_{i=1}^{M_s} (1-\tau_{Ysi}) \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s} \right)} \right]^{\beta_s} \left[\frac{T}{(1-\alpha_s-\beta_s) \sum_{i=1}^{M_s} \frac{(1-\tau_{Ysi}) P_{si} Y_{si}}{(1+\tau_{Esi}) P_s Y_s}} \right]^{(1-\alpha_s-\beta_s)} \end{aligned}$$

Se os produtos marginais forem iguais entre as firmas, ou seja, na ausência de distorções, a produtividade física do setor seria:

$$\overline{\theta}_s = \left(\sum_{i=1}^s \theta_{si}^{\sigma-1} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}}$$

Com isso, é possível calcular a razão entre o produto agregado gerado com e sem a presença de distorções entre as firmas de um mesmo setor.

$$\frac{Y}{Y_{eficiente}} = \prod_{s=1}^S \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(\frac{\theta_{si} \overline{TFPR}_s}{\overline{\theta}_s TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{\rho_s}{(\sigma-1)}}$$

Essa equação informa, portanto, o tamanho das perdas geradas pela má alocação sobre o produto da economia em relação a um cenário eficiente.

De modo a obter as estimativas para a indústria brasileira, é preciso definir os parâmetros utilizados. Como em Hsieh e Klenow (2009), foi considerado o custo de capital $R = 0.1$, refletindo uma taxa de juros real de 5% e taxa de depreciação de 5%. A elasticidade de substituição σ é definida como sendo igual a 3. A tarifa de energia é 500 R\$/kWh. A tarifa média em 2015 ponderada pelo consumo por distribuidora é de 519 R\$/kWh, e a tarifa média sem ponderação é de 495 R\$/kWh. Utiliza-se, portanto, o valor arredondado de 500 R\$/kWh. O valor do coeficiente β_s corresponde à parcela dos gastos com trabalho em relação aos

gastos totais do setor com os insumos, $1 - \alpha_s - \beta_s$ corresponde à parcela dos gastos com eletricidade em relação aos gastos totais e a parcela dos gastos com capital é igual a α_s .

A partir da maximização do lucro descrita anteriormente, pode-se estimar as distorções e a produtividade para cada firma da seguinte maneira:

$$(1 + \tau_{Ksi}) = \frac{wL_{si} \alpha_s}{RK_{si} \beta_s}$$

$$(1 + \tau_{Esi}) = \frac{wL_{si} (1 - \alpha_s - \beta_s)}{TE_{si} \beta_s}$$

$$(1 - \tau_{Ysi}) = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \frac{wL_{si}}{\beta_s P_{si} Y_{si}}$$

$$\theta_{si} = k_s \frac{P_{si} Y_{si}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{\beta_s} E_{si}^{1-\alpha_s-\beta_s}} \text{ onde } k_s = \frac{w^{1-\alpha}}{P_s} (P_s Y_s)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}$$

Na primeira equação, temos que a razão entre os gastos com o fator trabalho e o estoque do capital é maior do que seria esperado dados os coeficientes de substituição dos insumos, ou seja, há uma *distorção de capital*. O mesmo é encontrado nas duas equações seguintes em relação à eletricidade e o produto. Já na última expressão, é importante notar que não observamos k_s , mas as produtividades relativas entre firmas de um mesmo setor não são afetadas se definirmos $k_s = 1$. Além disso, como não temos os valores para a produção física das firmas (Y_{si}), usamos a receita nominal do setor $P_s Y_s$ elevado a $\frac{\sigma}{\sigma-1}$ para estimar Y_{si} . L_{si} e E_{si} , no entanto, são obtidos, respectivamente, a partir dos gastos com trabalho divididos pelos salários e dos gastos com eletricidade divididos pela tarifa.

Além disso, foram calculadas as distribuições de $\log\left(\frac{\theta_{si}}{\bar{\theta}_s}\right)$ e $\log\left(\frac{TFPR_{si}}{\bar{TFPR}_s}\right)$ para cada setor e removidas as observações pertencentes a 1% das extremidades, de modo a extrair da nossa amostra os possíveis *outliers*. Com isso é possível recalculas as distorções, assim como as quantidades e produtividades da receita para cada ano, gerando resultados estatisticamente robustos.

Finalmente, obtemos os ganhos de realocação ao calcular o produto que seria gerado em uma economia hipotética e eficiente, onde os produtos marginais das firmas em um mesmo setor industrial são iguais. Nesse caso, a produtividade (TFP) da indústria é $\bar{\theta}_s = \left(\sum_{i=1}^S \theta_{si}^{\sigma-1}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}$, como descrito anteriormente.

ANEXO 4 – Robustez: Os resultados não dependem da medida de produtividade

Ao longo da elaboração dos resultados, foram usadas duas medidas diferentes para obter os valores de produtividade da firma. A primeira corresponde ao valor agregado da firma por trabalhador. A segunda é obtida a partir da metodologia baseada em Hsieh e Klenow (2009).

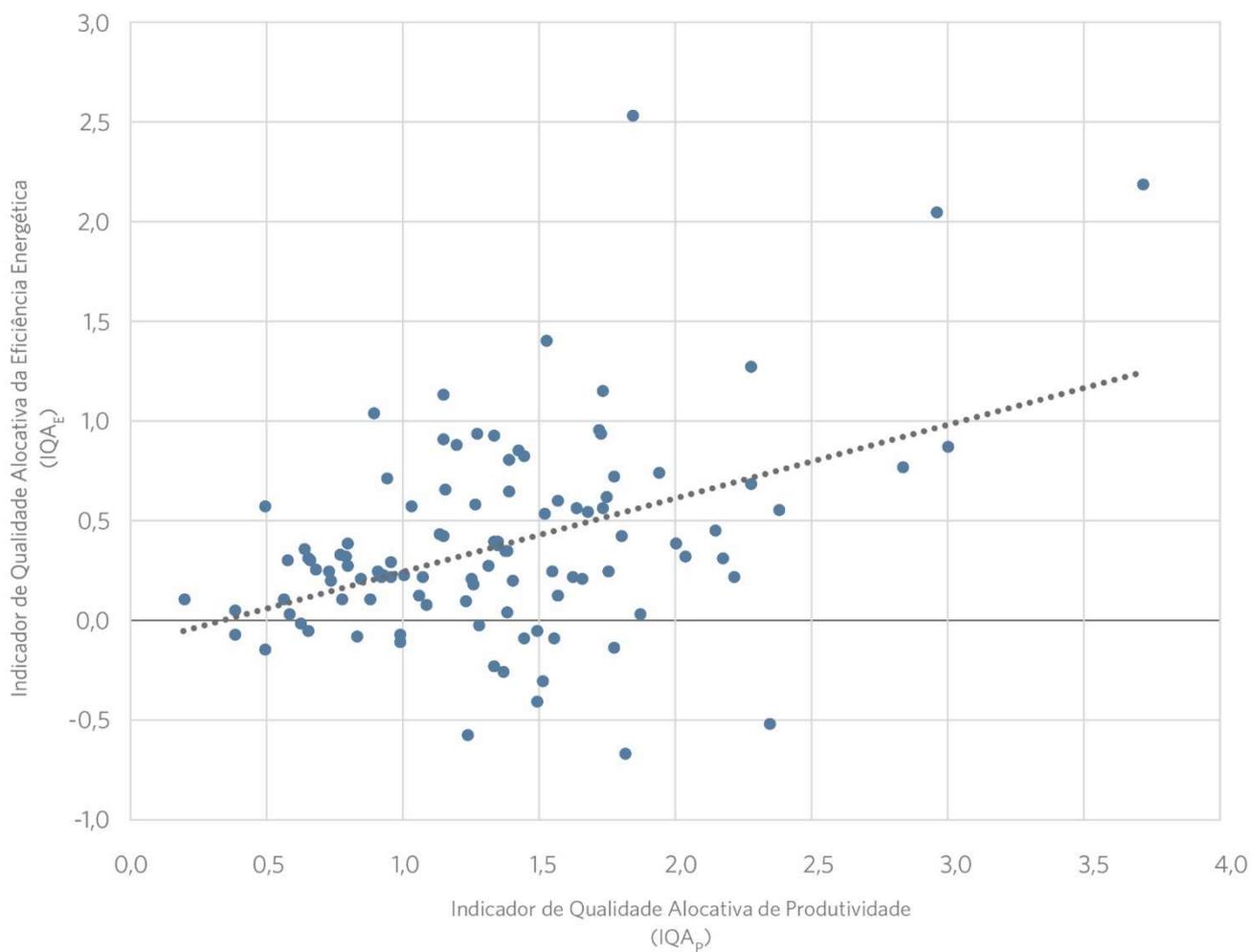
O modelo inclui a eletricidade como insumo e sua função de produção é $Y_{si} = \theta_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{\beta_s} E_{si}^{1-\alpha_s-\beta_s}$, onde cada firma i produz seu bem Y_{si} usando capital K_{si} , trabalho L_{si} e eletricidade E_{si} . θ_{si} é a produtividade física da firma enquanto α_s e β_s são as elasticidades de substituição dos fatores, iguais para todas as firmas. A produtividade é calculada a partir do produto da firma e da alocação de recursos:

$$\theta_{si} = \frac{Y_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{\beta_s} E_{si}^{1-\alpha_s-\beta_s}}$$

O modelo é explicado com mais detalhes no Anexo 3.

A Figura 6 apresenta a relação entre os indicadores IQA_E e IQA_P para os 106 setores utilizando a medida de produtividade a partir do modelo baseado em Hsieh e Klenow (2009) para o ano de 2015. Observa-se uma relação positiva entre os dois indicadores. Ou seja, independente da maneira como se mede a produtividade, os setores com melhores alocações de eficiência energética são os que também possuem melhores alocações de produtividade.

Figura 6 – Relação entre os indicadores IQA_E e IQA_P para os 106 setores utilizando a medida de produtividade a partir do modelo baseado em Hsieh e Klenow (2009) para o ano de 2015



Fonte: Climate Policy Initiative com dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA)