

TEXTO PARA **DISCUSSÃO**

2774

**AVALIANDO O DESEMPENHO DA
INDÚSTRIA BRASILEIRA**

**MÁRIO JORGE MENDONÇA
RODRIGO M. PEREIRA
BEATRIZ PINNA
LUIS ALBERTO MEDRANO**



**AVALIANDO O DESEMPENHO DA
INDÚSTRIA BRASILEIRA**

MÁRIO JORGE MENDONÇA¹

RODRIGO M. PEREIRA²

BEATRIZ PINNA³

LUIS ALBERTO MEDRANO⁴

1. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Dirur/Ipea). *E-mail*: <mario.mendonca@ipea.gov.br>.

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Macroeconômicas (Dimac)/Ipea. *E-mail*: <rodrigo.pereira@ipea.gov.br>.

3. Mestranda em estatística na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). *E-mail*: <pinnarbeatriz@gmail.com>.

4. Assistente de pesquisa na Dirur/Ipea. *E-mail*: <luis.medrano@ipea.gov.br>.

Governo Federal

Ministério da Economia

Ministro Paulo Guedes

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

ERIK ALENCAR DE FIGUEIREDO

Diretor de Desenvolvimento Institucional

ANDRÉ SAMPAIO ZUVANOV

**Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das
Instituições e da Democracia**

FLÁVIO LYRIO CARNEIRO

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas
MARCO ANTÔNIO FREITAS DE HOLLANDA CAVALCANTI

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais,
Urbanas e Ambientais**

NILO LUIZ SACCARO JUNIOR

**Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de
Inovação e Infraestrutura**

JOÃO MARIA DE OLIVEIRA

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

HERTON ELLERY ARAÚJO

**Diretor de Estudos e Relações Econômicas e
Políticas Internacionais**

PAULO DE ANDRADE JACINTO

**Assessor-chefe de Imprensa e
Comunicação (substituto)**

JOÃO CLÁUDIO GARCIA RODRIGUES LIMA

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2022

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica
Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).
Acesse: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: L6; O1.

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2774>

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	6
2 BASE DE DADOS.....	8
3 A MENSURAÇÃO DA PTF	10
4 MODELO DE FRONTEIRA ESTOCÁSTICA DE PRODUÇÃO	11
5 RESULTADOS.....	14
6 COMENTÁRIOS FINAIS.....	27
REFERÊNCIAS	28
APÊNDICE A.....	32
REFERÊNCIA.....	33
APÊNDICE B	34

SINOPSE

Neste estudo, investigamos o desempenho da indústria brasileira com base nos indicadores de produtividade e eficiência. Associamos a produtividade ao conceito produtividade total dos fatores (PTF), enquanto a eficiência é medida com base no modelo da fronteira estocástica de produção que indica o quanto a produção real se distancia do nível ótimo. Esta metodologia permite expurgar o efeito de fatores não gerenciáveis ou fora do controle das firmas. Ambos os modelos fazem uso dos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA) para 29 setores industriais brasileiros no período 2007-2019. Os resultados derivados da PTF mostram que, entre 2010 e 2016, a indústria brasileira experimentou uma perda de produtividade de 21,9%. No que se refere à eficiência, o modelo de fronteira estocástica de produção permite identificar a evolução desta variável ao longo do tempo. Os resultados indicam que, de um modo geral, também se observou a tendência de queda da eficiência na indústria brasileira. Entre as exceções, encontra-se o setor de extração de petróleo e gás natural que saltou da 29ª colocação, em 2007, para o segundo lugar, em 2019. Esta subida, que começa a acontecer em 2010, possivelmente se deve à exploração e produção (pré-sal) e na área de refino, resultando na grande elevação do investimento no setor.

Palavras-chave: produtividade dos fatores; Pesquisa da Indústria Anual; método do inventário perpétuo; eficiência fronteira estocástica de produção; inferência bayesiana.

ABSTRACT

In this study we investigate the performance of Brazilian industry based on productivity and efficiency indicators. We associate productivity with the concept of total factor productivity (TFP) while efficiency is measured based on the stochastic frontier production model that indicates how far the actual production deviates from the optimal level. This methodology allows to take into consideration the effect of non-manageable factors. Both models make use of Annual Industrial Survey (AIP) data for 29 Brazilian industrial sectors for the period 2007 to 2019. The results derived from TFP show that between 2010 and 2016, Brazilian industry experienced a productivity loss of 15.7%. Our frontier model allows to identify the evolution of efficiency over time. The results indicate there was also a downward trend in efficiency in the Brazilian industry. Among the exceptions is the Oil and Natural Gas Extraction sector that jumped from 29th place in 2007 to second place in 2019. This rise, which begins to happen in 2010, is possibly due to exploration and production (pre-salt) and in the refining area, resulting in the large increase in investment in the sector.

Keywords: total factor productivity; Annual Industrial Survey; solow residual; capital; perpetual inventory method.

1 INTRODUÇÃO

Existe uma tendência de redução da participação do setor industrial no produto interno bruto (PIB) em boa parte dos países. No Brasil, essa tendência é particularmente acentuada. Em 2008, a participação do setor manufatureiro no PIB foi de 16,5%. Desde então, houve uma queda gradual de sua participação, fazendo com que, em 2021, a participação deste setor ficasse em 10,3% do PIB. Tal evolução gera preocupação, pois pode indicar a aceleração do processo de desindustrialização do país, já que nações desenvolvidas e fortes no agronegócio, como os Estados Unidos, o Canadá e a Austrália, se posicionam igualmente como potências industriais. De acordo com Morceiro (2012), em economias em transição, a indústria de transformação é fundamental, por fomentar a interação entre diversos setores, criando cadeias produtivas e promovendo a inovação e a difusão tecnológica. Assim sendo, cabe uma investigação mais profunda do desempenho da indústria brasileira, de modo a verificar as causas desse decaimento, que deve ter outros componentes além da tendência natural de perda de participação observada em outras economias.

Comparando a indústria com o setor agrícola, podemos afirmar que, desde os anos 1950 e 1960, os métodos de produção agropecuária, extrativista e manufatureira mudaram acentuadamente. A agropecuária tornou-se intensiva em capital e incorporou a tecnologia a sua produção. A indústria, antes protegida e beneficiada por incentivos fiscais e juros subsidiados, sofreu com o choque da abertura econômica dos anos 1990 e diversas oscilações cambiais. Perdeu produtividade, não conseguindo se adaptar ao ambiente global de alta competitividade. A *desindustrialização* é fator de preocupação por, pelo menos, dois motivos. Apesar do grande impulso observado no setor agrícola, sabe-se que existe uma limitação na agregação de valor dos produtos desse setor frente aos segmentos fortemente intensivos em tecnologia. Daí, existir uma tendência de perda de competitividade na economia brasileira frente às economias mais desenvolvidas.

Neste estudo, investigaremos o desempenho da indústria por meio de dois indicadores: produtividade e eficiência. Embora os dois conceitos possam estar relacionados, associamos aqui a produtividade à medida de progresso técnico, tendo a produtividade total dos fatores (PTF) como medida, enquanto a eficiência pode ser mensurada pela distância com que o uso dos fatores de produção se afasta do seu nível de produção ótima. Tal medida pode ser estimada por meio do modelo da fronteira estocástica de produção.

Existe certo consenso de que a produtividade dos fatores de produção é um elemento-chave para explicar o grau de desenvolvimento econômico de um país. Países ricos, via de regra, são ricos porque produzem um alto valor agregado por trabalhador. É fato que em uma economia de mercado as rendas dos fatores de produção são proporcionais às suas produtividades (marginais). Mais especificamente, se a produtividade do trabalho for baixa, os salários também o serão.

O elemento-chave para o crescimento econômico é, portanto, o crescimento da produtividade dos fatores de produção. Particularmente, estamos interessados em conhecer a PTF, que é a parcela da variação do produto total que não é explicada por variações nos fatores de produção, para cada ramo da indústria. Desde os trabalhos pioneiros de Solow (1957), Kendrick (1961) e Denison (1962), tem surgido uma grande quantidade de estudos objetivando medir a PTF, seus determinantes e sua contribuição ao crescimento econômico. No Brasil, a questão da produtividade medida pela PTF foi tratada em um bom número de estudos, como os de Ellery Junior (2017), Jacinto e Ribeiro (2015), Messa (2014), Barbosa Filho, Pessoa e Veloso (2010), Ferreira, Ellery Junior e Gomes (2008), Rocha (2007) e Gomes, Pessoa e Veloso (2003).

Ferreira, Ellery Junior e Gomes (2008) afirmam que a queda da PTF na economia brasileira entre os anos 1970 e 2000 é robusta, dada que se mantém para formas distintas de mensuração da produtividade. Barbosa Filho, Pessoa e Veloso (2010) avaliam a evolução da PTF na economia brasileira e mostram que a PTF cresceu 11,3%, entre 1992-2007. Messa (2014) também observa que diferentes modos de medir a PTF da economia brasileira não modifica substancialmente o resultado de queda dessa variável a partir da década de 1970.

Neste estudo, calculamos a PTF da indústria brasileira usando os dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA). O período da análise vai de 2007 a 2019. Os resultados mostram que, de 2007 a 2018, houve queda na PTF na maioria dos setores da indústria brasileira. Isso ocorreu a despeito de uma série de políticas implementadas devido à crença de que aumentariam a competitividade da indústria brasileira, como regras de conteúdo nacional, aumento de barreiras à importação, entre outras. A partir de 2016, tem início uma reversão na trajetória decrescente da PTF.

No que se refere à eficiência, propõe-se mensurá-la com base no modelo de fronteira estocástica de produção. Uma das vantagens do modelo de fronteira estocástica deve-se ao fato de que essa metodologia permite expurgar o efeito de fatores não gerenciáveis, tendo em vista que a produção pode ser afetada por fatores que estão fora do controle das firmas como variação cambial, choques de oferta, crises etc. Já a escolha da estimação por meio da abordagem *bayesiana* visa conferir maior flexibilidade na especificação do modelo de fronteira estocástica (Griffin e Steel, 2007). Considerando que os trabalhos com fronteira estocástica têm negligenciado o fato de que mudanças na eficiência podem sofrer alteração ao longo do tempo, a abordagem econométrica empregada é capaz ainda de contemplar a dinâmica temporal da eficiência, permitindo mostrar como os setores estão fazendo uso dos fatores de produção.

Objetivando auxiliar o gestor de política na regulação, a mensuração da eficiência ao longo do tempo permite fazer o ranqueamento dos setores industriais. Tal informação pode ser usada para elaborar políticas específicas e incentivar setores específicos. Cabe ainda notar que a produtividade

também decorre do emprego eficiente dos fatores de produção. Relacionado a isso, encontramos na literatura econômica o conceito de má-alocação ou *misallocation* (Restuccia e Rogerson, 2017) sendo entendido com o quanto uma economia se distancia daquilo que seria a alocação ótima dos fatores. Situação em que o emprego dos fatores está relacionada apenas ao seu custo de oportunidade, ou seja, livre de fatores que distorcem a alocação. Portanto, embora existam metodologias específicas para este tipo de análise (Hsieh e Klenow, 2009), o modelo de fronteira estocástica de produção ajuda a identificar os setores onde existe má-alocação.

Nosso trabalho preenche uma lacuna na literatura – que é a ausência de estudos recentes de fronteira estocástica de produção para a determinação da eficiência dos setores industriais brasileiros. Há um hiato informacional na literatura sobre o comportamento dos setores industriais brasileiros em termos de eficiência ao longo dos últimos quinze anos. Schettini (2010) investiga a eficiência produtiva dos setores industriais brasileiros com dados de 2000 a 2006, em um modelo de fronteira de produção estocástica. A autora conclui que setores industriais menos intensivos em tecnologia são menos eficientes. Alguns estudos foram feitos sobre a eficiência produtiva da agricultura brasileira (Miljkovic, Miranda e Shaik, 2013; Bragagnolo, Spolador e Barros, 2010), e em setores específicos da indústria, como o setor de energia (Mendonça *et al.*, 2021), o setor de saneamento (Silva, Faria e Moreira, 2007) e o setor bancário (Tecles e Tabak, 2010). Aqui, analisamos os dados mais recentes da PIA para determinar a eficiência dos setores industriais brasileiros.

Além desta introdução, este estudo está organizado da seguinte forma. Na seção 2, descrevemos a base de dados, incluindo o método para o cálculo do estoque de capital. A metodologia de mensuração da PTF aparece na seção 3. Na seção 4, aborda-se o modelo de fronteira estocástica de produção e a metodologia bayesiana usada na estimação econométrica. Os resultados de ambas as metodologias são apresentados e analisados na seção 5. Por fim, os comentários finais são postos na seção 6.

2 BASE DE DADOS

Como base de dados, utilizamos a PIA, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A PIA é desmembrada em duas pesquisas distintas: a PIA-Empresa e a PIA-Produto. Essas pesquisas têm como objetivo descrever as características estruturais básicas do segmento empresarial industrial no país e suas transformações no tempo. A PIA-Empresa levanta informações econômico-financeiras das empresas das indústrias extrativas e da indústria de transformação no Brasil, por sua vez, a PIA-Produto realiza o levantamento dos produtos fabricados e serviços prestados por estas empresas. Neste estudo, usamos dados da PIA-Empresa.

As informações da PIA por empresa são sigilosas, porém, o IBGE disponibiliza no seu sítio os dados agregados na classificação por setores CNAE¹ até quatro dígitos. Para este estudo, estamos considerando a classificação das atividades no nível das divisões da CNAE 2.0 (dois dígitos) no período 2007-2019, ano mais recente disponível na pesquisa. Esta subdivisão conta com 29 setores industriais. Os dados da PIA-Empresa são obtidos por meio de levantamentos anuais, tomando como base uma amostra de empresas industriais do Cadastro Central de Empresas (Cempre)/IBGE, que utiliza como fonte os registros administrativos do Ministério do Trabalho, em particular, a Relação Anual de Informações Sociais (Rais) e o Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged).

Para representar o valor agregado pela ótica da produção, usamos com variável o valor bruto da produção industrial (VBPI). Vários estudos importantes que estimam as PTFs para setores industriais utilizam o valor agregado para representar o produto (Hsieh e Klenow, 2009; Oberfield, 2011;² Vasconcelos, 2017, entre outros). O valor agregado é o valor bruto da produção menos os custos indiretos.³ A mensuração do fator trabalho (L) usualmente é feita pela folha salarial. No caso dos dados da PIA, somamos os salários e os benefícios (*variáveis gastos com pessoal – benefícios concedidos aos empregados, e gastos com pessoal – salários, retiradas e outras remunerações*). O maior desafio na elaboração da base de dados para o cálculo das PTFs está na construção da variável capital, tendo em vista que essa variável não está disponível na PIA assim como nas pesquisas similares encontradas em outros países, o que faz com que a variável capital para cada setor deva ser construída. A metodologia utilizada para a construção das séries de capital por setor está descrita na subseção 2.1. Por fim, cabe ressaltar que os valores monetários foram corrigidos pela inflação usando como o deflator do PIB para o total da indústria e o índice de preços ao produtor para os setores industriais. Os valores foram atualizados para reais (R\$) de 2019.

2.1 Cálculo do estoque de capital

Para a medida do estoque de capital, utilizaremos o método do inventário perpétuo, de acordo com a metodologia apresentada em Berlemann e Wesselhöft (2014). Uma vez obtidas as informações sobre os investimentos em máquinas e equipamentos, veículos, imóveis, prédios e edificações e uma categoria denominada outros tipos de investimentos, essa metodologia nos permite calcular o estoque de capital de cada setor i no tempo t . Os investimentos são

1. Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

2. Disponível em: <<https://bit.ly/3KzMq0J>>.

3. Corresponde à soma dos seguintes itens de custos e despesas: consumo de matérias-primas, materiais auxiliares e componentes; compra de energia elétrica; consumo de combustíveis; consumo de peças, acessórios etc.

calculados utilizando os valores da PIA para aquisições e melhorias, subtraídos das baixas; para as categorias de investimentos mencionadas.

Partindo de um estoque de capital inicial K_0 , pode-se gerar uma trajetória para o capital baseada na taxa de depreciação δ , que assumimos ser de 10%, e nos investimentos realizados. Esses investimentos são a diferença entre as aquisições de máquinas e equipamentos, meios de transporte, terrenos e edificações e suas respectivas baixas.

$$K_{it} = (1 - \delta)K_{it-1} + I_{it} . \quad (1)$$

O valor inicial K_0 é obtido utilizando o que se conhece como abordagem de Harberger (1978), que supõe que a economia está em estado estacionário. Nesse caso, produto e estoque de capital crescem à mesma taxa, o que implica que o estoque de capital no período inicial equivale ao investimento observado no período dividido pela soma entre a taxa de crescimento do produto e a taxa de depreciação, de modo que⁴

$$\frac{K_{t+1}-K_t}{K_t} = \frac{Y_{t+1}-Y_t}{Y_t} = g = \frac{I_t}{K_t} - \delta . \quad (2)$$

Portanto, resolvendo para o estoque de capital, temos

$$K_t = \frac{I_t}{g+\delta} . \quad (3)$$

Para evitar uma possível situação em que o ano inicial da série seja um ano atípico, com um crescimento muito alto ou muito baixo, consideramos a média aritmética entre as taxas de crescimento do PIB do período inicial, que é o ano de 2007, do período anterior (2006), e subsequente (2008). Consideramos uma taxa de depreciação de 10% ao ano (a.a.), uniforme para todos os setores e tipos de investimentos.

3 A MENSURAÇÃO DA PTF

A PTF foi inicialmente proposta por Solow (1957) como uma medida do progresso tecnológico. Ela representa a parcela do aumento da produção que não é explicada por um aumento no uso dos insumos. Seria, portanto, uma espécie de resíduo (o resíduo de Solow) que representa uma mudança tecnológica. Pensando em uma função de produção agregada do tipo Cobb-Douglas com retornos constantes de escala, a PTF é definida como

4. Excluimos o índice i para não sobrecarregar a notação.

$$PTF = \frac{VA}{K^\alpha L^{1-\alpha}}, \quad (4)$$

em que, VA corresponde ao valor agregado da produção, K é o estoque de capital e L é o fator trabalho. O parâmetro α representa a parcela da renda do capital na renda total. Então, se o valor agregado pela produção aumentar mais que a tecnologia existente, é capaz de explicar com aumentos no capital e no trabalho, isso implica que capital e trabalho estariam ficando mais produtivos, o que equivale a um avanço da tecnologia.

4 MODELO DE FRONTEIRA ESTOCÁSTICA DE PRODUÇÃO

Uma vez que avaliamos o desempenho da indústria por meio da PTF, iremos, nesta seção, propor outro modo de avaliação, o qual se dá por meio da análise de fronteira estocástica. O modelo de fronteira estocástica foi proposto simultaneamente por três grupos de pesquisadores: Aigner, Lovell e Schmidt (1977), Meeusen e Broeck (1977) e Battese e Corra (1977). Essa abordagem consistiu em uma tentativa de superar as limitações das fronteiras determinísticas que não permitiam a presença de um erro aleatório (fora do controle das firmas), considerando todo resíduo como sendo ineficiência técnica. No modelo de fronteira estocástica, o componente aleatório é composto de duas partes: uma que mede a eficiência técnica, passível de controle pelas firmas; e outra que captura erros aleatórios, fora do controle das firmas. Assim, a análise de fronteira estocástica consegue superar a limitação da PTF, em que o resíduo de Solow incorpora tanto fatores gerenciáveis como aqueles não gerenciáveis, desta forma poluindo a medida de progresso técnico.

Em termos formais, a fronteira estocástica de produção é um modelo econométrico que objetiva estimar uma função de produção, $f \in R_+$, que, por sua vez, é a quantidade máxima produzida para certo conjunto de insumos. Se uma firma i é ineficiente no tempo t , então sua produção y_{it} deve estar abaixo da produção de nível ótimo ou eficiente $f(k_{it}, n_{it}, \beta)e^{v_{it}}$, ou seja, $y_{it} < f(k_{it}, n_{it}, \beta)e^{v_{it}}$, em que β é o vetor de parâmetros da função de produção e v_{it} é um termo aleatório, tal que $v_{it} \sim N(0, \tau^2)$. Assume-se que v_{it} é independente e identicamente distribuído, indicando os fatores não gerenciáveis da firma. A igualdade entre a produção real e a produção eficiente pode ser estabelecida da seguinte forma:

$$y_{it} = f(k_{it}, n_{it}, \beta)e^{v_{it}-u_{it}}, \quad (5)$$

em que, u_{it} é um termo aleatório não negativo que representa a ineficiência da firma i em t . Portanto, a eficiência η_{it} pode ser definida da forma a seguir.

$$\eta_{it} = \frac{f(k_{it}, n_{it}, \beta)e^{v_{it}-u_{it}}}{f(k_{it}, n_{it}, \beta)e^{v_{it}}} = \exp(-u_{it}) \quad (6)$$

Para o desenvolvimento industrial, o monitoramento da eficiência ao longo do tempo é ponto importante. Parte do aumento da eficiência de uma firma provém dos ganhos de escala proporcionados pela expansão do mercado e, como esse é um processo que acontece ao longo do tempo, a desconsideração da evolução temporal da eficiência fatalmente leva a resultados não confiáveis dessa medida, tornando-os vulneráveis à crítica.

4.1 Abordagem bayesiana para estimação econométrica

Iremos assumir, tal como foi feito para calcular a PTF, que a forma funcional f seja uma Cobb-Douglas. Então, o modelo de fronteira estocástica de custo pode ser especificado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \log(y_{it}) &= \beta_1 \log(k'_{it}) + \beta_2 \log(n'_{it}) + v_{it} + u'_{it} \\ v_{it} &\sim N(0, \tau^2) \end{aligned} \quad (7)$$

Também assumiremos a hipótese de retornos constantes de escala, de modo que $\beta_1 + \beta_2 = 1$. Para não sobrecarregar a notação, façamos $x = (\log(k'_{it}), \log(n'_{it}))$ e $\beta = (\beta_1, \beta_2)$. Assim, o modelo pode ser reescrito da seguinte forma:

$$\log(y_{it}) = x'_{it}\beta + v_{it} + u'_{it}v_{it} \sim N(0, \tau^2) \quad (8)$$

Na prática bayesiana, existem diversos modelos que podem ser empregados para estimar o modelo de fronteira estocástica. Pode-se enquadrá-los em uma perspectiva histórica. Inicialmente, Koop, Osiewalski e Steel (1995; 2000) assumem que os parâmetros relacionados à fronteira estocástica são os mesmos para todas as unidades com o passar do tempo. Em Fernandez, Osiewalski e Steel (1997), é mostrada uma discussão formal da existência da distribuição *a posteriori* em modelos de fronteira estocástica com *priori* imprópria.

O modelo proposto neste estudo para estimação da fronteira estocástica de produção segue de perto aquele que aparece em Tsionas (2006), o qual incorpora no modelo um processo gerador para o termo $\log(u'_{it})$, permitindo que a ineficiência possa variar no tempo. Aqui a ineficiência é representada por um processo autorregressivo de primeira ordem (AR(1)), de modo que a equação para o logaritmo da ineficiência técnica seja tal que:

$$\begin{aligned} \log u_{it} &= \phi \log u_{it-1} + \varepsilon_{it} \\ \log u_{it} &\sim N(\eta_i, \sigma^2) \\ \varepsilon_{it} &\sim N(0, \sigma^2) \\ \phi &\in (-1, 1) \end{aligned} \quad (9)$$

TEXTO para DISCUSSÃO

Definindo: $u = (u_1, \dots, u_N)$ com $u_i = (u_{i1}, \dots, u_{iT})$; e $y = (y_1, \dots, y_N)$ com $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{iT})$, sendo que o vetor x é definido da mesma forma. Assim, a função de densidade conjunta para y e u é dada pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} p(y, u | x, \beta, \tau^2, \sigma^2, \phi) &= p(y | u, x, \beta, \tau^2) p(u | \sigma^2) = \\ &= (2\pi\tau^2)^{-\frac{NT}{2}} \left(\exp \left[-\frac{1}{2\tau^2} \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N (y_{it} - x_{it}\beta + u_{it})^2 \right] \right) \times \\ &\times (2\pi\sigma^2)^{-\frac{NT}{2}} \left(\exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N (\log u_{it} - \phi \log u_{it-1})^2 \right] \right) \end{aligned} \quad (10)$$

4.2 Inferência bayesiana

De uma perspectiva bayesiana, a especificação do modelo só é completa após a atribuição de uma distribuição para todos os parâmetros do modelo. Portanto, uma distribuição *a priori* deve ser imputada para cada parâmetro. Neste estudo, assume-se que a distribuição *a priori* para $(\beta, \tau^2, \sigma^2, \phi)$ tem a seguinte função de densidade conjunta:

$$p(\beta, \tau^2, \sigma^2, \phi) = p(\beta) p(\tau^2) p(\sigma^2) p(\phi) , \quad (11)$$

em que, $\beta \sim N_k(\mu_0, \Sigma_0)$, $\tau^2 \sim IG(\alpha_0, \gamma_0)$, $\sigma^2 \sim IG(\alpha_1, \gamma_1)$ e $\phi \sim Beta(v_1, v_2)$. Aqui N_k e IG denotam, respectivamente, as funções de densidade normal multivariada e a gama invertida, sendo as quantidades $(\mu_0, \Sigma_0, \alpha_0, \gamma_0, \alpha_1, \gamma_1, v_1, v_2)$ os hiperparâmetros. Assim, a função de distribuição *a posteriori* dos parâmetros é dada pelo produto da função de verossimilhança e da distribuição *a priori* dos parâmetros, tal como definida na expressão:

$$\begin{aligned} p(\beta, \tau^2, \sigma^2, \phi, u | y, x) &= p(y | u, x, \beta, \tau^2, \phi) p(u | \sigma^2, \phi) \times \\ &\times p(\beta) p(\tau^2) p(\sigma^2) p(\phi) \end{aligned} \quad (12)$$

Essa distribuição é analiticamente intratável e, portanto, o amostrador de Gibbs ou algoritmo MCMC (Markov Chain Monte Carlo) será utilizado para amostrar os parâmetros de interesse. Neste caso, as distribuições condicionais completas *a posteriori* para parâmetros $(\beta, \tau^2, \sigma^2)$ são conhecidas e disponíveis para amostragem. Apenas a distribuição condicional de ϕ não é conhecida. Portanto, será utilizado o algoritmo Metropolis (Shaby e Wells, 2010) para amostragem desta distribuição condicional. O algoritmo de MCMC será desenvolvido a partir das distribuições condicionais que aparecem no apêndice A.

5 RESULTADOS

5.1 PTF

A tabela 1 apresenta a evolução da PTF de 29 setores industriais brasileiros, bem como da indústria total. Seguindo Ellery Junior (2017), utilizamos o valor de 0,4 para o parâmetro α , o que, *grossa modo*, significa supor que a renda do capital equivale a 40% e a renda do trabalho a 60% da renda nacional.⁵ Fizemos os cálculos também com um α de 0,35, mas as diferenças foram pouco significativas.

Com base nos resultados obtidos, podemos observar que, ao longo desses doze anos, os fatores de produção empregados na indústria brasileira ficaram aproximadamente 12% menos produtivos. Dos 29 setores industriais, apenas três tiveram ganhos na PTF, quais sejam: extração de petróleo e gás natural; fabricação de produtos alimentícios; e metalurgia. Boa parte da queda da produtividade aconteceu até 2016. De 2016 a 2018, houve uma melhora da PTF da indústria brasileira de aproximadamente 14%. Nesse período, a PTF ficou quase constante em quatro setores industriais, subiu em dezenove setores e caiu nos outros seis setores.

Podemos propor algumas conjecturas para justificar por que houve uma queda tão acentuada da produtividade entre 2011 e 2016. A partir do início de 2011 até 2016, o Brasil esteve sob a uma política denominada Nova Matriz Econômica, que foi um conjunto de medidas com uma forte intervenção governamental direcionada para certos setores da indústria, como a indústria automotiva e indústria naval. No entanto, essa política de crédito subsidiado parece ter afetado negativamente a PTF. O crédito subsidiado pode ser entendido como um tipo de restrição do mercado de crédito. Existe toda uma literatura recente que aborda a relação entre a má-alocação de recursos e a restrição ao crédito (Almeida, 2014). Entre as possíveis consequências dessa restrição está a que ela limita a escolha ótima de capital e a realocação de recursos entre agentes produtivos e improdutivos, gerando queda na taxa de crescimento do PIB e afetando negativamente a PTF. Essa ineficiência pode gerar perdas de produto e produtividade em uma economia.

Conforme também assinala Barbosa Filho (2017), não houve o crescimento esperado, mas sim a queda da PTF, reduzindo a capacidade de crescimento da economia no período. De acordo com Barbosa Filho (2017), entre 2010-2014, a participação do capital no crescimento do PIB

5. Interessante notar que o valor de escolha do parâmetro α se aproxima do valor estimado deste parâmetro no modelo de fronteira estocástica de produção.

creceu em decorrência da elevação do investimento. No entanto, houve logo após esse período de imediata queda da PTF.

A queda de produtividade também decorre de uma distorção na alocação de fatores de produção, distanciando a economia daquilo que seria uma alocação ótima. Isso é conhecido na literatura econômica como *misallocation* (Restuccia e Rogerson, 2017).⁶ Por exemplo, se duas firmas A e B produzem com um mesmo tipo de fábrica, com a mesma tecnologia, idealmente, deveriam também contratar a mesma quantidade de trabalho e capital. Seriam igualmente produtivas. Se B recebe algum favorecimento oficial, como o crédito subsidiado, B contrata mais trabalho e capital, modificando o que antes era a alocação ótima dos fatores de produção. Esses fatores poderiam ser usados de forma mais eficiente se saíssem de B e fossem empregados por A, aumentando o produto total e a PTF. De fato, os dados da PIA mostram que, entre 2010 e 2016, apenas seis setores industriais experimentaram uma melhora na PTF. Ao longo do período da Nova Matriz Econômica, a indústria brasileira como um todo ficou 15,7% menos produtiva.

6. Uma medida mais específica relacionada à má-alocação é à eficiência é objeto de análise da seção 4, quando empregamos o conceito de fronteira estocástica de produção.

TABELA 1
Evolução da PTF em 29 setores da indústria brasileira

Sector industrial	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1 Extração de carvão mineral	1,242563	1,262002	1,400885	1,286773	1,270667	1,066351	1,12727	1,311192	1,309681	1,162053	0,987341	0,929084	0,773905
2 Extração de petróleo e gás natural	0,389562	0,632642	0,678895	2,567385	4,95408	1,564303	1,416965	2,284662	1,281415	1,243885	2,034458	2,280132	1,983498
3 Extração de minerais metálicos	2,75053	3,104443	1,847858	3,053731	3,842924	3,199634	2,757171	2,052879	1,895395	1,538401	2,010208	2,037746	1,050032
4 Extração de minerais não metálicos	1,413905	1,610039	1,64091	1,732165	1,684174	1,594253	1,448209	1,594251	1,481589	1,192973	1,161652	1,162269	1,125096
5 Atividades de apoio à extração de minerais	1,50211	1,812985	1,671179	1,597221	1,688243	1,62392	1,299221	1,496966	1,597555	0,985546	1,026023	1,006414	0,890565
6 Fabricação de produtos alimentícios	0,957163	1,0866	1,031622	1,166718	1,179442	1,198897	1,15419	1,141118	1,188022	1,174573	1,21039	1,173609	1,122495
7 Fabricação de bebidas	1,582407	1,703528	1,741034	1,732132	1,665305	1,714585	1,405849	1,386769	1,436394	1,308303	1,249264	1,282104	1,331537
8 Fabricação de produtos do fumo	2,223263	2,498841	3,022859	2,452807	2,489869	2,777617	2,66108	2,425545	2,347549	1,617484	1,464315	1,592109	1,700725
9 Fabricação de produtos têxteis	1,328858	1,37815	1,24596	1,291532	1,268141	1,286089	1,262992	1,224129	1,125142	1,114016	1,273444	1,200907	1,176669
10 Confecção de artigos do vestuário e acessórios	2,105841	1,855851	1,810013	1,878641	2,119049	2,079914	1,958055	1,738743	1,590652	1,690107	1,77608	1,805588	1,836718
11 Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	1,525309	1,619049	1,441007	1,604777	1,490579	1,623019	1,615352	1,587759	1,469823	1,53349	1,611755	1,600056	1,544688
12 Fabricação de produtos de madeira	1,512329	1,563052	1,253841	1,362405	1,232636	1,316863	1,349764	1,236822	1,165431	1,141028	1,254564	1,358131	1,3363
13 Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	1,223469	1,149861	1,017468	1,050713	1,129426	1,062947	1,097813	1,045372	1,185865	1,150641	1,158137	1,280052	1,154408
14 Impressão e reprodução de gravações	1,487815	1,463118	1,176834	1,310653	1,420045	1,283022	1,37624	1,4682	1,254701	1,261296	1,178752	1,2487	1,252792
15 Fabricação de coque de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	1,498127	1,494029	1,273575	1,199731	1,080562	0,825474	0,851677	0,95209	0,583433	0,910476	0,83416	1,114321	1,393746
16 Fabricação de produtos químicos	1,545429	1,461445	1,086035	1,235921	1,311191	1,268872	1,322517	1,252134	1,39489	1,383188	1,336319	1,367063	1,341101

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

Sector industrial	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
17 Fabricação de produtos farmo- químicos e farmacêuticos	1,700089	1,609046	1,335356	1,485402	1,387289	1,380129	1,449224	1,437053	1,401626	1,45298	1,554175	1,620495	1,631608
18 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	1,213573	1,147798	1,106984	1,170123	1,109675	1,071958	1,09552	1,110878	1,033737	1,042114	1,035623	0,985105	1,062789
19 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	1,491266	1,594538	1,270773	1,371894	1,367425	1,324661	1,29183	1,233947	1,093829	0,942174	0,859231	0,990184	0,980531
20 Metalurgia	1,594743	1,781355	0,968911	1,133161	0,992909	0,992573	1,067467	1,074543	1,040977	0,962724	1,037054	1,409909	1,207774
21 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	1,762232	1,798045	1,543703	1,487026	1,517496	1,430854	1,416495	1,316875	1,21512	1,229252	1,201292	1,323357	1,363674
22 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	2,269721	1,982114	1,12494	1,43176	1,580216	1,547829	1,728851	1,560091	1,612343	1,614603	1,785569	1,716411	1,715484
23 Fabricação de máquinas, apa- relhos e materiais elétricos	1,448985	1,564603	1,30835	1,433211	1,361358	1,368911	1,457416	1,280896	1,213603	1,212966	1,172604	1,265982	1,360614
24 Fabricação de máquinas e equipamentos	1,629185	1,674985	1,243623	1,477291	1,500322	1,400727	1,448163	1,404674	1,235644	1,215702	1,178089	1,343069	1,343226
25 Fabricação de veículos auto- motores, rebocues e carrocerias	1,523241	1,640756	1,259773	1,420736	1,397483	1,174898	1,211678	0,933531	0,728928	0,647463	0,87232	0,929293	0,909528
26 Fabricação de outros equi- pamentos de transporte, exceto veículos automotores	1,559175	1,598176	1,249318	1,289462	1,251475	1,142507	1,1728	1,139009	0,89851	0,867949	0,964159	0,800119	0,667642
27 Fabricação de móveis	1,342793	1,372615	1,257312	1,507583	1,46553	1,49595	1,427646	1,423406	1,166016	1,230897	1,219116	1,191775	1,232306
28 Fabricação de produtos diversos	1,630535	1,730553	1,63557	1,6884	1,696348	1,793948	1,844659	1,704417	1,561217	1,518234	1,532407	1,503693	1,596094
29 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	2,291191	2,509708	2,134927	2,117858	2,026629	1,963632	2,022078	2,064557	2,018501	1,957989	1,957716	1,958329	1,978129
Total	1,333963	1,396701	1,206103	1,321738	1,304187	1,213594	1,156752	1,097079	0,99486	1,016861	1,051176	1,132103	1,118481

Elaboração dos autores.

O gráfico 1 ilustra os valores da tabela 1, porém transformando-os para logaritmos e tomando-os na forma de diferença do logaritmo de 2007. Com isso, partimos sempre do valor zero em todas as séries, que ficam mais facilmente comparáveis. Os 29 setores seguem a numeração da tabela 1, sendo dispostos consecutivamente nos gráficos, com cinco setores por gráfico. O último gráfico (1F) é complementado com os valores do total da indústria. É notável o desempenho ruim da produtividade da indústria como um todo no período. Um setor que chama a atenção é o de extração de petróleo e gás natural, que, entre 2007 e 2011, foi um setor que experimentou um avanço considerável da PTF, sobretudo no período 2008-2010. A indústria de extração de petróleo e gás, que ocupava a 11ª posição em 2007, assumiu a liderança em 2011. Contudo, esse ganho de produtividade não se manteve, tendo em vista a queda da PTF em 2012. Assim, é oportuno conjecturar quais os fatores responsáveis pela ascensão da PTF nesse setor no período 2007-2011 e por que ela se retrai a partir dele.

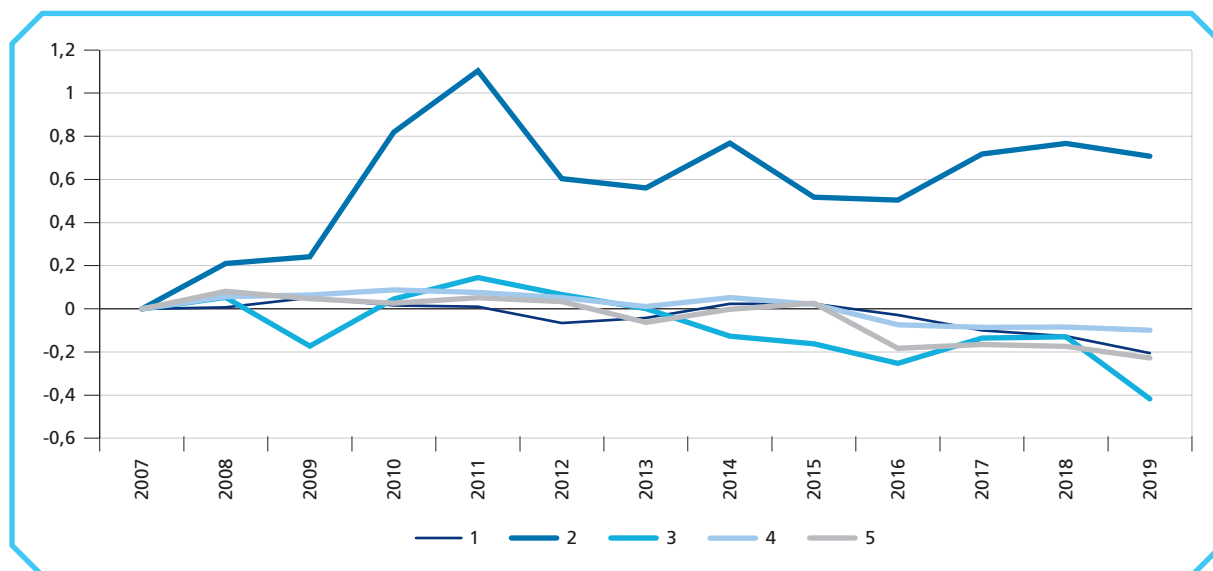
Com relação à subida da PTF no setor de gás e petróleo entre 2007 e 2011, isso pode ter sido devido ao plano de investimento e ao novo marco regulatório em exploração e produção (pré-sal) e na área de refino, o que resultou na elevação do investimento do país. No entanto, é sabido que a Petrobras foi outro instrumento importante na política de desenvolvimento de setores "estratégicos". O objetivo era utilizar o petróleo para estimular a construção de uma indústria petrolífera de máquinas e equipamentos nacional. Tal estratégia não alcançou os resultados esperados, como também não acarretou o aumento da eficiência do setor, que experimentou, imediatamente após 2011, uma queda abrupta da PTF. Concomitantemente, o setor de fabricação de derivados de petróleo (setor 15 da tabela 1) mostra estagnação da PTF ao longo de todo o período.

TEXTO para DISCUSSÃO

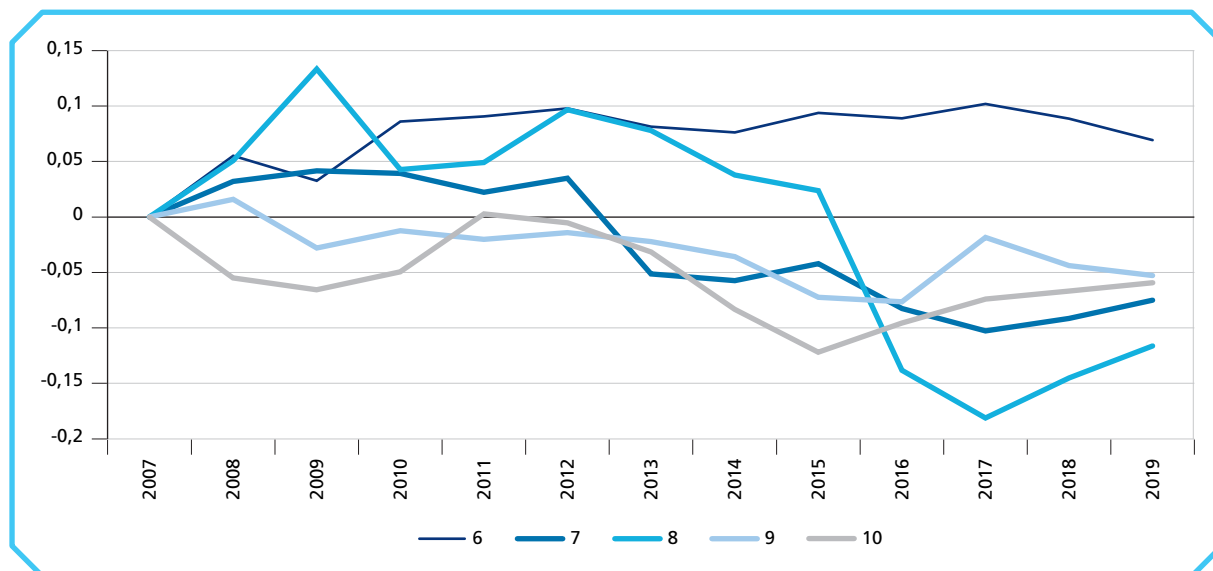
GRÁFICO 1

Evolução da PTF tomada como desvios do logaritmo de 2007

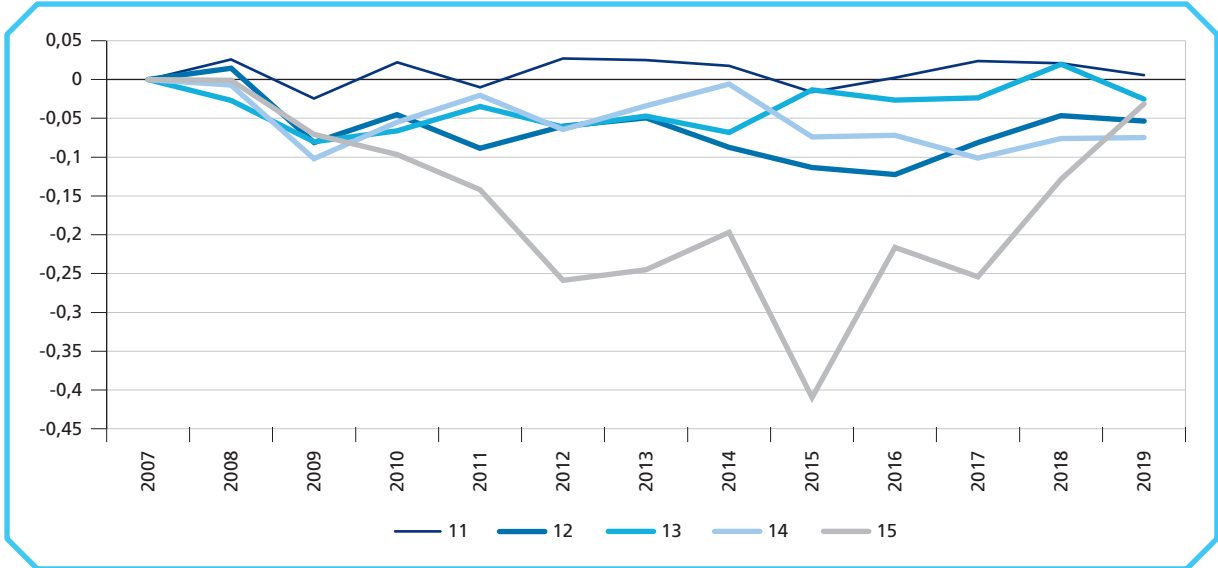
1A – Setores 1 a 5



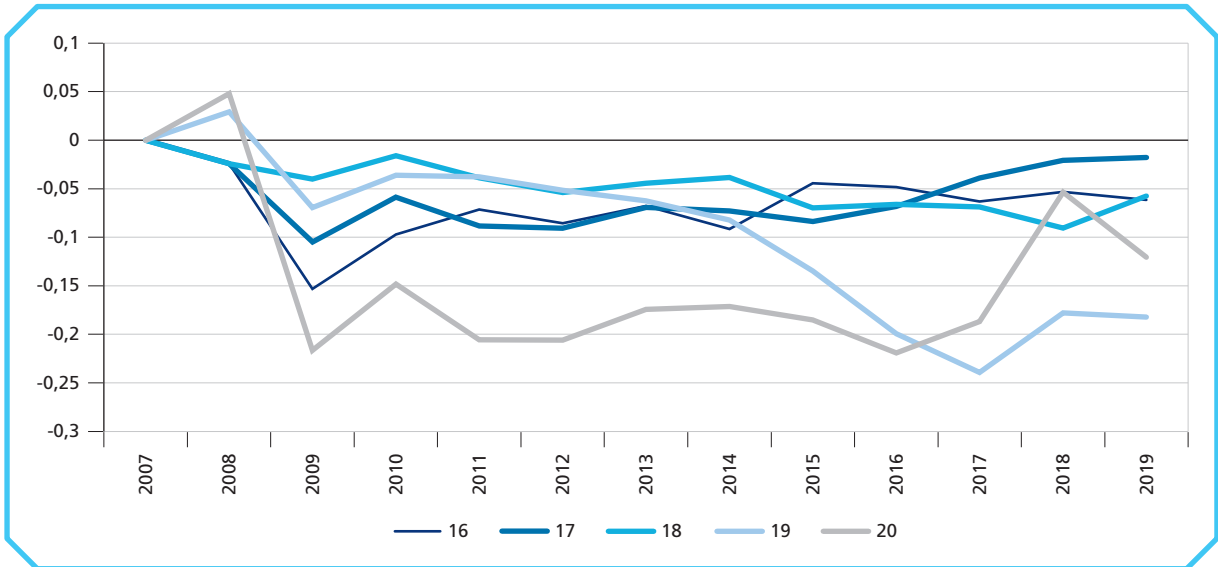
1B – Setores 6 a 10



1C – Setores 11 a 15

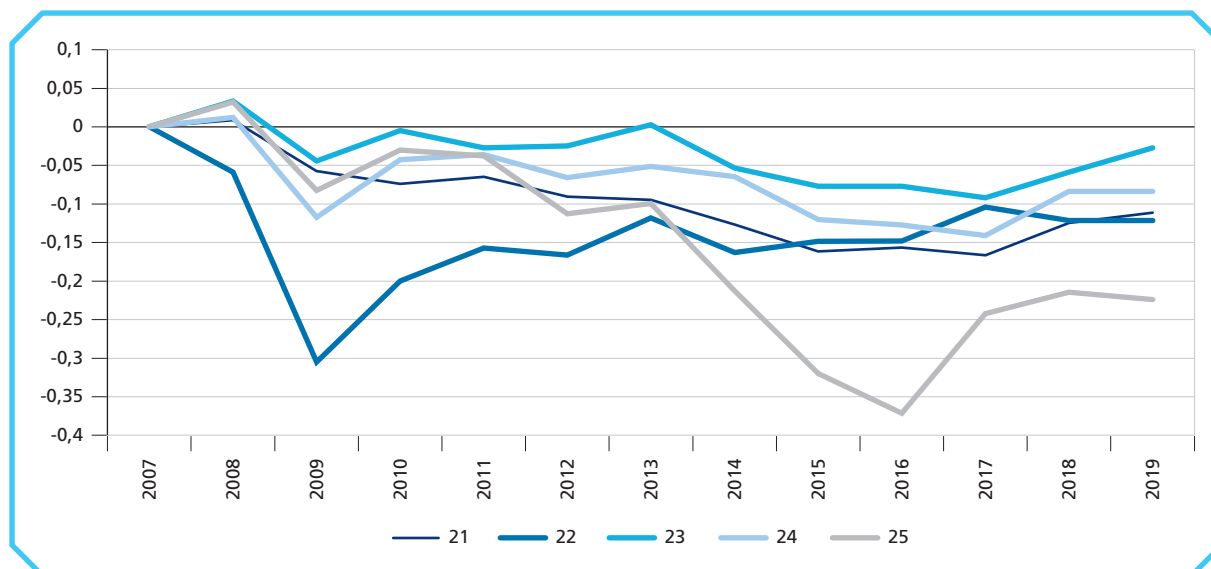


1D – Setores 16 a 20

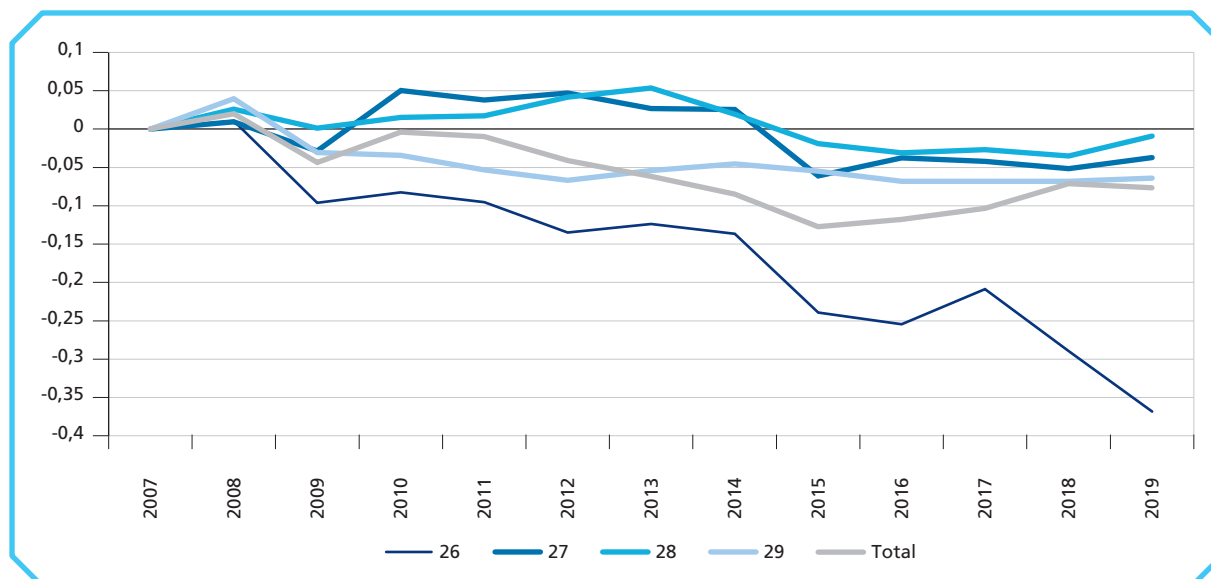


TEXTO para DISCUSSÃO

1E – Setores 21 a 25



1F – Setores 26 a total



Elaboração dos autores.

O gráfico 2 compara a PTF da indústria como um todo com o VBPI, agora tomados como diferença do logaritmo de 2010. Observa-se que a PTF segue, em alguma medida, a tendência da produção. Isso se deve ao fato bastante conhecido entre macroeconomistas de que a PTF tem um caráter pró-cíclico. Quando ocorre uma recessão, é natural que o valor agregado caia mais intensamente do que o uso dos insumos, por conta da dificuldade em se fazer ajustes na produção em curtos períodos. Pelo lado do capital, devido ao caráter irreversível de muitas inversões, e pelo lado do trabalho, por esquemas de incentivos a *lay-offs* temporários que buscam de alguma forma evitar flutuações excessivas na renda do trabalho.

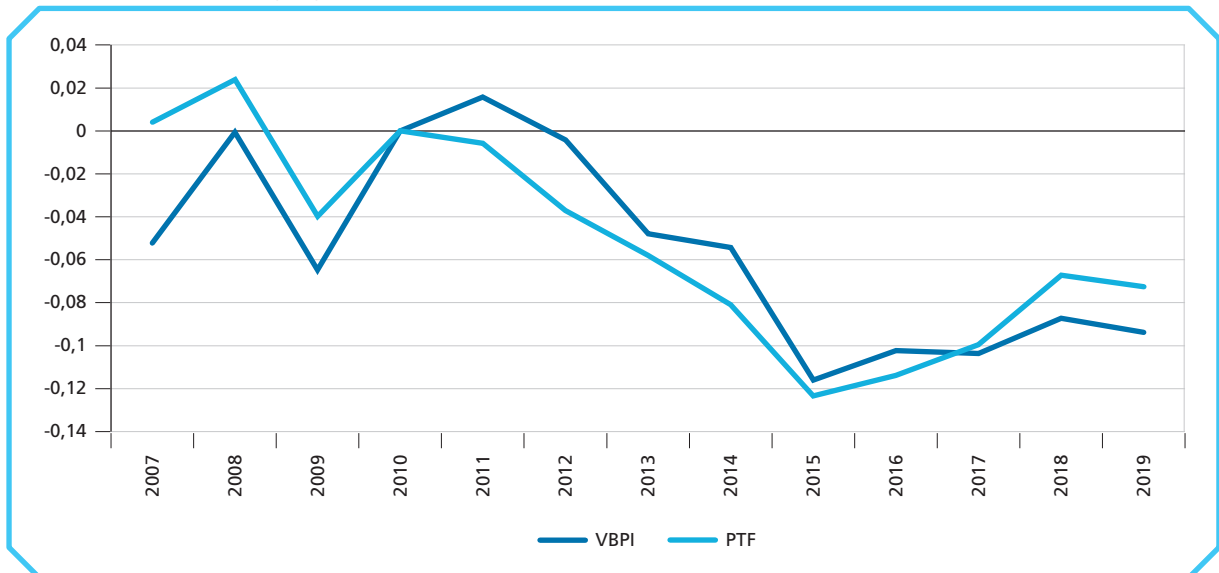
Interessante também é observar que até 2014 a indústria brasileira fez consideráveis inversões de capital apesar do VBPI ficar relativamente estagnado no período. A indústria aumentou em 27,4% o seu estoque total de capital entre 2007 e 2014, para um aumento no valor bruto da produção de apenas 2,2% no mesmo período. O que pode ter sido reflexo das políticas de subsídios aos investimentos da Nova Matriz Econômica, que incluíam incentivos diversos à ampliação de linhas de produção, financiamentos com juros subsidiados para a aquisição de caminhões, entre outros.

A recuperação da PTF se deu a partir de 2016, quando ocorreu, entre 2016 e 2018, um aumento no VBPI de aproximadamente 7%. Esse ganho de produção foi alcançado pela indústria a despeito de reduções no estoque de capital (2% de queda) e, principalmente, no fator trabalho (9,5% de queda).

GRÁFICO 2

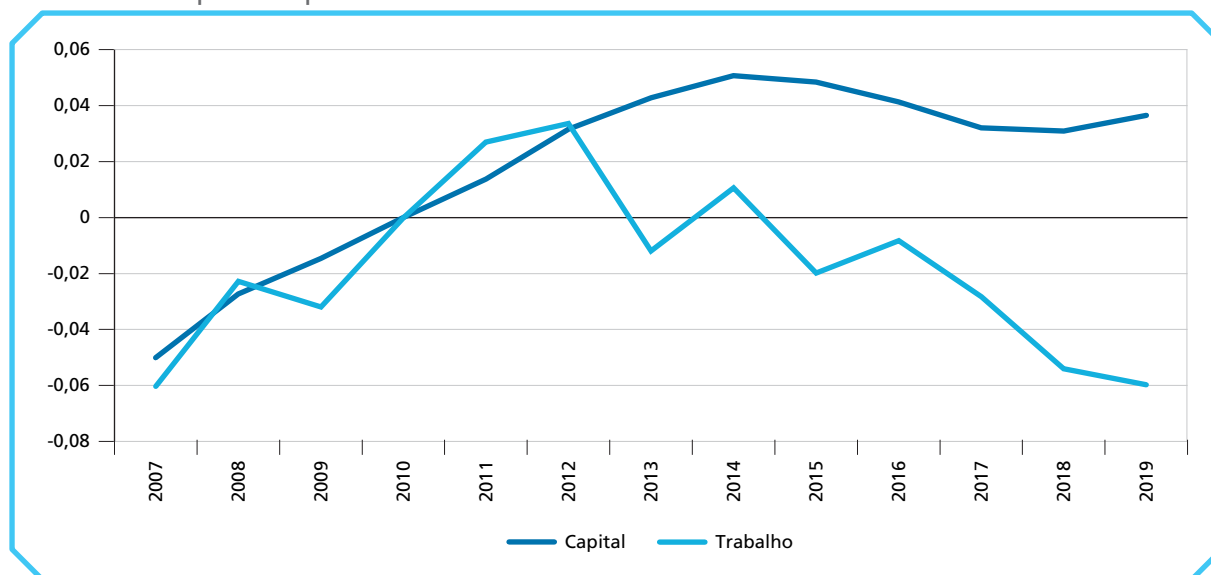
Produção agregada por VBPI, PTF, estoque de capital e trabalho na indústria brasileira, tomados como desvio do logaritmo de 2010

2A – Produção agregada *versus* PTF



TEXTO para DISCUSSÃO

2B – Estoque de capital *versus* fator trabalho



Elaboração dos autores.

5.2 Fronteira estocástica de produção

Nesta seção, apresentamos os resultados do modelo de fronteira estocástica de produção para o setor industrial brasileiro estimados com base na abordagem bayesiana, conforme a metodologia descrita na seção 4. Conforme já dito, as informações são provenientes da PIA com a classificação das atividades no nível das divisões da CNAE 2.0 (dois dígitos). A amostra está estruturada na forma de dados de painel para 29 setores. As mesmas variáveis utilizadas no cálculo da PTF são também usadas na estimação da fronteira estocástica de produção, quais sejam, o produto, o capital e o trabalho.

A tabela 2 apresenta as estimativas dos coeficientes de regressão, acompanhados dos respectivos erros-padrão e intervalos de credibilidade ou banda bayesiana. O modelo está especificado para uma função Cobb-Douglas com retornos constantes de escala, de modo que por hipótese a soma dos coeficientes do capital e do trabalho deve somar um. Conforme pode ser visto, as variáveis explicativas são significativas, apresentando os sinais em conformidade com o esperado. Interessante observar que a hipótese de retornos constantes de escala se confirma na medida em que a soma dos coeficientes numericamente é muito próxima de um (0.99). Não obstante, apresentamos também na tabela 2 a distribuição da soma dos coeficientes cujos resultados indicam a confirmação desta hipótese.

TABELA 2
Resultados dos parâmetros estimados

Parâmetros	Média (1)	Erro-padrão (2)	2,5% (3)	97,5% (7)
CTE	1,5432	0,3253	0,9237	2,1790
Capital	0,3693	0,0181	0,3332	0,4047
Trabalho	0,6306	0,0245	0,5829	0,6786
$\beta_1 + \beta_2 = 1$	0,999	0,019	0,965	1,036
Sigma2 τ^2	0,0436	0,0051	0,0345	0,0547
Phi ϕ	0,8700	0,0375	0,7827	0,9314
Sigma2_u σ^2	0,8279	0,1202	0,6238	1,1010

Elaboração dos autores.

TABELA 3
Ranking da eficiência da indústria por setor (2007-2019)

Sector industrial	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
26 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6 Extração de petróleo e gás natural	29	29	29	16	7	6	5	5	5	5	5	4	2
20 Fabricação de produtos químicos	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3
12 Fabricação de produtos do fumo	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	4
10 Fabricação de produtos alimentícios	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
24 Metalurgia	8	8	9	8	9	8	8	7	6	6	6	6	6
27 Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	6	6	6	6	6	7	7	6	7	7	7	7	7
29 Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	5	5	5	5	5	5	6	8	10	10	10	9	8
11 Fabricação de bebidas	9	9	7	7	8	9	9	9	8	8	8	8	9
15 Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	11	11	12	11	12	10	10	10	9	9	9	10	10
7 Extração de minerais metálicos	16	16	16	13	14	16	16	17	18	18	15	12	11

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

Setor industrial	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
14 Confeção de artigos do vestuário e acessórios	10	10	10	9	10	11	11	11	11	11	11	11	12
13 Fabricação de produtos têxteis	15	15	14	15	16	15	14	13	13	13	13	14	13
31 Fabricação de móveis	13	12	11	10	11	12	12	12	12	14	14	15	14
22 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	18	18	18	18	18	18	17	16	16	15	16	16	15
28 Fabricação de máquinas e equipamentos	12	13	13	14	15	14	13	14	15	16	17	17	16
25 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	14	14	15	17	17	17	18	19	19	17	18	18	17
33 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	19	17	17	19	21	21	20	18	14	12	12	13	18
17 Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	25	26	27	24	23	23	22	21	21	19	19	19	19
16 Fabricação de produtos de madeira	20	22	22	23	25	24	24	24	23	23	22	21	20
32 Fabricação de produtos diversos	21	20	21	22	19	19	19	20	20	20	20	22	21
21 Fabricação de produtos farmacêuticos e farmacêuticos	23	24	23	25	26	25	23	22	22	22	21	20	22
19 Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	22	23	24	26	27	27	28	29	29	28	26	24	23
23 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	17	19	19	20	20	20	21	23	24	24	24	25	24
18 Impressão e reprodução de gravações	27	27	28	27	24	26	25	27	27	25	25	26	25
30 Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	7	7	8	12	13	13	15	15	17	21	23	23	26
5 Extração de carvão mineral	26	25	26	28	28	28	27	25	26	27	28	28	27
8 Extração de minerais não metálicos	24	21	20	21	22	22	26	26	25	26	27	27	28
9 Atividades de apoio à extração de minerais	28	28	25	29	29	29	29	28	28	29	29	29	29

Elaboração dos autores.

Na tabela 3 mostramos a evolução da eficiência r ao longo do tempo. Para facilitar o entendimento, o ranqueamento *benchmark* é o do ano de 2019, de modo que as séries estimadas das eficiências ilustram a evolução temporal desta variável. Os valores das eficiências aparece é mostrado no apêndice B. Observa-se na tabela 3 que, de um modo geral, não há variação significativa no comportamento relativo da eficiência em cada setor que possa chamar a atenção. No entanto, há exceções que pode nos oferecer informações importantes.

Percebe-se uma melhora substancial na evolução da eficiência do setor de extração de petróleo e gás natural que, em 2007, estava na 27ª colocação, sendo que, a partir de 2011, a eficiência deste setor começou a crescer; alcançando, em 2019, a segunda colocação no *ranking* dos setores. Com relação ao aumento da eficiência no setor extração de petróleo e gás natural, tal subida pode ser explicada pelos mesmos fatores relacionado à subida da PTF neste setor entre 2007 e 2011. Um novo marco regulatório em exploração e produção (pré-sal) e na área de refino resultou na elevação do investimento no setor.

De modo contrário, a eficiência do setor de fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores despencou, saindo da 7ª colocação, em 2007, para a 26ª colocação, em 2019. Segundo a CNAE, esse setor compreende a construção de embarcações e estruturas flutuantes, de veículos ferroviários, de aeronaves, de motocicletas, bicicletas e outros equipamentos de transporte e também a fabricação de veículos militares de combate, de cadeiras de rodas, e de veículos semelhantes para deficientes físicos, e de peças para estes. O colapso da indústria naval brasileira a partir de 2014, com a desativação de boa parte dos estaleiros, as demissões em massa e um nível de atividade bem abaixo da capacidade instalada, é um elemento que ajuda a explicar a perda de eficiência do setor como um todo.

Excetuando-se esses dois casos, parece não haver alteração estrutural no comportamento da eficiência na indústria brasileira, de modo que certos setores – como fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, fabricação de produtos químicos etc. – são estruturalmente eficientes, enquanto outros – como os setores ligados à mineração – são estruturalmente muito pouco eficientes.

O modelo de fronteira estocástica de produção também pode ajudar a identificar o que se conhece na literatura como má-alocação ou *misallocation* (Restuccia e Rogerson, 2017), cuja definição está relacionada a quanto uma economia se distancia daquilo que seria o emprego ótimo dos fatores. No caso específico de má-alocação, a utilização real dos fatores é comparada com aquela que se daria onde apenas o seu custo de oportunidade é considerado. Existem metodologias específicas para este tipo de análise (Hsieh e Klenow, 2009). O modelo de fronteira estocástica de

produção ajuda a identificar os setores onde existe má-alocação dos recursos. Neste caso, com base nos resultados das eficiências mostrados na tabela B.1 do apêndice B, os setores ligados à mineração podem possuir na estrutura um sério problema de má-alocação, tendo em vista os baixos escores obtidos para eficiência desses setores. De forma geral, observa-se ainda na tabela B.1 que setores ligados à extração de recursos naturais são os menos eficientes.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

A melhoria da produtividade dos fatores de produção é uma questão que deve estar no centro do debate econômico no Brasil. Não existe a possibilidade de deixar a condição de país de renda média e tomar uma trajetória de forte crescimento sustentável no longo prazo sem que sejam observados grandes aumentos na produtividade dos fatores de produção. Daí a importância de se estudar essa produtividade. Porque não conseguimos sair dessa armadilha da renda média baixa, na qual estamos presos há ao menos quatro décadas? O que explica a estagnação da produtividade dos fatores de produção no Brasil?

Parte da baixa produtividade da estrutura produtiva de um país como o Brasil possivelmente tem a ver com a má-qualificação da força de trabalho: baixos níveis de capital humano, baixa escolaridade, altos índices de analfabetismo e analfabetismo funcional etc. Porém, uma alocação ruim dos recursos produtivos existentes pode afetar a produtividade dos fatores de produção, e tornar um país mais pobre do que ele poderia ser. Ou seja, é possível que uma parte considerável da baixa produtividade seja explicada pela má-alocação dos recursos produtivos, em geral resultante de políticas públicas mal desenhadas. Ambos os problemas referentes ao progresso tecnológico e má-alocação dos recursos foram neste estudo tratados, respectivamente, com base nos modelos de PTF e fronteira estocástica de produção usando dados da PIA para 29 setores industriais brasileiros entre 2007 e 2019.

Em termos de PTF, a indústria brasileira como um todo ficou aproximadamente 15,7% menos produtiva ao longo de todo o período. De um modo geral, a PTF caiu consistentemente durante os anos da Nova Matriz Econômica. Após 2016, houve uma reversão na trajetória da PTF em quase todos os setores industriais, e na indústria como um todo. Em apenas dois anos a PTF da indústria subiu 9,7%. Alguns setores experimentaram quedas bastante fortes na produtividade, caso do vestuário e da fabricação de produtos de minerais não metálicos. O setor de extração de petróleo e gás natural foi o único com um aumento expressivo na produtividade.

Com relação à eficiência medida com base na fronteira estocástica de produção, os resultados indicam que, de um modo geral, há uma tendência de queda da eficiência na indústria

brasileira. No modelo de fronteira isso pode ser visto na medida em que os escores de eficiência de 2019 da tabela B.1 do apêndice B tendem a ser menores que os de 2007 para cada setor. Em alguns setores a queda foi bem acentuada. Sendo assim, confirma-se que o setor industrial vem perdendo competitividade, não somente por deficiência de progresso tecnológico, mas também pela má-alocação dos recursos. Em resumo, ambos os indicadores indicam tendência de queda no desempenho da indústria.

Entre as exceções, encontra-se o setor de extração de petróleo e gás natural, que saltou da 29ª colocação, em 2007, para o segundo lugar, em 2019. Esta subida, que começa a acontecer em 2010, possivelmente se deve à instauração do novo marco regulatório em exploração e produção (pré-sal) e na área de refino, resultando na grande elevação do investimento no setor. Os resultados ainda mostraram que existem setores bastante ineficientes.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, D.; LOVELL, K. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of Econometrics**, v. 6, n. 1, p. 21-37, July 1977.
- ALMEIDA, C. A. de. **Má-alocação de recursos, restrição a crédito e o papel do governo: uma resenha**. 2014. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Pós-graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2014.
- BARBOSA FILHO, F. de H. A crise econômica de 2014-2017. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 51-60, abr. 2017.
- BARBOSA FILHO, F. de H.; PESSOA, S. de A.; VELOSO, F. A. Evolução da produtividade total dos fatores na economia brasileira com ênfase no capital humano – 1992-2007. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 91-113, abr.-jun. 2010.
- BATTESE, G. E.; CORRA, G. Estimation of a production frontier model, with application to the pastoral zone of Eastern Australia. **Australian Journal of Agricultural Economics**, v. 21, n. 3, p. 169-179, Dec. 1977.
- BERLEMANN, M.; WESSELHÖFT, J. Estimating aggregate capital stocks using the perpetual inventory method: a survey of previous implementations and new empirical evidence for 103 countries. **Review of Economics**, v. 65, n. 1, p. 1-34, 2014.
- BRAGANOLO, C.; SPOLADOR, H.; BARROS, G. Regional Brazilian agriculture TFP analysis: a stochastic frontier analysis approach. **Revista EconomiA**, Brasília, v. 11, n. 4, p. 217-242, Dec. 2010.

DENISON, E. F. (Ed). **The sources of economic growth in The United States and the alternatives before US**. New York: Committee for Economic Development, 1962.

ELLERY JUNIOR, R. Produtividade total dos fatores no Brasil no período pós-reformas, **Economia Aplicada**, v. 21, n. 4, p. 617-633, 2017.

FERNANDEZ, C.; OSIEWALSKI, J.; STEEL, M. F. On the use of panel data in stochastic frontier models with improper priors. **Journal of Econometrics**, v. 79, n. 1, p. 169-193, 1997.

FERREIRA, P. C.; ELLERY JUNIOR, R.; GOMES, V. Produtividade agregada brasileira (1970-2000): declínio robusto e fraca recuperação. **Estudos Econômicos**, v. 38, n. 1, 2008.

GOMES, V.; PESSOA, S.; VELOSO, F. Evolução da produtividade total dos fatores na economia brasileira: uma análise comparativa. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 33, n. 3, p. 389-494, dez. 2003.

GRIFFIN, J. E.; STEEL, M. F. J. Bayesian stochastic frontier analysis using WinBUGS. **Journal of Productivity Analysis**, v. 27, n. 3, p. 163-176, Feb. 2007.

HARBERGER, A. Perspectives on capital and technology in less developed countries. *In*: ARTIS, M. J.; NOBAY, A. R. (Ed.). **Contemporary economic analysis**. London: Croom Helm Ltd, 1978. p. 42-72.

HSIEH, C.-T.; KLENOW, P. J. Misallocation and manufacturing TFP in China and India. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 124, n. 4, p. 1403-1448, Nov. 2009.

JACINTO, P.; RIBEIRO, E. Crescimento da produtividade no setor de serviços e da indústria no Brasil: dinâmica e heterogeneidade. **Economia Aplicada**, v. 19, n. 3, p. 401-427, 2015.

KENDRICK, J. W. (Ed.). **Productivity trends in the United States**. Cambridge, MA: NBER, 1961.

KOOP G, OSIEWALSKI J., STEEL M. F. J. Measuring the sources of output growth in a panel of countries. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 284, p. 299-318, 1995.

_____. A stochastic frontier analysis of output level and growth in Poland and Western economies. **Econ Papers**, v. 185, p. 202-233, 2000.

MEEUSEN, W.; BROECK, J. van den. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. **International Economic Review**, v. 18, n. 2, p. 435-444, June 1977.

MENDONÇA, M. J. C. de. *et al.* Analysis of electric distribution utilities efficiency levels by stochastic frontier in Brazilian power sector. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 76, Ago. 2021.

MESSA, A. Metodologias de cálculo da produtividade total dos fatores e da produtividade da mão de obra. *In*: DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. (Org.). **Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes**. 1 ed. Brasília: Ipea; ABDI, 2014. v. 1.

MORCEIRO, P. C. **Desindustrialização na economia brasileira no período 2000-2011: abordagens e indicadores**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

MILJKOVIC, D.; MIRANDA, S.; SHAIK, S. Trade openness and technical efficiency in Brazilian agriculture. **Applied Economics Letters**, v. 20, n. 2, p. 103-106, 2013.

RESTUCCIA, D.; ROGERSON, R. The causes and the costs of misallocation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 31, n. 3, p. 151-174, 2017.

ROCHA, F. Produtividade do trabalho e mudança estrutural nas indústrias brasileiras extrativa e de transformação, 1970-2001. **Revista de Economia Política**, v. 27, n. 2, p. 221-241, 2007.

SCHETTINI, D. **Eficiência produtiva da indústria de transformação nas regiões brasileiras uma análise de fronteiras estocásticas e cadeias espaciais de Markov**. 2010. 201 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SHABY, B. A.; WELLS, M. T. Exploring an adaptive metropolis algorithm. **Technical report**, Duke University, 2010.

SILVA, G.; de FARIA, R.; MOREIRA, T. Estimating the relative efficiency of Brazilian publicly and privately owned water utilities: a stochastic cost frontier approach. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 5, p. 1237-1244, Oct. 2007.

SOLOW, R. Technical change and the aggregate production function. **The Review of Economics and Statistics**, v. 39, n. 3, p. 312-320, Aug. 1957.

TECLES, P.; TABAK, B. Determinants of bank efficiency: the case of Brazil. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1587-1598, Dec.2010.

TSIONAS, E. G. Inference in dynamic stochastic frontier models. **Journal of Applied Econometrics**, v. 21, n. 5, p. 669-676, July-Aug. 2006.

VASCONCELOS, R. S. Misallocation in the Brazilian manufacturing sector. **Brazilian Review of Econometrics**, v. 37, n. 2, p. 191-232, 2017.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BROECK, J. van den *et al.* Stochastic frontier models: a bayesian perspective. **Journal of Econometrics**, v. 61, n. 2, p. 273-303, Apr. 1994.

CARTER, C. K.; KOHN, R. On Gibbs sampling for state-space models. **Biometrika**, v. 81, n. 3, p. 541-553, Aug. 1994.

FERNANDEZ, C.; KOOP, G.; STEEL, M. A bayesian analysis of multiple-output production frontiers. **Journal of Econometrics**, v. 98, n. 1, p. 47-79, Sept. 2000.

_____. Alternative efficiency measures for multiple output production. **Journal of Econometrics**, v. 126, n. 2, p. 411-444, June 2005.

FRÜHWIRTH-SCHNATTER, S. Data augmentation and dynamic linear models. **Journal of Time Series Analysis**, v. 15, n. 2, p. 183-202, Mar. 1994.

GAMERMAN, D.; LOPES, H. F. (Ed.). **Markov chain Monte Carlo**: stochastic simulation for bayesian inference. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 2006.

GAMERMAN, D.; MIGON, H. S. Dynamic hierarchical models. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 55, n. 3, p. 569-755, 1993.

GREENE, W. H. A gamma distributed stochastic frontier model. **Journal of Econometrics**, v. 46, n. 1-2, p. 141-164, Oct.-Nov. 1990.

GRIFFIN, J.; STEEL, M. Semiparametric bayesian inference for stochastic frontier models. **Journal of Econometrics**, v. 123, n. 1, p. 121-152, Nov. 2004.

APÊNDICE A

DISTRIBUIÇÕES A POSTERIORI

DISTRIBUIÇÃO CONDICIONAL COMPLETA DE β :

$$(\beta | \dots) \sim N(b_*, H_*^{-1}),$$

em que:

$$b_* = \left(\frac{(y+u)'x}{\tau^2} + \mu_0 \Sigma_0^{-1} \right) \left(\frac{x'x}{\tau^2} + \Sigma_0^{-1} \right)^{-1} e$$

$$H_* = \left(\frac{x'x}{\tau^2} + \Sigma_0^{-1} \right)^{-1}.$$

Distribuição condicional completa de τ^2 :

$$(\tau^2 | \dots) \sim IG(c_*, d_*),$$

em que:

$$c_* = \alpha_0 + \frac{NT}{2} e$$

$$d_* = \gamma_0 + \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (y_{it} - x_{it}\beta + \log u_{it})^2.$$

Distribuição condicional completa de σ^2 :

$$(\sigma_u^2 | \dots) \sim IG(c_{**}, d_{**}),$$

em que:

$$c_{**} = \alpha_1 + \frac{NT}{2} e$$

$$d_{**} = \gamma_1 + \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T (\log u_{it} - \phi \log u_{i,t-1})^2}{2}.$$

Para o parâmetro ϕ e, portanto para as ineficiência técnica u_{it} , não é possível encontrar uma distribuição condicional conhecida. Neste caso, é necessário empregar o algoritmo de Metropolis -Hastings (Shaby e Wells, 2010).

$$p(u_{it} | \dots) \propto \exp\left(-\frac{(y_{it} - x_{it}\beta - \log u_{it-1})^2}{2\tau^2}\right) \exp\left(-\frac{(\log u_{it} + \phi \log u_{it-1})^2}{2\sigma^2}\right).$$

REFERÊNCIA

SHABY, B. A.; WELLS, M. T. Exploring an adaptive metropolis algorithm. **Technical report**, Duke University, 2010.

APÊNDICE B

TABELA B.1

Valor da eficiência por setor industrial

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
26 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	0,989	0,990	0,990	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,991	0,989
06 Extração de petróleo e gás natural	0,375	0,323	0,690	0,921	0,967	0,970	0,973	0,978	0,977	0,976	0,983	0,986	0,984
20 Fabricação de produtos químicos	0,985	0,987	0,989	0,989	0,989	0,990	0,990	0,990	0,989	0,989	0,988	0,986	0,984
12 Fabricação de produtos do fumo	0,988	0,990	0,992	0,992	0,992	0,991	0,991	0,990	0,990	0,989	0,987	0,986	0,983
10 Fabricação de produtos alimentícios	0,981	0,984	0,985	0,986	0,987	0,986	0,987	0,987	0,986	0,986	0,986	0,985	0,981
24 Metalurgia	0,967	0,968	0,961	0,962	0,963	0,961	0,963	0,964	0,964	0,967	0,971	0,975	0,973
27 Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,971	0,974	0,972	0,972	0,971	0,969	0,969	0,966	0,961	0,957	0,958	0,959	0,958
29 Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	0,980	0,983	0,982	0,981	0,980	0,977	0,972	0,962	0,944	0,933	0,941	0,949	0,951
11 Fabricação de bebidas	0,963	0,966	0,967	0,968	0,965	0,960	0,952	0,950	0,951	0,949	0,949	0,951	0,951
15 Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	0,960	0,961	0,953	0,955	0,951	0,949	0,948	0,947	0,944	0,945	0,944	0,940	0,934
07 Extração de minerais metálicos	0,936	0,939	0,922	0,941	0,941	0,921	0,892	0,865	0,851	0,836	0,896	0,918	0,929
14 Confeção de artigos do vestuário e acessórios	0,962	0,964	0,960	0,958	0,956	0,949	0,941	0,928	0,916	0,915	0,919	0,919	0,920
13 Fabricação de produtos têxteis	0,943	0,941	0,932	0,929	0,928	0,923	0,917	0,911	0,896	0,895	0,900	0,905	0,909
31 Fabricação de móveis	0,955	0,956	0,954	0,956	0,953	0,947	0,936	0,925	0,902	0,891	0,897	0,896	0,903

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
22 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,928	0,922	0,903	0,894	0,881	0,875	0,877	0,876	0,870	0,871	0,878	0,896	0,902
28 Fabricação de máquinas e equipamentos	0,958	0,956	0,940	0,938	0,933	0,924	0,921	0,907	0,872	0,848	0,858	0,886	0,895
25 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,949	0,948	0,929	0,916	0,902	0,888	0,874	0,859	0,845	0,838	0,849	0,879	0,895
33 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	0,925	0,924	0,903	0,871	0,837	0,827	0,835	0,863	0,895	0,909	0,913	0,909	0,893
17 Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	0,868	0,845	0,799	0,795	0,797	0,779	0,801	0,803	0,818	0,832	0,840	0,869	0,877
16 Fabricação de produtos de madeira	0,900	0,880	0,818	0,798	0,772	0,773	0,779	0,779	0,768	0,771	0,804	0,846	0,860
32 Fabricação de produtos diversos	0,898	0,892	0,862	0,860	0,860	0,862	0,861	0,851	0,830	0,820	0,828	0,838	0,854
21 Fabricação de produtos farmacêuticos e farmacêuticos	0,886	0,866	0,816	0,782	0,763	0,770	0,779	0,794	0,800	0,807	0,821	0,847	0,850
19 Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	0,887	0,873	0,805	0,772	0,755	0,730	0,684	0,645	0,622	0,543	0,636	0,745	0,764
23 Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,929	0,918	0,878	0,865	0,855	0,838	0,816	0,790	0,749	0,706	0,675	0,718	0,757
18 Impressão e reprodução de gravações	0,844	0,819	0,762	0,765	0,775	0,761	0,755	0,743	0,707	0,696	0,660	0,666	0,695
30 Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	0,968	0,969	0,963	0,953	0,943	0,924	0,904	0,889	0,855	0,813	0,777	0,750	0,687
05 Extração de carvão mineral	0,856	0,854	0,802	0,756	0,711	0,695	0,714	0,778	0,729	0,613	0,597	0,620	0,678
08 Extração de minerais não-metálicos	0,884	0,887	0,873	0,860	0,835	0,792	0,744	0,756	0,732	0,678	0,619	0,621	0,628
09 Atividades de apoio à extração de minerais	0,785	0,817	0,804	0,753	0,707	0,688	0,617	0,673	0,680	0,529	0,499	0,451	0,464

Elaboração dos autores.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Chefe do Editorial

Aeromilson Trajano de Mesquita

Assistentes da Chefia

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

Supervisão

Camilla de Miranda Mariath Gomes

Everson da Silva Moura

Revisão

Alice Souza Lopes

Amanda Ramos Marques

Ana Clara Escórcio Xavier

Clícia Silveira Rodrigues

Idalina Barbara de Castro

Olavo Mesquita de Carvalho

Regina Marta de Aguiar

Reginaldo da Silva Domingos

Brena Rolim Peixoto da Silva (estagiária)

Nayane Santos Rodrigues (estagiária)

Editoração

Anderson Silva Reis

Cristiano Ferreira de Araújo

Danielle de Oliveira Ayres

Danilo Leite de Macedo Tavares

Leonardo Hideki Higa

Capa

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Projeto Gráfico

Aline Cristine Torres da Silva Martins

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.



ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL