

Bahia, Luiz Dias

Working Paper

Evolução tecnológica da indústria brasileira 2000-2016: Uma abordagem quantitativa

Texto para Discussão, No. 2653

Provided in Cooperation with:

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

Suggested Citation: Bahia, Luiz Dias (2021) : Evolução tecnológica da indústria brasileira 2000-2016: Uma abordagem quantitativa, Texto para Discussão, No. 2653, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília,
<https://doi.org/10.38116/td2653>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/240847>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

2653

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA BRASILEIRA 2000-2016: UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA

Luiz Dias Bahia

TEXTO PARA DISCUSSÃO



EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA BRASILEIRA 2000-2016: UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA¹

Luiz Dias Bahia²

1. Agradecemos a disponibilidade pública das Contas Nacionais Anuais, metodologia de 2010, entre 2000 e 2016, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no atual formato, o que permitiu estudos intertemporais como este. Os erros ainda existentes se devem ao autor.

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset) do Ipea.

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

Carlos von Doellinger

Diretor de Desenvolvimento Institucional

Manoel Rodrigues Junior

Diretora de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

Flávia de Holanda Schmidt

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

José Ronaldo de Castro Souza Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

Nilo Luiz Saccaro Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura

André Tortato Rauen

Diretora de Estudos e Políticas Sociais

Lenita Maria Turchi

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais

Ivan Tiago Machado Oliveira

Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação

André Reis Diniz

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** 2021

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: D57; C67.

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2653>

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO TEÓRICA	7
3 METODOLOGIA	17
4 ÍNDICES UTILIZADOS.....	24
5 RESULTADOS	26
6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	48
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	50

SINOPSE

Este trabalho buscou desenvolver e aplicar uma métrica para a tecnologia na indústria brasileira no período 2000-2016. Os resultados mostraram estabilidade dos índices de tecnologia propostos e uma intensa evolução de aprimoramento tecnológico da indústria brasileira depois de 2000 até 2016.

Palavras-chave: métrica; tecnologia; indústria brasileira.

ABSTRACT

This paper seeks the elaboration and application of a quantitative measurement for technology in Brazilian manufacturing during 2000-2016. The results have showed stability of the proposed technological indexes and an intensive technological development of the Brazilian manufacturing during 2000-2016.

Keywords: measurement; technology; Brazilian manufacturing.

1 INTRODUÇÃO

A construção de uma métrica de tecnologia é importante para o acompanhamento da evolução tecnológica da indústria brasileira, o que pode indicar tendências, possíveis gargalos, oportunidades de aprimoramento e outros aspectos sobre o tema (Bahia e Pinheiro, 2013; 2015; 2017). Entretanto, há aprimoramentos a serem feitos e avanços metodológicos indispensáveis, além da construção de índices de métrica traduzíveis quantitativamente, o que facilitaria sobremaneira o trabalho de análise. Outros aspectos derivados da métrica de tecnologia podem ser acrescentados (como eficiência técnica), enriquecendo as possibilidades analíticas.

Este trabalho se propõe a oferecer um instrumental analítico para a avaliação do desempenho tecnológico da indústria brasileira no período compreendido entre os anos 2000 e 2016, tomando por base dados de produção obtidos junto a matrizes insumo-produto (MIPs) bem como indicadores setoriais construídos a partir do referencial teórico da literatura econômica sobre inovação. O texto se organiza em seis seções. Depois desta introdução, fazemos uma seletiva revisão sobre onde se situa a atual proposta e seu sentido teórico. Na seção 3, apresentamos com mais rigor a proposta metodológica do trabalho; na seção 4, apresentamos os índices que serão trabalhados neste trabalho. Na seção 5, apresentamos resultados para o período 2000-2016, com análises preliminares; finalmente, na seção 6, concluímos o texto, buscando mostrar prováveis problemas atuais da evolução tecnológica industrial brasileira, ou ainda, caminhos e/ou necessidades de aprimoramento.

2 REVISÃO TEÓRICA

O objetivo desta seção é abordar seletivamente as medidas de tecnologia disponíveis no Brasil e internacionalmente, situando entre elas a opção deste trabalho. Depois, dentro da opção de medida deste texto, abordaremos sua especificidade enquanto medida tanto estática quanto dinâmica.

2.1 Mensurações existentes de tecnologia

As mensurações existentes de tecnologia refletem o “modelo implícito ou explícito de compreensão da natureza dos processos de produção, difusão e uso” de ciência e tecnologia

(Viotti, 2003, p. 54). Assim, passaremos a descrever os principais modelos existentes. O primeiro foi o modelo linear de inovação (MLI). Conforme Viotti (2003, p. 55),

o modelo linear é normalmente associado à ideia de que existiria uma relação mais ou menos direta entre as quantidades e qualidades dos insumos utilizados em pesquisa e desenvolvimento e os resultados destes em termos de inovação tecnológica e desempenho econômico. Esse processo ocorreria por intermédio de etapas mais ou menos estanques e em sequência, nas quais, primeiro, como resultado da pesquisa básica, seria gerado o conhecimento científico sobre o qual poderia ser desenvolvida a pesquisa aplicada e, posteriormente, o desenvolvimento experimental. Por último, a invenção resultante do esforço de P&D seria, então, incorporada à produção, que posteriormente atingiria a comercialização, sendo assim transformada em inovação.

Essa concepção de comportamento tecnológico e científico foi muito importante pelo menos desde 1945, com o Relatório Vannevar Bush,¹ intitulado *Science: the endless frontier* (Bush, 1945 *apud* Viotti, 2003). Com sua simplicidade linear, esse modelo se difundiu também devido a sua definição de pesquisa básica: “pesquisa básica é aquela realizada sem qualquer objetivo prático em mente” cuja contribuição se deve ao fato de fomentar a “expansão do conhecimento em geral e para a compreensão da natureza e de suas leis” (Bush, 1945 *apud* Viotti, 2003, p. 55).

A lógica do modelo é simples: a pesquisa básica remotamente cria instrumental tecnológico, que depois vai se transformar em tecnologia aplicada devido à pesquisa aplicada e seu desenvolvimento, tendo em vista atender a necessidades concretas e práticas da sociedade. Haveria, portanto, uma causalidade linear entre a quantidade de recursos aplicada em pesquisa e desenvolvimento (P&D) (desde as etapas mais básicas até as mais aplicadas) e a produção de invenções e inovações. Assim, a política tecnológica deveria aumentar a quantidade de recursos disponíveis em P&D (básico e aplicado), sendo essa quantidade o indicador essencial de esforço tecnológico e de probabilidade de avanço tecnológico na prática. Como escreve Viotti (2003, p. 56, grifo nosso): “as inovações também seriam produzidas em um tipo de processo de produção mais ou menos linear (...), no qual *o principal insumo é o investimento em P&D*, e o resultado, o produto, apareceria em termos de tecnologia e inovação”.

1. Bush, V. *Science – the endless frontier: a report to the president on a program for postwar scientific research*. Washington, DC: Office of Scientific Research and Development, 1945.

Devido à expressiva difusão desse modelo linear, os primeiros indicadores de tecnologia foram os investimentos em P&D, indicando a quantidade de insumos utilizados no processo de produção de inovações; além dos indicadores de quantidade de patentes, considerados como resultado do esforço de P&D. Outro modelo, o denominado elo de cadeia, parte de uma crítica ao modelo anterior: a tecnologia não seria uma mercadoria como outra qualquer, a ser consumida pela firma, mas um produto da firma em sua atividade, ou seja, a tecnologia seria parte da economia da firma. Seu modelo mais bem sucedido foi estabelecido por Kline e Rosenberg² (1986 *apud* Viotti, 2003). Assim, a tecnologia seria fruto de interações entre “oportunidades de mercado e a base de conhecimentos e capacitações da firma” (Viotti, 2003, p. 59). Na atividade econômica da firma e sua concorrência com outras, a firma se depararia com problemas a serem resolvidos, o que induziria à atividade de P&D ou adaptações, ou, ainda, compra de soluções vindas do ambiente externo, desenvolvendo tecnologia. Portanto, indicadores de insumos do processo de inovação, além do P&D em si, assim como da inovação propriamente dita, passam a ser centrais (Viotti, 2003, p. 60). Esses indicadores são os chamados *surveys* de inovação. O último modelo aqui abordado é o sistêmico, assim definido por Viotti (2003, p. 60):

o modelo sistêmico de inovação [...] chama a atenção para o fato de que as empresas não inovam isoladamente, mas geralmente o fazem no contexto de um sistema de relações diretas ou indiretas com outras empresas, a infraestrutura de pesquisa pública e privada, as instituições de ensino e pesquisa, a economia nacional e internacional, o sistema normativo e um conjunto de outras inovações.

A mensuração empírica de tecnologia e mudança tecnológica, dentro do último modelo, exige um corpo técnico-teórico capaz de abarcar a interação tecnológica da empresa sistemicamente, ou seja, no conjunto de interrelações à qual ela se insere.

2.1.1 Indicadores de ciência e tecnologia (C&T)

Viotti (2003, p. 71-81) resenha os indicadores de C&T existentes internacionalmente. Eles foram, pela primeira vez, desenvolvidos como estatísticas de gastos em pesquisa no Reino Unido, durante a década de 1930. Depois, na década de 1950, vieram as estatísticas de patentes, nos Estados Unidos, onde também, na década de 1960, se iniciaram as

2. Kline, S. J.; Rosenberg, N. An overview in innovation. *In*: Landau, R.; Rosenberg, N. (Ed.). *The positive sum strategy: harnessing technology for economic growth*. Washington, D. C.: National Academy Press, 1986.

estatísticas de artigos publicados e citações (bibliometria). Muitas instituições, como a Fundação Nacional de Ciência (National Science Foundation – NSF), desde os anos 1950, geradora de estatísticas de gasto em P&D, ou a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), com seu esforço para padronização internacional de conceitos e métodos de mensuração de atividades de C&T, e atualmente a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) com sua “liderança no esforço coletivo de desenvolvimento e sistematização dos indicadores e no aperfeiçoamento e padronização das metodologias utilizadas internacionalmente” (Viotti, 2003, p. 72) na coleta e divulgação de indicadores de C&T – enfim, todas estas instituições cumpriram e cumprem um papel decisivo para a medição de atividades e resultados de C&T. Em particular, o trabalho desta última instituição levou à confecção de manuais internacionais de indicadores quantitativos de C&T. A seguir, passaremos a citar e descrever sumariamente a modalidade de mensuração dos principais manuais internacionais.

Manual Frascati

O objetivo do *Manual Frascati* (OCDE, 2015) é servir de guia para a delimitação conceitual de P&D, além de guia estatístico para a mensuração também de P&D. O primeiro aspecto conceitual a observar é que o System of National Accounts (SNA) recomenda considerar as despesas de P&D como para formação de capital, ou seja, investimento (European Commission *et al.*, 2008). Entretanto, o conceito de setor para P&D no *Manual Frascati* não coincide necessariamente com o setor da Classificação Internacional Normalizada Industrial de Todas as Atividades Econômicas (International Standard Industrial Classification of All Economic Activities – ISIC) da SNA (2009). O conceito de P&D no *Manual Frascati* (OCDE, 2015, p. 44, tradução nossa) é o seguinte:

Pesquisa e Desenvolvimento Experimental (P&D) abarca trabalho criativo e sistemático para o aumento do estoque de conhecimento – incluindo como conhecimento do ser humano, a cultura e a sociedade – e para a realização de novas aplicações do conhecimento disponível.

Podemos notar que P&D inclui ciências sociais, humanidades, artes, ciências naturais e engenharia (OCDE, 2015, p. 44). A atividade, para ser considerada de P&D, tem que ser nova, criativa, com incerteza implícita, sistemática, além de transferível e/ou reprodutível. Essas características definem o que seria P&D, podendo ser feitas de maneira contínua ou ocasional. A atividade pode se encaixar em três modalidades:

pesquisa básica, ou seja, “trabalho experimental ou teórico feito primariamente para adquirir novo conhecimento dos fundamentos implícitos dos fenômenos e fatos, sem qualquer aplicação particular ou uso em vista” (OCDE, 2015, p. 45, tradução nossa); pesquisa aplicada, uma “investigação original para adquirir novo conhecimento”, mas “com direção ou objetivo específico e prático” (*idem, ibidem*); ou desenvolvimento experimental, isto é, um “trabalho sistemático desenvolvido a partir de conhecimento adquirido de pesquisa e experiência prática e produtor de conhecimento adicional, direcionado para produzir novos produtos ou processos, ou para melhorar produtos e/ou processos existentes” (*idem, ibidem*).

Os setores que P&D abarca são os seguintes: empreendimentos empresariais, governo, educação superior e atividades privadas não lucrativas (OCDE, 2015, p. 28). Os empreendimentos empresariais se compõem basicamente de: todas as corporações residentes (aquelas engajadas em produção no território econômico numa base de longo prazo) financeiras e não financeiras; todas as instituições não lucrativas que são produtoras de bens e/ou serviços para o mercado ou fornecem para atividades econômicas; e firmas comerciais de propriedade de instituições de educação superior. Os empreendimentos podem ser públicos ou privados, em todos os casos anteriormente citados (OCDE, 2015, p. 200-207). As medidas de atividade são: seus gastos de custos ou com características de pessoal na atividade de P&D do empreendimento (OCDE, 2015, p. 207-208).

Manual Camberra

Admite-se que a combinação de C&T e recursos humanos (RH) é um ingrediente-chave de competitividade e desenvolvimento econômico, além de meio de segurança e aprimoramento de nosso ambiente no futuro (OCDE, 1995, p. 8). O balanço entre oferta e demanda de RH; suas características econômicas e demográficas; os desafios e custos de educação de qualidade de RH; os desequilíbrios entre setores da economia e as regiões; além da internacionalização de RH são alguns dos temas pertinentes à mensuração do potencial tecnológico de RH em C&T (daqui para frente, RHCT).

O objetivo do *Manual Camberra* é sistematizar, para mensuração de potencial tecnológico, o RHCT, possibilitando tanto padronização entre variadas iniciativas governamentais na área e comparações inter-regionais e internacionais, quanto construção de evolução temporal até o presente ou projeções para o futuro. Em outras

palavras (OCDE, 1995, p. 9, tradução nossa), o “propósito deste manual é fornecer a infraestrutura para compilação de dados em estoque e fluxo de RHCT, analisando desempenhos e tendências através do preparo de séries atualizadas direcionadas aos potenciais usuários”, com o que “fornece definições básicas de atividades a serem consideradas, as categorias de pessoal a serem incluídas e as variáveis de interesse para o entendimento apropriado de estoques e fluxos de RHCT”.

Passemos, portanto, à métrica de RHCT. É considerada fazendo parte de RHCT a pessoa que satisfizer um dos dois critérios seguintes: *i*) educação bem sucedida e completa de terceiro grau em um campo de C&T; ou *ii*) pessoa não qualificada em *i*), mas empregada em ocupação de C&T, em que as qualificações de *i*) são normalmente requeridas (OCDE, 1995, p. 16). A educação é definida pela UNESCO como “comunicação organizada, sustentada e designada para aprendizagem” (OCDE, 1995, p. 16), e a ocupação, em termos de emprego, como habilidades e capacidades levadas a cabo por uma pessoa (OCDE, 1995, p. 17). A exigência em *i*) exige que se tenha formalmente obtido o terceiro grau, independente da época de aquisição. As atividades de C&T são definidas pelo Padrão Internacional de Classificação de Educação (International Standard Classification of Education – ISCED) como: ISCED categoria 5 (educação de terceiro grau, primeiro estágio, do tipo que não tenha diplomação em um nível universitário); ISCED categoria 6 (educação no terceiro grau, primeiro estágio, do tipo que tenha diplomação em um nível universitário ou equivalente); e ISCED categoria 7 (educação no terceiro grau, primeiro estágio, do tipo que tenha diplomação de pós-graduação em um nível universitário ou equivalente). Assim, RHCT inclui no item *i*) os ISCED categorias 6 e 7, enquanto o item *ii*) inclui o ISCED categoria 5 (OCDE, 1995, p. 20). O RHCT inclui pessoas nos itens *i*) e *ii*) nas seguintes categorias: ciências naturais; engenharia e tecnologia; ciências médicas; ciências agrícolas; ciências sociais; e humanidades e artes (OCDE, 1995, p. 21).

2.2 Balanço de pagamentos tecnológico

Como mostra OCDE (2010, p. 11), uma métrica de nível tecnológico de um país é o saldo comercial de seu balanço de pagamentos dos bens, no caso industriais, classificados por intensidade tecnológica de cada setor, que, por sua vez, é medida pela intensidade de esforço de P&D. Portanto, um país que tenha um saldo comercial expressivo em setores de alta intensidade tecnológica estaria caracterizado como de elevado desenvolvimento

tecnológico. Analogamente, um país em que o mesmo saldo comercial seja menor ou negativo, estaria caracterizado como de menor grau de desenvolvimento tecnológico.

Todavia, como se classificam os setores industriais segundo intensidade tecnológica? Em OCDE (2016a, p. 7-8), esse cálculo é explicitado. Ou seja, a intensidade tecnológica de um setor industrial pode ser mensurada pela equação $P\&D/VAB$, ou $P\&D/VBP$ do setor considerado – onde VAB é o valor agregado bruto, e VBP, valor bruto da produção. Entretanto, como se trata de fazer uma taxonomia internacional, e há comércio internacional, tais intensidades são calculadas da seguinte maneira: as intensidades de P&D são calculadas como a média ponderada das intensidades de P&D de todos os países, utilizando valor agregado em paridade do poder de compra (*purchasing power parity* – PPP) como os pesos da média. Esta média ponderada estaria eliminando o viés da existência de cadeias internacionais entre setores de diferentes países. Em OCDE (2016a, p. 10), encontramos os setores industriais, com seus respectivos valores de $P\&D/VAB$ em porcentagem, classificados nas seguintes categorias: alta intensidade, intensidade média-alta, média intensidade, e média-baixa intensidade, além de estar explicitada a fórmula de cálculo das intensidades tecnológicas de cada país.

2.2.1 Patentes

As patentes são outra forma de quantificar o desenvolvimento tecnológico – ou seja, fazer uma métrica dele. OECD (2009, p. 18, tradução nossa) diz que

patentes são instrumentos legais utilizados na vida econômica. Patente é um instrumento legal protegendo uma invenção (Artigo 28 do Acordo de Direitos de Propriedade Intelectual em Relações Comerciais [TRIPS, na sigla em inglês]):

i) Uma patente deve conferir a seu proprietário os seguintes direitos exclusivos:

de onde o conteúdo da patente é um produto, para prevenir terceiros de não ter o consentimento dos proprietários dos atos de: fabricar, utilizar, oferecer para negócio, de venda ou importação aquele produto;

de onde o conteúdo da patente é um processo, para prevenir terceiros de não ter o consentimento dos proprietários dos atos de utilizar o processo, e dos atos de: utilizar, oferecer para negócio, de venda ou importação para aqueles propósitos ao menos o produto obtido diretamente por aquele processo.

ii) Os proprietários da patente devem também ter o direito de transferir por sucessão a patente e concluir contratos de licenciamento.

Uma patente é um direito temporário, válido no máximo por vinte anos (OCDE, 2009, p. 19).

Deixamos ao leitor a consulta ao documento OCDE (2009) para mais detalhes, que fogem ao objeto deste trabalho. O importante a notar aqui é que a data de referência para métrica, segundo OCDE (2009) é *prioritariamente* a data de aplicação do pedido de patente *consentida* numa determinada instituição legalmente habilitada para análise do pedido, *em qualquer local do mundo*. Entretanto há outras datas que podem ser utilizadas, como: de aplicação em um local específico, de publicação, de atribuição do direito de patente a determinado ente (esta última data varia, segundo a instituição autorizada legalmente para conceder o direito de patente) etc.

Uma forma de quantificar o avanço tecnológico segundo utilização de patentes é simplesmente o número de pedidos depositados (Viotti, 2003, p. 56) num determinado período, em um país, por exemplo. Entretanto, podemos fazer outras métricas com patentes. De qualquer maneira, elas são uma métrica de resultado, a exemplo do balanço de pagamentos tecnológico, ou de características de RHCT, ao contrário de P&D, que é uma métrica de esforço tecnológico.

2.2.2 Manual de Oslo 2018

O *Manual de Oslo 2018* (OCDE, 2018b) conceitua e estabelece procedimentos para mensuração de avanço tecnológico. O conceito de avanço tecnológico do manual vem de Schumpeter (2008, p. 81-86), na conhecida “destruição criadora” (OCDE, 2018b, p. 45). O mais importante a notar dentro deste conceito, em OCDE (2018b, p. 45-46), é que ele depende de uma coordenação intersetorial na economia para se efetivar, ou seja, um avanço tecnológico em um setor da economia necessita que outros setores forneçam componentes de bens e/ou serviços (novos, ou aprimorados, ou já existentes) ao primeiro setor, para que o avanço tecnológico no primeiro setor se efetive. Ou seja, ele é sistêmico, exige interação entre vários setores, motivo pelo qual o arcabouço do Sistema de Contas Nacionais (System of National Accounts – SNA) é muito apropriado para captá-lo e mensurá-lo (OCDE, 2018b, p. 50). Além disso, a métrica de tecnologia deve ser “mensurável, o que requer instrumentos que tenham capacidade de medir os conceitos em questão” (OCDE, 2018b, p. 50, tradução nossa). Outro requisito é que

dados estatísticos devem ser representativos da população que se especifica (OCDE, 2018b, p. 50). Ou seja, tudo isso torna o SNA muito apropriado para tais tarefas.

Dentro do arcabouço teórico do SNA, indicam-se três focos de avanço tecnológico: bens; mudanças nas condições dos consumidores (condições de uso dos bens, condições físicas das pessoas e suas condições psicológicas); e processos de produção (OCDE, 2018b, p. 53). Deve-se enfatizar que o SNA trata de todos esses aspectos, pois é o resultado geral de todo comportamento econômico num determinado ano. Outros aspectos, mais detalhados de métrica de avanço tecnológico, em OCDE (2018b), são deixados para o leitor que queira verificar alguma especificidade. Para nosso objetivo neste trabalho, o citado acima é suficiente. A opção deste trabalho é utilizar o SNA como fonte de métrica de tecnologia, dentro do indicado pelo *Manual de Oslo 2018*.

2.3 A utilização de MIPs para métrica de tecnologia

De um SNA, mais especificadamente de uma Tabela de Recursos e Usos (TRU) do SNA, pode-se derivar uma MIP, sem nenhum dado além dos disponibilizados pela TRU de um determinado ano. Na verdade, a MIP é expressão de um fluxo circular (FC), estabelecido em determinado ano. Quanto a um FC, Leontief (1998, p. 68, tradução nossa) observa:

se alguém investiga as características dos vários elementos individuais no fluxo circular de uma economia, esse alguém teria que incorporar a ajuda de um largo número de ciências sociais e naturais. As interconexões que moldam esses elementos num todo unificado – uma economia – não são especificamente econômicas em sua natureza; portanto, elas são elementos variados, trazidos da física, biologia, psicologia, sociologia e assim por diante.

Assim, Leontief (1998) está afirmando que, no FC, a tecnologia e a economia atuam juntas e simultaneamente. Portanto, o processo de produção é determinado de duas maneiras: por um lado, quantitativamente, em proporções numéricas entre insumos e produtos; por outro lado, qualitativamente, em termos da natureza de insumos e produtos (Leontief, 1998). Uma vez que o processo de produção está *qualitativamente determinado* em termos de itens de insumo e produto, são definidas as proporções quantitativas entre esses dois itens. Assim, chega-se aos coeficientes técnicos da MIP.

O FC assim estabelecido, se “tecnicamente” fechado, entraria numa espécie de *perpetuum mobile* que, uma vez iniciado, se moveria indefinidamente (Leontief, 1998). Mas “na realidade, o processo econômico é apenas o fragmento de um sistema de eventos muito maior, e como tal, sua natureza pode ser bem mudada pela adição de novos elementos ou a eliminação de outros elementos” (Leontief, 1998, p. 70, tradução nossa). A mudança técnica poderia ocorrer a partir de novas combinações de insumos, a partir do uso de bens de capital fixo modificados ou outros novos (Leontief, 1998).

Os bens de capital fixo segundo a orientação de European Commission *et al.* (2009, p. 195-196) incluem: bens não financeiros produzidos dentro do âmbito do SNA e bens não financeiros oriundos de outras fontes que a produção dentro do âmbito do SNA. Entre os primeiros estariam máquinas e equipamentos, resultados finais de esforço de P&D, programas de computador utilizáveis na produção etc. Entre os segundos estariam os bens naturais, como água, terra agriculturável, minerais etc. Os bens de capital fixo são aqueles que não se exaurem ao serem usados nos processos em apenas um ciclo produtivo, mas duram muitos ciclos, como máquinas e equipamentos, jazidas de minério, fontes de águas (como rios ou mar), terras agriculturáveis, uma patente devido ao esforço de P&D, um computador e os *software* nele criados para utilização na produção etc.

Utilizaremos, portanto, o arcabouço teórico da MIP para avaliar a evolução tecnológica da indústria brasileira, uma vez que, como ficou claro, os coeficientes técnicos são o estado tecnológico de uma economia no ano considerado. Entretanto, pode haver essencialmente duas modalidades de mudança estrutural numa MIP ao longo do tempo: a mudança de proporções entre grandes setores (agropecuária ou indústria ou serviços) ou na composição tecnológica de cada setor da MIP considerado isoladamente, ou seja, a mudança de seus coeficientes técnicos. Nossa ênfase se dirige para o segundo caso. As causas dessas alterações neste texto não serão investigadas, porque tratamos apenas de criar índices que retratem bem, isto é, sejam uma métrica da mudança tecnológica de cada setor ou, dito em outras palavras, da mudança em seus coeficientes técnicos.

A comparação intertemporal de cada setor isolado é possível devido a dois motivos: primeiro, a MIP não trata de produção conjunta de dois ou mais setores, mas de uma combinação linear de produções isoladas de vários setores simultaneamente, que apenas fornecem insumos entre si para viabilizar suas produções feitas independentemente uma da outra (Bulmer-Thomas, 1982, p. 54); segundo, como mostra Samuelson (1965, p. 142-146), nas condições da MIP há um hiperplano que é a fronteira linear de

produção e eficiência dos setores, em que é possível se fazer comparações intertemporais das duas modalidades de mudança explicitadas anteriormente.

3 METODOLOGIA

Apresentaremos nesta seção a proposta metodológica deste trabalho mais detalhada, visando construir uma métrica de tecnologia e sua mudança intertemporal no âmbito de uma MIP. A formulação aqui utilizada para tecnologia vem da MIP, que se deve a Leontief (1983). Esse é nosso marco conceitual. Uma especificação exaustiva e sintética do modelo de Leontief (1983) se encontra em Varian (1992). O modelo de Leontief, origem da MIP, é apresentado nas equações a seguir.

$$Y = \{(y, -x_1, \dots, -x_\alpha) \text{ em } R^{\alpha+1} : y \leq \min(a_1 \cdot x_1, \dots, a_\alpha \cdot x_\alpha)\} \quad (1)$$

$$V(y) = \{(x_1, \dots, x_\alpha) \text{ em } R_+^\alpha : y \leq \min(a_1 \cdot x_1, \dots, a_\alpha \cdot x_\alpha)\} \quad (2)$$

$$Q(y) = \{(x_1, \dots, x_\alpha) \text{ em } R_+^\alpha : y = \min(a_1 \cdot x_1, \dots, a_\alpha \cdot x_\alpha)\} \quad (3)$$

$$T(y, x_1, \dots, x_\alpha) = y - \min(a_1 \cdot x_1, \dots, a_\alpha \cdot x_\alpha) \quad (4)$$

$$f(x_1, \dots, x_\alpha) = \min(a_1 \cdot x_1, \dots, a_\alpha \cdot x_\alpha) \quad (5)$$

Na equação (1), Y especifica que a produção máxima depende da tecnologia e dos insumos disponíveis. Na equação (2), temos os insumos V requeridos para uma dada produção Y , com uma determinada tecnologia. Na equação (3), temos a especificação da isoquanta Q para uma determinada tecnologia e um conjunto determinado de insumos, expressando as combinações várias de insumos que expressam uma produção Y . A equação (4) expressa a distância da produção Y da hipoteticamente possível na fronteira tecnológica T . A equação (5) expressa a função de produção de Leontief, onde se observa o seguinte: os coeficientes a_i 's são constantes no curto prazo; a função é linear, homotética, com retornos constantes de escala; os a_i 's representam a tecnologia disponível no curto prazo; a produção total Y terá um máximo que depende do menor valor entre os $a_i \cdot x_i$. O modelo nas definições de (1) a (5) poderia ser chamado de modelo Leontief, base para a MIP.

A função (6), por sua vez, são os coeficientes intersetoriais entre o setor fornecedor i para o setor demandante j , onde temos o seguinte: a proporção entre os insumos vindos de i (ins_{ij}) dividido pela produção total do setor j (x_j).

$$a_{ij} = ins_{ij}/x_j \quad (6)$$

Passaremos agora a formalizar o comportamento da firma na MIP, para posteriormente caracterizar a eficiência técnica e a mudança tecnológica no contexto teórico da MIP. Utilizando Chenery (1949, p. 511-512), Abensur (2018, p. 54-55) e Wibe (1983, p. 11-12), temos o seguinte modelo de otimização da firma em engenharia de produção:

$$\text{Minimizar: } C_T = f(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1m}, P_{21}, P_{22}, \dots, P_{2m}, \dots, P_{nm}) \quad (7)$$

Onde:

$P_{\alpha\beta}$ = produção do produto α no processo de produção β ;

$\alpha = 1, 2, \dots, n$; $\beta = 1, 2, \dots, m$; e

C_T = custo total de produzir todos os P_{nm} .

Sujeito a:

$$F_{\beta}(v_{1\beta}, v_{2\beta}, \dots, v_{n\beta}) \leq F_{\beta}^M \quad (8)$$

Onde:

$F_{\beta}(\cdot)$ = função de produção do processo β ;

$v_{\alpha\beta}$ = variável de insumo econômico, associada à produção de $P_{\alpha\beta}$; e

F_{β}^M = máximo de capacidade produtiva instalada de $F_{\beta}(\cdot)$.

$$\sum_{\beta} P_{\alpha\beta} = P_{\alpha}^D \geq 0 \quad (9)$$

Onde:

P_{α}^D = produção de α dada pela demanda (D) fixa no curto prazo.

$$Q_{\alpha m} = Q(P_{\alpha 1}, P_{\alpha 2}, \dots, P_{\alpha m}) \quad (10)$$

Onde:

$Q_{\alpha m}$ = preço do produto α no processo m .

Esse modelo pode ser linearizado, para se utilizar programação linear (PL) em sua otimização, o qual seria:

$$\text{Minimizar: } C_T = W_1 \cdot \theta_1 + W_2 \cdot \theta_2 + \dots + W_n \cdot \theta_n \quad (11)$$

Onde:

W_{α} = coeficiente técnico do custo do produto θ_{α} ;

$\theta_{\alpha} = \sum_{\beta} \theta_{\alpha\beta}$; e

C_T = custo total.

Sujeito a:

$(I - B) \cdot \theta = d$.

Onde:

B = matriz de coeficientes $W_{\alpha\beta}$;

θ = vetor de variáveis θ_{α} ;

d = vetor de demanda final d_α ; e

$$P_{\alpha\beta} = P_\beta(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \text{ para } \beta = 1, 2, \dots, m. \quad (11.1)$$

A formulação anterior é idêntica à de uma MIP, que podemos expressar como a apresentada por Chiang (1984, p. 711). Ou seja, a PL de engenharia de produção de uma firma, no seu método Simplex, equivale à de uma MIP. Nessa formulação, temos um problema de PL, com os coeficientes técnicos a_{ij} 's (análogos aos $W_{\alpha\beta}$'s) da equação (6) e na matriz A (análoga a B), que reúne todos os a_{ij} 's. Os custos estão dados no curto prazo – uma vez que nesse intervalo de tempo se assume como dados o estoque de capital instalado, as características dos trabalhadores e as preferências dos agentes, estas últimas expressas na demanda final – pelos insumos x_j 's ($= \sum_i x_{ij}$) e pela quantidade de trabalhadores empregados. Assim, temos o seguinte problema de PL numa MIP, análogo ao problema de PL anteriormente especificado para uma firma em engenharia de produção:

$$\text{Minimizar: } L = A_0^T \cdot x \quad (12)$$

Onde:

$$L = \sum_{j=1}^n a_{0j} \cdot x_j = A_0^T \cdot x;$$

A_0^T = vetor-linha de coeficientes de trabalho utilizado na produção; e

x = vetor-coluna da produção total em cada setor j .

Portanto, o problema de PL de uma MIP é o seguinte:

$$\text{Minimizar: } L = A_0^T \cdot x \quad (12)$$

Sujeito a:

$$(I - A) \cdot x = d \quad (13)$$

$$x \geq 0 \quad (14)$$

$$P_{ij} = P_{ij}^F, \text{ para todo } i \text{ e } j. \quad (15)$$

Onde:

P_{ij}^F = preço constante no ano t (curto prazo) de cada x_{ij} .

A expressão (13) é outra forma de apresentar a função de produção de Leontief – equação (5), com valor fixo d (vetor de Demanda Final, cujos elementos são a Demanda Final de cada setor no ano t).

A questão tecnológica – que inclui todas as decisões físicas e institucionais das empresas em cada setor j , pois dependentes do estoque de capital fixo instalado de cada empresa no mesmo setor (cuja definição inclui não apenas bens físicos, mas também os legais institucionalizados – por exemplo, contratos, patentes etc.) – está expressa na matriz A , que contém os a_{ij} 's. A mudança tecnológica do setor j , por sua vez, está expressa nas mudanças dos elementos a_{ij} 's de A correspondentes ao setor j ao longo de um intervalo de tempo maior do que um ano, ou seja, quando $\Delta t \geq 2$. Por meio de um exercício de estática comparativa entre A_t e $A_{t+\gamma}$ (com $\gamma \geq 1$), para cada setor j , podemos mensurar as mudanças tecnológicas (segundo cada setor i) para aquele setor j entre os anos t e $(t + \gamma)$. As alterações nos a_{ij} 's podem estar representando tanto uma alteração de eficiência técnica, quanto uma mudança tecnológica – apesar de ambos, mesmos distintos, não serem excludentes, ou seja, podem ocorrer simultaneamente.

Como assinala Farrel (1957, p. 254, tradução nossa), por eficiência de uma firma se entende “seu sucesso em produzir o máximo de produto possível a partir de um determinado conjunto de insumos”. Segundo o mesmo autor, a eficiência técnica seria a medida do quanto a firma opera mais próxima do ponto em que sua produção é “o máximo de produto possível a partir de um determinado conjunto de insumos” (*idem, ibidem*). Deve-se observar que a alteração neutra de eficiência técnica se caracterizaria pela mudança de operação de uma isoquanta para outra da firma, mantendo constante a proporção entre os insumos utilizados. Ou seja, uma nova combinação de insumos (ou o aparecimento de novos insumos utilizados) não foi feita, apenas se utilizou de maneira mais (ou menos) eficiente a mesma base técnica, a mesma tecnologia.

Quando entre os momentos t e $(t + \gamma)$, para o mesmo setor j , se alterou a proporção entre os a_{ij} 's, e/ou novos a_{ij} 's surgiram, temos uma nova combinação de insumos, o que caracterizaria a ocorrência de um processo de destruição criadora (Schumpeter, 2008, p. 84), ou de uma mudança tecnológica no sentido de Leontief – ver equação (5). Deve-se observar que tal mudança tecnológica pode também estar encerrando em parte uma nova (maior ou menor) eficiência técnica.

Procuraremos, a partir daqui, a explicitar os indicadores utilizados de eficiência técnica e mudança tecnológica. Para cada atividade da indústria brasileira, objeto deste trabalho, acompanhamos a evolução de 2000 a 2016 dos coeficientes originados dos seus principais fornecedores de insumos. Suponhamos que uma hipotética atividade j da indústria tivesse três fornecedores, cujas sequências de a_{ij} 's representamos abaixo:

$$a_{1j} = (a_{1j}^n)_{n \in N} \quad (16)$$

$$a_{2j} = (a_{2j}^n)_{n \in N} \quad (17)$$

$$a_{3j} = (a_{3j}^n)_{n \in N} \quad (18)$$

Na notação acima n é apenas um subscrito, que pode tomar qualquer valor do conjunto de números naturais N . Suponhamos que observemos uma sucessão de três elementos de cada sequência, como abaixo:

$$a_{1j} = (a_{1j}^1, a_{1j}^2, a_{1j}^3) \quad (19)$$

$$a_{2j} = (a_{2j}^1, a_{2j}^2, a_{2j}^3) \quad (20)$$

$$a_{3j} = (a_{3j}^1, a_{3j}^2, a_{3j}^3) \quad (21)$$

Baseando-nos em Arrow *et al.* (1961), teríamos uma evolução neutra de eficiência produtiva se:

$$a_{1j}^1 = \mu \cdot a_{2j}^1, \quad a_{1j}^1 = \eta \cdot a_{3j}^1 \quad (22)$$

$$a_{1j}^2 = \delta \cdot a_{2j}^2, \quad a_{1j}^2 = \partial. \quad (23)$$

$$a_{1j}^3 = \varepsilon \cdot a_{2j}^3, \quad a_{1j}^3 = \nu \cdot a_{3j}^3 \quad (24)$$

$$\mu = \delta = \varepsilon \neq 0 \quad (25)$$

$$\eta = \partial = \nu \neq 0 \quad (26)$$

Uma mudança tecnológica ocorreria na mesma sucessão acima se:

$$\mu \neq \delta \neq \varepsilon \neq 0 \quad (27)$$

$$\mu \neq \partial \neq \nu \neq 0 \quad (28)$$

Para calcular os a_{ij} 's fizemos o seguinte procedimento: transformamos as TRUs das Contas Nacionais Anuais do IBGE, de 2000 a 2016, em TRUs a preços de 2000; depois, utilizando Guilhoto e Sesso Filho (2005), calculamos os b_{ij} 's (que são os coeficientes técnicos incluindo, além dos insumos nacionais, também os importados, com função análoga aos a_{ij} 's – uma vez que estes incluem apenas insumos nacionais). A utilização dos b_{ij} 's se faz necessária porque os insumos importados são utilizados na produção simultaneamente aos nacionais – se considerássemos apenas os nacionais, estaríamos desconhecendo qualitativa e quantitativamente parte da produção efetiva. Portanto, daqui para frente utilizaremos apenas os b_{ij} 's, que incluem os insumos nacionais e os importados. Outro aspecto dos dados utilizados se refere às matrizes finais consideradas: elas são matrizes de atividade-produto, e não de atividade-atividade (como em uma MIP normal); a justificativa dessa opção é que, por um lado, considerar produtos (em vez de atividades) é muito mais rico do ponto de vista analítico, porque as atividades são grupos dos mesmos produtos, menos assim detalhadas, e, por outro lado, a análise em atividade-atividade em nada alteraria as conclusões finais, uma vez que as atividades são agrupamentos lineares de produtos, e apenas perderíamos maior detalhamento analítico.

4 ÍNDICES UTILIZADOS

4.1 Índice de Eficiência Técnica

O Índice de Eficiência Técnica é calculado por atividade industrial e por ano. Como não estamos estimando a fronteira estocástica T , equação (4), não estamos mensurando a distância de cada atividade industrial, em cada ano, a ela. Estamos mensurando a cada ano o quanto foi eficiente uma atividade em gerar valor agregado, ou seja, estamos mensurando qual a porcentagem do valor da produção de uma atividade, considerados os insumos (nacionais e importados) utilizados, gerou de valor agregado. A expressão algébrica é a seguinte:

$$ET_j^t = (1 - \sum_i b_{ij}^t) \cdot 100 \quad (29)$$

Onde:

ET_j^t = eficiência técnica no ano t da atividade j ; e

b_{ij}^t = coeficiente técnico do insumo vindo do produto i para o setor j no ano t .

Posteriormente, fazemos a eficiência técnica de 2000 ser normalizada com valor 100, normalizando a partir desta eficiência técnica todas as demais do setor j e de t , variando de 2001 a 2016, e calculamos a variação média por período de tempo da seguinte maneira:

$$TMET_j^I = [\text{MG} (\prod_t (\frac{ET_j^{t+1}}{ET_j^t})) - 1] \cdot 100 \quad (30)$$

Onde:

$TMET_j^I$ = taxa média de eficiência técnica, por ano, da atividade j no intervalo de tempo I ;

MG = média geométrica; e

I = intervalo da de tempo em que a taxa média de eficiência técnica é calculada. Os intervalos são: 2000-2004; 2004-2008; 2008-2012; e 2012-2016.

4.2 Índice de Mudança Tecnológica Chenery

Este índice foi retirado de Chenery e Watanabe (1958, p. 505). Os autores o utilizaram para comparar tecnologicamente um mesmo setor em dois países diferentes. Nós aqui o adaptamos para comparar tecnologicamente uma mesma atividade da indústria brasileira em dois anos diferentes, suficientemente distantes entre si para serem capazes de captar mudança tecnológica. Sua expressão algébrica é a seguinte:

$$IMTEC_j^{t,(t+\gamma)} = [\sum_i |(b_{ij}^{(t+\gamma)} - b_{ij}^t)|] / [\sum_i (b_{ij}^{(t+\gamma)} + b_{ij}^t) \cdot 0,5] \cdot 100 \quad (31)$$

Onde:

$IMTEC_j^{t,(t+\gamma)} = g$ = índice médio de mudança tecnológica do setor j , entre os anos $(t + \gamma)$ e t ; e g = a diferença dos b_{ij} 's entre $(t + \gamma)$ e t na atividade j foi $g\%$ da média aritmética dos b_{ij} 's em $(t + \gamma)$ e t da mesma atividade. Quanto maior g , mais profunda e ampla foi a mudança tecnológica.

Este índice calcula a porcentagem em relação à média aritmética dos b_{ij} 's entre dois anos de um setor j do módulo da diferença entre os b_{ij} 's entre os mesmos dois anos. Isso significa que esse índice capta a mudança tecnológica pela diferença entre os b_{ij} 's de uma determinada atividade j . Os anos escolhidos para calcular este índice foram os seguintes: 2000 e 2004; 2004 e 2008; 2008 e 2012; e 2012 e 2016.

4.3 Índice de Mudança Tecnológica Schumpeter

Este índice tem a mesma função do índice Chenery, mencionado anteriormente. Entretanto, enquanto aquele mede a mudança tecnológica através da diferença entre b_{ij} 's, este o faz através da razão entre os b_{ij} 's entre os anos $(t + \gamma)$ e t . Os intervalos de tempo utilizados foram os mesmos, para facilitar a comparação entre os resultados dos índices. A lógica do índice Schumpeter é mensurar a variabilidade das razões em relação a sua média, ou seja, quanto maior a variabilidade – e maiores as diferenças entre as proporções das equações (27) e (28) –, maior a mudança tecnológica na atividade considerada, entre os dois anos escolhidos. Seu cálculo é feito por meio das seguintes etapas:

$$MTEC_j^{t,t+\gamma} = MA [\sum_i (b_{ij}^{t+\gamma} / b_{ij}^t)] \quad (32)$$

$$DPTEC_j^{t,t+\gamma} = DP [\sum_i (b_{ij}^{t+\gamma} / b_{ij}^t)] \quad (33)$$

$$IRTEC_j^{t,t+\gamma} = [(DPTEC_j^{t,t+\gamma}) / (MTEC_j^{t,t+\gamma})].100 = h \quad (34)$$

Onde:

MA = média aritmética;

DP = desvio-padrão; e

h = o desvio-padrão das razões de b_{ij} 's em $(t + \gamma)$ sobre os b_{ij} 's em t foi $h\%$ da média aritmética das mesmas razões. Quanto maior h , mais profunda e ampla foi a mudança tecnológica.

O índice da equação (34) é o índice de razão de mudança tecnológica entre os anos $(t + \gamma)$ e t .

5 RESULTADOS

5.1 Introdução temática e empírica

Do ponto de vista tecnológico, vivemos hoje em países industrializados, sob graus diversos de aprofundamento e diversidade setorial, baseados em uma série de mudanças que se iniciaram na década de 1970 com a difusão e aplicação produtivas da microeletrônica (Pérez, 2004, p. 37). Nesse contexto, tivemos – ou ainda estamos tendo, segundo cada país – vários desenvolvimentos tecnológicos derivados, entre eles: microeletrônica barata; computadores, microcomputadores e celulares; *software*; telecomunicações; instrumentos de controle; biotecnologia; e novos materiais, alguns vindos da aplicação de nanotecnologia, devido a desenvolvimento computacional (Pérez, 2004, p. 39).

Atualmente, para a indústria, estamos iniciando um desdobramento aprofundado e ampliado do movimento anterior. Ou seja, estamos indo para um momento de aplicação da internet das coisas (*internet of things* – IoT), inteligência artificial (IA), robótica e

nanotecnologia aplicada à biotecnologia e aos materiais, além de manipulação genética, baterias de muito longa duração, entre outras aplicações. O sentido desses desenvolvimentos tecnológicos é a otimização de tempo de todo processo produtivo, com objetivo da quase instantaneidade e economia máxima de estoques – tanto de insumos quanto de produtos finais –, além da praticamente individualidade dos produtos a partir de solicitações da demanda intermediária e/ou final, com ganhos expressivos de prazo e energia gasta, desde os fornecedores mais remotos até o consumidor final. A gerência nas fábricas (internamente, entre elas, e com o varejo de vendas finais) se daria por IA, com capacidade em tempo real de aprendizagem, por meio de algoritmos adaptativos acionados por estatística mutante, coleta de sensores eletrônicos, coordenados via internet (IoT). Ou seja, busca-se a otimização das cadeias de valor desde seu início até seu final, e dentro de cada unidade dela, com economias temporais de logística, estoques, além de aumento de qualidade do produto final, prática ou totalmente individualizado (IEDI, 2017; OECD, 2016b; 2018a). É importante frisar nesse momento que está em curso (ainda que não amadurecida totalmente) uma quase absolutização da importância da microeletrônica e seus vários desdobramentos, muito maior que nos desenvolvimentos feitos a partir da década 1970.

5.2 Uma síntese dos resultados

Nesta subseção, procuraremos sintetizar os resultados dos três índices apresentados neste trabalho. O objetivo é fornecer ao leitor uma visão panorâmica dos resultados que serão apresentados por atividade, criando uma referência útil a situar-nos por cada resultado no conjunto de todos os índices. Nas tabelas 1 e 2 apresentaremos a síntese agrupada de todos os resultados a que chegamos e, a seguir, os apresentaremos um por um.

TABELA 1
Indústria brasileira: distribuição dos índices de mudança tecnológica e eficiência técnica (2000-2008)

Distribuição adotada	2000-2004			2004-2008		
	IMTEC (%)	IRTEC (%)	TMET (% a.a.)	IMTEC (%)	IRTEC (%)	TMET (% a.a.)
Quartil 1	4,27	9,83	0,14	3,05	3,74	-0,11
Quartil 2	6,39	12,59	0,65	4,46	6,90	0,52
Quartil 3	7,55	13,98	1,50	5,88	7,95	1,43
Quartil 4	21,35	20,53	6,76	21,83	12,34	6,99

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.

Elaboração do autor.

Obs.: 1. Quartil 1 = valor máximo dos primeiros 25% dos setores; quartil 2 = valor máximo dos primeiros 50% dos valores; quartil 3 = valor máximo dos primeiros 75% dos setores; quartil 4 = valor máximo de 100% dos setores.

2. IMTEC – índice médio de mudança tecnológica do item 4.2 (em %); IRTEC – índice de razão de mudança tecnológica do item 4.3 (em %); TMET – taxa média de eficiência técnica do item 4.1 (em % a.a.).

TABELA 2
Indústria brasileira: distribuição dos índices de mudança tecnológica e eficiência técnica (2008-2016)

Distribuição adotada	2008-2012			2012-2016		
	IMTEC (%)	IRTEC (%)	TMET (% a.a.)	IMTEC (%)	IRTEC (%)	TMET (% a.a.)
Quartil 1	4,50	5,97	-0,91	3,20	4,95	1,00
Quartil 2	6,53	10,81	-0,09	5,14	6,39	1,00
Quartil 3	7,49	11,36	0,92	9,36	8,61	1,01
Quartil 4	18,20	13,29	8,77	23,06	23,53	1,12

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
 Elaboração do autor.

Obs.: Quartil 1 = valor máximo dos primeiros 25% dos setores; quartil 2 = valor máximo dos primeiros 50% dos valores; quartil 3 = valor máximo dos primeiros 75% dos setores; quartil 4 = valor máximo de 100% dos setores.

No período 2000-2004, notamos que, em todos os quartis, a TMET foi positiva. No período 2004-2008, o primeiro quartil apresentou TMETs negativas, apesar de nos outros quartis os valores serem positivos. Bahia (2017, p. 56) já mostrara que, a partir de 2000 até 2009, a indústria brasileira como um todo apresentara crescimento anual de eficiência técnica. No período 2008-2012, a indústria brasileira absorveu o contexto da crise de 2008, apresentando, nos quartis 1 e 2, valores de decréscimo de eficiência técnica. No período 2012-2016, todos os quartis voltam a apresentar aumento de eficiência técnica, apesar de nos dois quartis mais altos os valores absolutos de 2012-2016 serem menores do que no período 2000-2004.

Quanto ao IMTEC, notamos que em todos os períodos, de 2000 até 2016, os valores dos quatro quartis são muito semelhantes, ou seja, vão de cerca de 3% no primeiro quartil até algo em torno de 21% no último quartil. Podemos dizer que, segundo o IMTEC, houve mudança tecnológica ininterrupta de 2000 a 2016 na indústria brasileira como um todo. Essa conclusão se repete praticamente para o IRTEC, com a diferença de que os seus valores mais altos (em todos os quartis) estão no primeiro e último períodos.

Por essa visão panorâmica dos resultados, podemos dizer o seguinte: primeiro, a indústria como um todo, desde 2000 até 2016, manteve uma taxa anual positiva de variação de eficiência técnica; segundo, o esforço de mudança tecnológica foi positivo e constante também durante todo o período, tanto segundo o IMTEC quanto o IRTEC. Quanto aos dois índices, é possível que o avanço tecnológico tenha sido positivo,

mas desigualmente distribuído entre as atividades industriais, o que pode se dever a características setoriais ou a desigual ímpeto da própria mudança tecnológica.

5.3 Resultados por atividade

Nesta subseção apresentaremos os resultados por atividade, agrupados por complexos industriais para facilitar a exposição (Haguenauer *et al.*, 2001).

5.3.1 Complexo têxtil

Agrupamos neste item as seguintes atividades, com seus respectivos códigos na CNAE 2.0 entre parênteses: têxteis (13); artigos de vestuário e acessórios (14); e artefatos de couro e calçados (15). A seguir, consideraremos os resultados de cada atividade.

Têxteis

Os resultados da atividade têxteis estão apresentados na tabela 3.

TABELA 3
Indústria brasileira: têxteis (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	3,07	1,70	8,88	7,05
IRTEC (%)	13,93	5,10	7,33	5,86
TMET (% a.a.)	1,37	0,52	0,09	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Notamos na tabela 3 que a eficiência técnica (expressa no índice TMET) cresceu paulatinamente de 2000 a 2016 a uma taxa aproximada de 1% a.a., apenas com uma arrefecida no período 2008-2012, quando há o contexto da crise de 2008. Os índices de mudança tecnológica também são expressivos de 2000 a 2016, apenas atenuados transitoriamente entre 2004 e 2008 segundo o índice IMTEC, mas não segundo o índice IRTEC.

Vestuário

Os resultados da atividade vestuário estão apresentados na tabela 4.

TABELA 4
Indústria brasileira: vestuário (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,10	2,22	8,68	6,90
IRTEC (%)	3,30	3,46	4,67	4,88
TMET (% a.a.)	-0,75	-0,08	1,56	1,01

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Notamos na tabela 4 que a atividade vestuário apresentou leve queda de eficiência técnica entre 2000 e 2008. Essa atividade congrega em boa parte pequenas empresas, menos favorecidas em vários aspectos empresariais de atuação. Entretanto, tais dificuldades foram sendo vencidas de 2000 a 2008, pois seu TMET suaviza paulatinamente os resultados negativos, apresentando-se positivo depois de 2008 até 2016. Pelo aspecto da mudança tecnológica, o quadro muda totalmente: de 2000 a 2016 os índices IMTEC e IRTEC são ambos paulatinamente positivos, ainda que oscilando no período. Isso sugere uma atividade propensa à mudança tecnológica e a criar práticas renovadas de produção e produto.

Calçados

Os resultados da atividade calçados estão apresentados na tabela 5.

TABELA 5
Indústria brasileira: calçados (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	6,00	4,46	6,99	4,96
IRTEC (%)	5,30	3,20	4,42	6,55
TMET (% a.a.)	2,19	1,55	0,49	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

A atividade calçados apresentou um persistente aumento anual de eficiência técnica entre 2000 e 2016. Houve apenas uma arrefecida desse ímpeto entre 2008 e 2012, algo compreensível, dada a crise de 2008 e seu contexto. Apesar disso, em 2012-2016, a atividade volta a apresentar crescimento de eficiência técnica, ainda que num ritmo menos intenso que no período anterior. Quanto à mudança tecnológica, seu ímpeto é positivo, paulatino e expressivo desde 2000 até 2016, seja no índice IMTEC, seja no IRTEC. Podemos, portanto, considerar essa atividade, a exemplo de vestuário, uma atividade com boa propensão à criatividade de produção e produto.

5.3.2 Complexo construção civil

Neste item apresentaremos as atividades do complexo construção civil e seus respectivos códigos na CNAE 2.0, entre parênteses: outros da indústria extrativa (05, 08 e 072); produtos de madeira, exceto móveis (16); cimento e outros produtos de minerais não metálicos (23); e construção civil (41, 42 e 43).

Outros da indústria extrativa

Na tabela 6, apresentaremos os resultados da atividade outros da indústria extrativa.

TABELA 6
Indústria brasileira: outros da indústria extrativa (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	6,31	2,23	9,01	23,06
IRTEC (%)	13,95	7,43	12,06	23,53
TMET (% a.a.)	0,62	0,63	2,38	0,96

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Essa atividade inclui tanto extração de minerais não metálicos quanto de minerais não ferrosos. Sua eficiência técnica aumenta sem reveses de 2000 a 2016, com mais intensidade no período 2008-2012. A mudança tecnológica também é expressiva, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC, atingindo valores altos no período 2012-2016, o que indica que, mesmo no período recessivo, a mudança tecnológica se intensificou. Podemos considerar essa atividade como de forte mudança tecnológica.

Produtos de madeira, exceto móveis

Na tabela 7 apresentamos o resultado da atividade produtos de madeira: exceto móveis.

TABELA 7
Indústria brasileira: produtos de madeira, exceto móveis (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	2,91	5,25	2,99	1,71
IRTEC (%)	11,64	2,32	5,11	3,93
TMET (% a.a.)	0,65	1,01	-0,13	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na atividade de produtos de madeira, notamos uma evolução paulatina de mudança tecnológica, mas com intensidade menor que a da atividade outros da indústria extrativa. Mesmo assim, fica claro um ritmo constante de avanço tecnológico. Quanto à eficiência técnica, seu ritmo de avanço (mesmo na crise de 2015-2016) é paulatino, com um pequeno revés (que equivale a uma constância) no período 2008-2012.

Cimento e produtos de minerais não metálicos

Na tabela 8 apresentamos os resultados da atividade cimento e produtos de minerais não metálicos.

TABELA 8
Indústria brasileira: cimento e produtos de minerais não metálicos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	5,43	9,08	7,50	8,12
IRTEC (%)	13,69	5,79	10,81	6,79
TMET (% a.a.)	1,27	1,59	-0,63	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

A atividade que inclui os produtos de minerais não metálicos apresenta um ritmo constante e fortemente positivo de mudança tecnológica, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Nesse complexo, podemos dizer que, entre os principais fornecedores de insumos para a construção civil, essa atividade (junto à sua extrativa) apresenta uma cadeia significativamente expressiva em termos de mudança tecnológica. Quanto à eficiência técnica dessa atividade, os resultados mostram um ritmo constante de avanço, com um leve revés (logo depois recuperado) no período 2008-2012, que encerra o contexto da crise de 2008.

Construção civil

Na tabela 9 apresentamos os resultados da atividade construção civil.

TABELA 9
Indústria brasileira: construção civil (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,25	3,60	5,33	3,76
IRTEC (%)	13,69	7,19	11,37	9,33
TMET (% a.a.)	0,53	-0,31	0,55	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Os índices de mudança tecnológica mostraram-se bastante expressivos para a atividade da construção civil como um todo, principalmente quanto ao índice IRTEC. Possivelmente, a origem desse comportamento seja a intensidade da mudança tecnológica dos insumos principais, que desembocam todos nessa atividade. A evolução da eficiência técnica foi contínua (à exceção de 2004-2008, em que ficou praticamente estática) no período analisado. Apesar disso, podemos dizer que essa não é uma atividade de grandes saltos positivos de eficiência técnica, como sugere ser de mudança tecnológica.

5.3.3 Complexo agroindústria

As atividades da agroindústria, com suas respectivas CNAEs entre parênteses, são: alimentos e bebidas (101,102,105, 107, 103, 104, 106, 108, 109, 11); celulose e produtos de papel (11); e álcool (1931-4).

Alimentos e bebidas

Na tabela 10 apresentamos os resultados da atividade alimentos e bebidas. Ela deve ser vista com extrema cautela, porque congrega um conjunto muito heterogêneo tecnologicamente: desde torrefação de café até abate (de bovinos, suínos e avícolas, principalmente) e preparação de carnes, passando por refino de óleo de soja e sucos de frutas. Enfim, o objetivo de apresentar essa atividade aqui é reportar os resultados de maneira bastante geral e com a sinalização de muita prudência em sua interpretação.

TABELA 10
Indústria brasileira: alimentos e bebidas (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,06	6,00	5,71	1,97
IRTEC (%)	20,53	12,34	12,15	6,35
TMET (% a.a.)	0,20	-0,31	-0,62	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Nota-se na tabela 10 que houve uma evolução expressiva de mudança tecnológica na atividade de alimentos e bebidas, de 2000 a 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Entretanto, os valores mais intensivos dessa mudança tecnológica se concentram mais no início do período. A evolução de eficiência técnica foi pouco expressiva de 2000 a 2012, mas reagiu bem no período 2012-2016, quando atinge seus valores mais altos.

Celulose e produtos de papel

Na tabela 11 apresentamos os resultados da atividade celulose e produtos de papel.

TABELA 11
Indústria brasileira: celulose e produtos de papel (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,52	3,40	4,01	11,05
IRTEC (%)	13,87	7,31	10,79	8,59
TMET (% a.a.)	2,17	1,47	-0,73	1,02

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

A atividade de celulose e produtos de papel apresentou expressivo aumento de eficiência técnica de 2000 a 2016, exceto no período 2008-2012, que encerra as dificuldades empresariais da crise de 2008. Quanto à mudança tecnológica, essa foi intensa, segundo os dois índices de 2000 a 2016. Podemos dizer que essa atividade é uma das mais persistentes e intensas quanto à mudança tecnológica.

Álcool

Na tabela 12 apresentamos os resultados da atividade de álcool.

TABELA 12
Indústria brasileira: álcool (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	10,14	16,69	7,51	4,71
IRTEC (%)	7,17	9,28	7,63	8,63
TMET (% a.a.)	0,83	-0,99	-1,24	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Nota-se, na tabela 12, que a atividade de álcool apresentou intensa e persistente mudança tecnológica, tanto no IMTEC quanto no IRTEC. Entretanto, quanto à evolução de eficiência técnica, há uma evolução pouco persistente e pouco positiva de 2000 até 2016. De fato, essa atividade está sujeita à substituição (devido a preços relativos adversos), tanto nas usinas (fabricação alternativa de açúcar) quanto nas refinarias (refino mais barato de gasolina). Ou seja, dependendo de como oscilam esses preços relativos, incentiva-se ou não a produção de álcool.

5.3.4 Complexo metalomecânico

As atividades do complexo metalomecânico, e seus respectivos códigos na CNAE 2.0, são: minério de ferro (071); fabricação de aço e derivados (241, 242 e 243); metalurgia de metais não ferrosos (244 e 245); produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos (25); máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos (27, 28 e 33, menos 27.5); eletrodomésticos e material eletrônico (26.1, 27.5); máquinas para escritório, aparelhos e materiais eletrônicos (26 – menos 26.1); automóveis, camionetas, caminhões e ônibus (291, 292 e 293); e peças e acessórios para veículos automotores (294 e 295).

Minério de ferro

Na tabela 13 apresentamos os resultados da atividade minério de ferro.

TABELA 13
Indústria brasileira: minério de ferro (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	4,22	1,68	4,89	14,17
IRTEC (%)	11,39	2,12	6,03	7,58
TMET (% a.a.)	0,29	-0,13	-4,62	1,12

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Nota-se na tabela 13 que a atividade minério de ferro é bastante intensa em mutação tecnológica, tanto segundo o IMTEC quanto o IRTEC. Sua eficiência técnica apresenta uma evolução positiva não muito intensa. Entretanto, há uma forte descontinuidade negativa no período de 2008 a 2012, que sugere uma readaptação à crise de 2008, a qual afetou bastante o comércio internacional (e esta é uma atividade fortemente exportadora), além do mercado interno. Apesar disso, e mesmo considerando a recessão brasileira de 2015-2016, notamos que a eficiência técnica reage de forma bastante positiva, chegando a um índice médio de crescimento (além de um nível) maior que todos os demais desde 2000.

Fabricação de aço e derivados

Na tabela 14 apresentamos os resultados da atividade fabricação de aço e derivados.

TABELA 14
Indústria brasileira: fabricação de aço e derivados (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	6,64	4,50	7,47	11,43
IRTEC (%)	14,01	5,73	7,80	8,11
TMET (% a.a.)	2,45	2,90	1,32	1,05

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
 Elaboração do autor.

Na tabela 14, notamos que a siderurgia brasileira apresentou, de 2000 a 2016, elevados índices de mudança tecnológica, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Podemos dizer que esta é uma das atividades mais bem-sucedidas quanto à mudança tecnológica no Brasil. A eficiência técnica dessa atividade cresce com intensidade elevada de 2000 a 2016. Trata-se de um dos desempenhos nesse quesito dos mais positivos na indústria brasileira.

Metalurgia de metais não ferrosos

Na tabela 15 apresentamos os resultados da atividade metalurgia de metais não ferrosos.

TABELA 15
Indústria brasileira: metalurgia de metais não ferrosos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	1,67	4,08	8,70	7,97
IRTEC (%)	12,05	3,86	6,65	5,70
TMET (% a.a.)	0,49	0,55	-2,54	1,04

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
 Elaboração do autor.

Notamos na tabela 15 que a atividade de metais não ferrosos apresentou mudança tecnológica intensa de 2000 a 2016. Entretanto, sua eficiência técnica apresenta evolução mais modesta entre 2000 e 2008, e retração no período 2008-2012. Este último movimento reflete dificuldades na crise de 2008, mas há uma recuperação no período 2012-2016, que expressa o crescimento mais intenso da sua eficiência técnica desde 2000.

Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos

Na tabela 16 apresentamos os resultados da atividade produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos.

TABELA 16

Indústria brasileira: produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	5,47	3,17	7,40	3,65
IRTEC (%)	14,16	8,25	11,01	5,42
TMET (% a.a.)	1,03	0,71	-0,90	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na tabela 16, ambos os índices IMTEC e IRTEC mostram que houve intensa mudança técnica na atividade entre 2000 e 2016. Sua eficiência técnica, entretanto, foi mais modesta, mesmo que evoluindo positivamente, à exceção do período 2008-2012, quando se retraiu em média, sob o contexto adverso da crise de 2008.

Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos

Na tabela 17, apresentamos os resultados da atividade máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos.

TABELA 17

Indústria brasileira: máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	3,02	2,56	4,11	2,22
IRTEC (%)	14,56	8,67	11,54	5,66
TMET (% a.a.)	-0,87	0,27	-2,43	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

A atividade de máquinas e equipamentos mostrou tendência de queda de eficiência técnica nos períodos 2000-2004 e 2008-2014. Isso nos parece natural, uma vez que são períodos que atravessaram crises (os anos adversos de 2001 a 2003, e a crise de 2008), quando o investimento (demanda principal dessa atividade) se viu mais frágil. Entretanto, nos períodos de 2004-2008 (de maneira menos intensa) e no período 2012-2016 (de forma um pouco mais intensa), temos uma situação algo menos adversa. De qualquer maneira, o desempenho de eficiência técnica desta atividade é bastante modesto entre 2000 e 2016. Quanto à mudança tecnológica, o quadro muda: há resultados expressivamente positivos de 2000 a 2016 para o IRTEC, e, em menor grau de intensidade, também para o IMTEC.

Eletrodomésticos e material eletrônico

Na tabela 18, apresentamos os resultados da atividade eletrodomésticos e material eletrônico.

TABELA 18
Indústria brasileira: eletrodomésticos e material eletrônico (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,86	4,29	6,53	5,14
IRTEC (%)	14,64	8,27	10,81	10,98
TMET (% a.a.)	-1,17	1,38	0,53	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na tabela 18, notamos que houve intensa mutação tecnológica entre 2000 e 2018 na atividade eletrodomésticos e material eletrônico – tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Sua eficiência técnica evolui favoravelmente entre 2004 e 2016, entretanto, há uma breve retração média entre 2000 e 2004, devido aos anos adversos entre 2001 e 2003, mas que não perdura depois.

Máquinas para escritório, aparelhos e materiais eletrônicos

Na tabela 19 apresentamos os resultados da atividade máquinas para escritório, aparelho e materiais eletrônicos.

TABELA 19
Indústria brasileira: máquinas para escritório, aparelhos e materiais eletrônicos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	8,33	7,56	2,74	7,21
IRTEC (%)	8,10	7,51	13,29	9,52
TMET (% a.a.)	3,46	2,52	-0,37	1,01

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Essa atividade apresenta resultados expressivamente intensos de mutação tecnológica entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Da mesma maneira, entre 2000 e 2016 há uma taxa de aumento de eficiência técnica expressiva, à exceção do período da crise de 2008. Podemos afirmar que essa atividade vem melhorando significativamente seu desempenho tecnológico e de eficiência.

Automóveis, camionetas, caminhões e ônibus

Na tabela 20 apresentamos os resultados da atividade automóveis, camionetas, caminhões e ônibus.

TABELA 20
Indústria brasileira: automóveis, camionetas, caminhões e ônibus (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,59	7,34	4,97	2,94
IRTEC (%)	15,89	10,38	13,07	8,99
TMET (% a.a.)	1,02	0,26	-1,07	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Notamos na tabela 20 que a atividade de automóveis apresentou leve crescimento de eficiência técnica entre 2000 e 2016, com uma retração média apenas no período 2008-2012, que encerra a recuperação da crise de 2008. Seu avanço de mudança técnica é, entretanto, forte entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC.

Peças e acessórios para veículos automotores

Na tabela 21 apresentamos os resultados da atividade peças e acessórios para veículos automotores.

TABELA 21
Indústria brasileira: peças e acessórios para veículos automotores (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	4,32	5,07	3,64	4,33
IRTEC (%)	14,59	8,15	10,98	13,02
TMET (% a.a.)	-0,39	1,82	0,74	0,99

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na tabela 21 notamos que a eficiência técnica da atividade de peças cresceu ininterruptamente de 2004 a 2016, com um período de leve retração média entre 2000 e 2004. Este último período, entretanto, encerra as dificuldades da economia entre 2001 e 2003. Quanto à mudança tecnológica, há um avanço expressivo e ininterrupto entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC.

5.3.5 Complexo químico

Nesta subseção apresentaremos as seguintes atividades do complexo químico, com suas respectivas CNAEs entre parênteses: petróleo e gás natural (06, 09); refino de petróleo e coque (191, 192); produtos químicos (201, 202), fabricação de resinas e elastômeros (203, 204); produtos farmacêuticos (21); defensivos agrícolas (205); perfumaria, higiene e limpeza (206); tintas, vernizes, esmaltes e lacas (207); produtos e preparados de químicos diversos (209); e artigos e borracha e plástico (22).

Petróleo e gás natural

Na tabela 22 apresentamos os resultados da atividade petróleo e gás natural.

TABELA 22
Indústria brasileira: petróleo e gás natural (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,32	5,76	8,36	18,77
IRTEC (%)	12,15	7,22	12,07	15,18
TMET (% a.a.)	1,44	-0,41	-1,18	1,02

Fonte: Contas Nacionais Anuais/BGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na tabela 22, notamos que a atividade petróleo e gás natural aumentou contínua e muito intensivamente sua mutação tecnológica entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto IRTEC. Podemos afirmar que esta atividade está entre as que maior esforço (com resultados) tecnológico fez depois de 2000. A evolução de sua eficiência técnica foi menos intensa, devido ao período entre 2004 e 2012. Deve-se considerar que essa atividade está sujeita a inevitáveis oscilações de produção, por ser exploratória, e impossível prever totalmente o resultado da perfuração de um poço de petróleo. Entretanto, a atividade chegou a 2016 com uma eficiência técnica em torno de 5% maior que a de 2000.

Refino de petróleo e coque

Na tabela 23 apresentamos os resultados da atividade de refino de petróleo e coque.

TABELA 23
Indústria brasileira: refino de petróleo e coque (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	21,35	21,83	18,20	13,63
IRTEC (%)	12,15	10,58	11,34	6,41
TMET (% a.a.)	0,58	-1,01	-0,98	0,99

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Notamos na tabela 23 que a atividade refino de petróleo e coque apresentou um aumento de mutação tecnológica mais intensa e contínua ainda que a da atividade anterior entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Sem dúvida, esse é um dos movimentos mais bem-sucedidos de mutação tecnológica da indústria brasileira. Entretanto, a eficiência técnica não acompanhou a evolução, estando em 2016 num nível menor que o de 2000. Uma vez que essa atividade teve uma boa mutação tecnológica, falta atribuímos a origem da evolução de sua eficiência técnica a uma necessidade de expansão quantitativa (e não apenas qualitativa) a suas instalações de produção.

Produtos químicos

Na tabela 24 apresentamos os resultados de produtos químicos.

TABELA 24
Indústria brasileira: produtos químicos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	9,56	7,44	5,09	6,14
IRTEC (%)	14,32	6,90	10,90	5,42
TMET (% a.a.)	3,38	2,55	-0,22	0,99

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Notamos na tabela 24 que a atividade produtos químicos apresentou intensa e contínua mudança tecnológica entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Sua eficiência técnica cresceu a taxas elevadas entre 2000 e 2016, salvo o período 2008-2012 (no contexto da crise de 2008), em que na prática ficou estagnada. No entanto, no período como um todo, houve avanço.

Fabricação de resinas e elastômeros

Na tabela 25 apresentamos os resultados da atividade de fabricação de resinas e elastômeros.

TABELA 25
Indústria brasileira: fabricação de resinas e elastômeros (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	2,16	1,47	3,44	1,46
IRTEC (%)	6,11	2,17	5,64	2,44
TMET (% a.a.)	0,19	0,99	1,26	0,99

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na tabela 25, notamos que a atividade fabricação de resinas e elastômeros apresentou uma evolução contínua de mudança tecnológica, entretanto menos intensa que as atividades anteriormente apresentadas do complexo químico. Sua evolução de eficiência técnica foi positiva, contínua e crescente entre 2000 e 2016.

Produtos farmacêuticos

Na tabela 26 apresentamos os resultados da atividade produtos farmacêuticos.

TABELA 26
Indústria brasileira: produtos farmacêuticos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	7,89	7,32	7,45	3,01
IRTEC (%)	10,22	6,11	10,85	3,93
TMET (% a.a.)	1,57	0,30	0,21	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

A atividade produtos farmacêuticos apresentou uma evolução contínua e positiva de mudança tecnológica entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC – entretanto, sua evolução foi ligeiramente menos intensa que as das atividades de petróleo e gás ou de refino de petróleo, apresentadas anteriormente. Sua evolução de eficiência técnica foi positiva e contínua entre 2000 e 2016, todavia, entre 2004 e 2012 sua taxa de crescimento anual é menor que nos demais períodos.

Defensivos agrícolas

Na tabela 27 apresentamos os resultados de defensivos agrícolas.

TABELA 27
Indústria brasileira: defensivos agrícolas (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	3,93	4,90	6,72	4,15
IRTEC (%)	13,79	6,97	10,85	4,79
TMET (% a.a.)	6,76	-3,55	8,77	0,97

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

A atividade defensivos agrícolas apresentou uma evolução contínua, positiva e intensa de mudança tecnológica entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC (principalmente neste). Sua eficiência técnica, apesar de ter tendência de recuo entre 2004 e 2008, apresentou nos demais períodos taxas de crescimento muitíssimo elevadas – com o que podemos dizer que essa atividade teve um dos melhores desempenhos de eficiência técnica entre 2000 e 2016 como um todo.

Perfumaria, higiene e limpeza

Na tabela 28 apresentamos os resultados da atividade de perfumaria, higiene e limpeza.

TABELA 28
Indústria brasileira: perfumaria, higiene e limpeza (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	6,39	2,75	3,40	10,87
IRTEC (%)	11,02	4,83	4,45	5,01
TMET (% a.a.)	-0,25	-0,02	0,55	1,02

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Notamos, na tabela 28, que a atividade perfumaria, higiene e limpeza teve sua evolução de eficiência técnica na prática estática (sem crescer ou cair) entre 2000 e 2008. Entretanto, depois de 2008 até 2016, sua taxa anual de evolução reage, passa a crescer, e termina em 2016 em um nível aproximadamente 11% maior que o de 2000. Do ponto de vista da mudança tecnológica, essa atividade apresenta evolução contínua, positiva e intensa, desde 2000 até 2016 – tanto segundo o índice IMTEC quanto o IRTEC.

Tintas, vernizes, esmaltes e lacas

Na tabela 29 apresentamos os resultados da atividade tintas, vernizes, esmaltes e lacas.

TABELA 29
Indústria brasileira: tintas, vernizes, esmaltes e lacas (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	9,99	3,57	6,89	2,13
IRTEC (%)	13,39	5,93	11,89	7,33
TMET (% a.a.)	5,72	0,03	2,48	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na tabela 29 notamos que a atividade tintas, vernizes, esmaltes e lacas apresentou contínuo, intenso e positivo processo de mudança tecnológica entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. Do ponto de vista da eficiência técnica, ela cresceu anualmente a taxas significativas, exceto no período 2004-2008.

Produtos e preparados de químicos diversos

Na tabela 30 apresentamos os resultados da atividade produtos e preparados de químicos diversos.

TABELA 30
Indústria brasileira: produtos e preparados de químicos diversos (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	6,49	5,45	7,05	3,40
IRTEC (%)	8,24	7,75	9,98	4,39
TMET (% a.a.)	1,40	6,99	4,88	1,02

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Notamos na tabela 30 que essa atividade apresentou um contínuo, positivo e intenso processo de mutação tecnológica entre 2000 e 2016, tanto no índice IMTEC quanto no IRTEC. A evolução anual da eficiência técnica também foi positiva e expressiva entre 2000 e 2016.

Artigos de borracha e plástico

Na tabela 31 apresentamos os resultados da atividade artigos de borracha e plástico.

TABELA 31
Indústria brasileira: artigos de borracha e plástico (2000-2016)

Índice	2000-2004	2004-2008	2008-2012	2012-2016
IMTEC (%)	4,91	2,93	2,55	1,53
IRTEC (%)	9,45	3,61	5,35	2,92
TMET (% a.a.)	-0,46	1,26	-0,91	1,00

Fonte: Contas Nacionais Anuais/IBGE, 2000-2016.
Elaboração do autor.

Na tabela 31, notamos que a atividade artigos de borracha e plástico apresentou entre 2000 e 2016 uma evolução de mudança tecnológica positiva e contínua, segundo os índices IMTEC e IRTEC. Sua evolução de eficiência técnica, entretanto, foi descontínua, tendo chegado a 2016 com o mesmo nível de 2000. Novamente, aqui, a exemplo da atividade de vestuário, predomina uma estrutura de mercado mais automatizada, o que pode estar influenciando no seu avanço (entretanto, verificar tais causas está além do escopo deste trabalho).

6 CONCLUSÃO

Procuramos neste trabalho desenvolver índices quantitativos de mudança tecnológica que, mesmo sendo criados por nós, estivessem de acordo com as indicações metodológicas internacionais para mensuração de tecnologia e sua evolução ao longo do tempo. Desenvolvemos e aplicamos, chegando a seus resultados, três índices: TMET, IMTEC e IRTEC, todos baseados na metodologia da MIP. O período de análise foi de 2000 até 2016, organizado em subperíodos para facilidade e acuidade de exposição.

As atividades do complexo têxtil apresentaram continuidade e intensidade boas de mudança tecnológica, o que também se refletiu no desempenho de eficiência técnica, com leve exceção da atividade de vestuário, na qual a última teve desempenhos positivos apenas depois de 2008 – entretanto, sua TMET em 2016 foi maior que a em 2000.

As atividades do complexo de construção civil apresentaram índices de mudança tecnológica robustos e contínuos. Podemos considerar a evolução de eficiência técnica

contínua e expressiva, porque, por um lado, os períodos de evolução adversa foram muito leves e pontuais, e, por outro lado, todas atividades apresentaram em 2016 números bem superiores aos de 2000, à exceção da atividade de outros da indústria extrativa, que sofreu particularmente com a recessão de 2015-2016, mas em 2014 apresentava eficiência técnica mais alta que em 2000.

As atividades do complexo agroindústria apresentaram índices de mudança tecnológica expressivos e contínuos. Sua evolução de eficiência técnica foi menos contínua em um período ou outro, o que não comprometeu a evolução positiva entre 2000 e 2016.

As atividades do complexo metalomecânico apresentaram uma evolução forte e contínua de mudança tecnológica entre 2000 e 2016, com evolução de eficiência técnica, na prática, contínua e expressiva. A atividade de máquinas para escritório, aparelhos e materiais eletrônicos, em particular, apresentou uma taxa positiva e acelerada de evolução de eficiência técnica, chegando em 2016 com um nível médio-alto entre todas as atividades da indústria brasileira.

No complexo químico, as atividades também mantiveram índices de mudança tecnológica contínuos, altos, com evolução de eficiência técnica positiva, junto a períodos pontuais de evolução menos favoráveis (na prática, estática). A atividade refino de petróleo e coque apresentou uma evolução de eficiência técnica pouco favorável, apesar de sua muito intensa mudança tecnológica em todo o período de análise – o que nos faz suspeitar que, talvez, esteja havendo necessidade de expansão quantitativa de capacidade nessa atividade.

Podemos dizer que os índices construídos apresentaram um comportamento quantitativo positivo, refletindo melhores desempenhos nas atividades e períodos em que era esperado. Sua análise mais consistente, entretanto, depende de um acompanhamento por mais tempo, em períodos mais longos, de maneira a se chegar aproximadamente a uma quase taxonomia de seus resultados.

De qualquer maneira, neste trabalho, a despeito da inerente heterogeneidade setorial entre as atividades, que tende a levar a diferenças para cada atividade em relação a outras (e motivo pelo qual evitamos uma comparação apressada entre atividades), os

resultados mostram que a indústria brasileira entre 2000 e 2016 veio em um trajeto expressivo de mudança tecnológica em geral, e avanço de eficiência técnica também significativo e positivo. Dentro do que pudemos observar, faremos algumas indicações de políticas públicas para melhorar o já bom desempenho da indústria brasileira nos parágrafos seguintes.

A indústria brasileira não parece ter uma evolução adversa de mudança tecnológica entre 2000 e 2016. Tampouco a eficiência técnica de seu conjunto foi adversa, salvo trajetórias pontuais que não chegam a influenciar o conjunto das atividades. Portanto, a questão central contemporânea é de atualização de sua base técnica. Por base técnica (Araújo Júnior, 1985, p. II-4, grifo nosso) deve-se entender o seguinte: “O progresso técnico no capitalismo industrial constitui um resultado de interações entre *a base técnica do sistema produtivo e as formas de concorrência em vigor*”. Ou seja, na evolução tecnológica brevemente esboçada neste trabalho, vemos que desde a década de 1970 a microeletrônica, a internet etc., depois a IoT e a IA (principalmente), junto a uma infraestrutura atualizada e eficiente, são o caminho pelo qual a indústria brasileira terá que passar, quer queira ou não.³

De um ponto de vista sistêmico e de endogenia do progresso técnico na indústria brasileira, acreditamos ser estratégico o investimento (quer seja de capital brasileiro ou externo) em fabricação de semicondutores no Brasil, pois ele seria a fonte de capacitação técnica na endogenização e na difusão produtivas da microeletrônica na indústria brasileira (Araújo Júnior, 1985, p. 34). Deve-se salientar que o Brasil possui uma das maiores dotações de minério de silício do mundo, ou seja, não estaríamos caindo num problema de vantagens comparativas e/ou dotações de recursos naturais adversas.⁴ Além disso, é necessário aliar ao aprofundamento da microeletrônica na base técnica brasileira a melhoria e atualização produtiva e logística das infraestruturas urbanas e

3. Observando o conteúdo de microeletrônica em 2016 de nossas máquinas e equipamentos (inclusive as elétricas), ele não passa de 1% de todos os materiais utilizados na sua produção, e a participação de eletrônicos nas demais atividades é a seguinte: petróleo e gás (0,41%); produtos farmacêuticos (0,10%); eletrodomésticos (0,07%); automóveis e afins (0,14%); peças automotivas (0,14%); e construção civil (0,22%). Bahia (2020) mostra que nos Estados Unidos o conteúdo de eletrônicos na fabricação de máquinas e equipamentos é aproximadamente 4%, e em máquinas elétricas é pouco mais que 6% – dados para 2011. Ou seja, esses são indicadores de que nossa base técnica não incorporou a microeletrônica em profundidade. Se não houver mudança nesse quadro, a evolução produtiva de nossa indústria provavelmente estará comprometida.

4. Os países que possuem as maiores reservas minerais de silício são China, Brasil e Noruega, segundo o Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS).

intermunicipais ou interregionais brasileiras, sem o qual o esforço de atualização da base técnica ficará sem meios de atuação eficiente, como mostramos ao longo do texto.

Outra área importante de avanço de estrutura competitiva e avanço tecnológico, e que nos parece ainda quase fragilizada, é a fabricação de plásticos – mas os plásticos de alto desempenho, que se tornarão crescentemente necessários em vários campos. Finalmente, o refino de petróleo no Brasil parece necessitar de um aumento da sua capacidade produtiva, apesar de já ter feito fortemente o esforço qualitativo de mudança tecnológica.

REFERÊNCIAS

- ABENSUR, E. O. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia de produção**. São Paulo: Blucher, 2018.
- ARAÚJO JÚNIOR, J. T. **Tecnologia, concorrência e mudança estrutural: a experiência brasileira recente**. Rio de Janeiro: Ipea/Inpes, 1985.
- ARROW, K. J. *et al.* Capital-labor substitution and economic efficiency. **The Review of Economics and Statistics**, v. 43, issue 3, p. 225-250, 1961.
- BAHIA, L. D. **Produtividade total dos fatores efetiva na indústria brasileira: 1990-2009**. Brasília: Ipea, 2017. (Texto para Discussão, n. 2346).
- _____. **Uma comparação internacional do estado tecnológico da indústria brasileira (2011)**. Brasília: Ipea, 2020. (Texto para Discussão, n. 2539).
- BAHIA, L. D.; PINHEIRO, B. R. **Evolução de índices de tecnologia do complexo metalomecânico no Brasil: 1985-2009**. Brasília: Ipea, 2013. (Texto para Discussão, n. 1915).
- _____. **Aspectos tecnológicos da evolução produtiva do complexo químico: 1985-2009**. Brasília: Ipea, 2015. (Texto para Discussão, n. 2156).
- _____. **Evolução dos índices de tecnologia dos complexos têxtil e construção civil no Brasil (1985-2009)**. Brasília: Ipea, 2017. (Texto para Discussão, n. 2292).
- BULMER-THOMAS, V. **Input-output analysis in developing countries**. New York: John Wiley and Sons, 1982.
- CHENERY, H. B. Engineering production functions. **Quarterly Journal of Economics**, v. 63, 1949.
- CHENERY, H. B.; WATANABE, T. International comparisons of the structure of production. **Econometrica**, v. 26, n. 4, 1958.

CHIANG, A. C. **Fundamental methods of mathematical economics**. London: McGraw-Hill, 1984.

EUROPEAN COMMISSION *et al.* **System of national accountings**. New York: European Commission; IMF; OECD; UN; World Bank, 2009.

FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, series A (general), v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 2, 2005.

HAGUENAUER, L. *et al.* **Evolução das cadeias produtivas brasileiras na década de 90**. Brasília: Ipea, 2001. (Texto para Discussão, n. 786).

IEDI – INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0: o futuro da indústria**. São Paulo: IEDI, 2017. (Carta IEDI, n. 803).

LEONTIEF, W. **A economia do insumo-produto**. São Paulo: Abril, 1983.

_____. The economy as a circular flow. *In*: KURZ, H. D.; DIETZENBACHER, E.; LAGER, C. (Ed.). **Input-output analysis**. Northampton: Elgar, 1998. v. I.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual on the measurement of human resources devoted to S&T: Canberra Manual**. Paris: OCDE, 1995.

_____. **Patent Statistics Manual**. Paris: OECD, 2009.

_____. **Main science and technology indicators**. Paris: OCDE, 2010. v. 1.

_____. **Frascati manual 2015: guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development, the measurement of scientific, technological and innovation activities**. Paris: OCDE, 2015.

_____. **Taxonomy of economic activities based on R&D intensity**. Paris: OCDE, 2016a. (OECD Science, Technology and Industry Working Papers, n. 4).

_____. **Science, technology and innovation Outlook 2016**. Paris: OCDE, 2016b.

_____. **Science, technology and innovation Outlook 2018: adapting to technological and social disruption**. Paris: OCDE, 2018a.

_____. **Oslo Manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation**. Paris: OCDE, 2018b.

PÉREZ, C. **Revoluciones tecnológicas y capital financiero**. México (D.F.): Siglo XXI, 2004.

SAMUELSON, P. A. Abstract of a theorem concerning substitubility in open Leontief models. *In*: KOOPMANS, T. C. (Ed.). **Activity analysis of production and allocation**: proceedings of a conference. New York: John Wiley & Sons, 1965.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalism, socialism and democracy**. New York: Harper, 2008.

VARIAN, H. R. **Microeconomic analysis**. New York: Norton, 1992.

VIOTTI, E. B. Fundamentos e evolução dos indicadores de CT&I. *In*: VIOTTI, E. B.; MACEDO, M. M. (Org.). **Indicadores de ciência, tecnologia e inovação no Brasil**. Campinas: UNICAMP, 2003.

WIBE, S. **Engineering production functions**: a survey. Sweden: University of UMEA, 1983. (UMEA Economic Studies, n. 127).

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

HIRSCHMAN, A. O. **Estratégia do desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1974.

PEARL, D. J.; ENOS, J. L. Engineering production functions and technological progress. **The Journal of Industrial Economics**, v. 24, n. 1, 1975.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Assessoria de Imprensa e Comunicação

EDITORIAL

Coordenação

Reginaldo da Silva Domingos

Supervisão

Carlos Henrique Santos Vianna

Revisão

Bruna Oliveira Ranquine da Rocha

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Elaine Oliveira Couto

Lis Silva Hall

Mariana Silva de Lima

Marlon Magno Abreu de Carvalho

Vivian Barros Volotão Santos

Laysa Martins Barbosa Lima (estagiária)

Editoração

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Mayana Mendes de Mattos

Mayara Barros da Mota (estagiária)

Capa

Danielle de Oliveira Ayres

Flaviane Dias de Sant'ana

Projeto Gráfico

Renato Rodrigues Bueno

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

Livraria Ipea

SBS – Quadra 1 - Bloco J - Ed. BNDES, Térreo.

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 2026-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

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



ISSN 1415-4765

