
Capacidade Tecnológica e Desempenho Produtivo de Empresas Industriais no Brasil

Felipe Queiroz Silva¹

Ana Paula Macedo Avellar²

Resumo: O objetivo desse artigo é explorar as relações entre capacidade tecnológica e produtividade das firmas brasileiras. A análise empírica baseia-se nos microdados organizados pelo Banco Mundial em sua pesquisa Enterprise Survey 2009. O artigo enfatiza as diferenças dos padrões setoriais e utiliza mensurações paramétricas (Produtividade do Trabalho e Produtividade Total dos Fatores) e não paramétricas (Eficiência Técnica) da produtividade. A eficiência técnica é estimada através de um modelo de fronteira estocástica da produção visando captar o impacto de variáveis de eficiência, entre eles um índice de capacidade tecnológica. Os resultados mostram que, na amostra total, existe uma relação positiva e significativa entre os níveis de capacidade tecnológica das firmas e a eficiência técnica, no qual o nível de intensidade tecnológica do setor mostra ser uma variável relevante. Por outro lado, em níveis mais desagregados de setores, as estimações mostram diferenças importantes quanto a essas relações.

Palavras-chave: Capacidade Tecnológica, Produtividade, Eficiência Técnica.

JEL: L60, D24

1 Doutorando em Economia da Indústria e da Tecnologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

2 Doutora em Economia Industrial e da Tecnologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora adjunta do Instituto de Economia da Universidade Federal de Uberlândia. Pesquisadora CNPq e FAPEMIG.

Technological Capability and Productive Performance of Industrial Companies in Brazil

Abstract: *The aim of this paper is to explore the relationship between technological capability and productivity of Brazilian companies. The empirical analysis based on microdata organized by the World Bank in its research Enterprise Survey 2009. The paper emphasizes the differences of industry standards and uses parametric measurements (Labor Productivity and Total Factor Productivity) and nonparametric measurements (Technical Efficiency) of productivity. Technical efficiency estimated using a model of stochastic frontier production aiming to capture the impact of efficiency variables such as index of technological capability. The results show that, in the total sample, there is a positive and significant relationship between technological capability levels of firms and technical efficiency, in which the level of technological intensity of the sector proves to be a relevant variable. Moreover, in levels of more disaggregated sectors, the estimates show important differences in these relationships.*

Keywords: *Technological Capability, Productivity, Technical Efficiency.*

JEL: L60, D24

Introdução

A literatura econômica da inovação considera as capacidades tecnológicas das firmas importante fonte para alcançar um maior desempenho produtivo e, conseqüentemente, níveis maiores de competitividade (e.g. Dosi, 1998; Lall, 1992; Bell & Pavitt, 1993). Essa questão ganha contornos mais específicos quando se analisa países em desenvolvimento como o Brasil, já que, no geral, as firmas desses países possuem níveis de capacidade tecnológica inferiores às firmas de países desenvolvidos, sendo, muitas vezes, usuárias e/ou imitadoras de tecnologia estrangeira. Diferentes níveis de capacidade tecnológica entre as firmas permitem que atividades inovativas (não apenas baseadas em P&D) sejam implantadas com diferentes níveis de novidade e complexidade com importantes impactos no desempenho produtivo (Figueiredo, 2014).

Tendo em vista a heterogeneidade das empresas, seja em um mesmo país ou até mesmo num mesmo setor industrial, o objetivo do artigo é realizar um estudo empírico, em nível da firma, acerca da relação entre capacidade tecnológica e desempenho produtivo no Brasil. A intenção é avaliar componentes internos à firma, referentes às suas capacidades tecnológicas e características próprias, bem como outras variáveis que possam influenciar a produtividade. O destaque dado às capacidades tecnológicas ao invés da inovação propriamente dita se refere ao estágio de desenvolvimento brasileiro. Para países em desenvolvimento, a acumulação de conhecimento e da melhoria do sistema organizacional e técnico-físico ganha contornos importantes como mecanismos iniciais para se alcançar o *catch-up* tecnológico¹ frente às firmas de países desenvolvidos.

Para a análise empírica, foi utilizada uma amostra de empresas industriais localizadas no Brasil com dados organizados pelo Banco Mundial através do questionário *Enterprise Survey 2009*, que apresenta informações relevantes sobre a capacidade tecnológica em nível da firma². A proposta do artigo é perceber como os diferentes níveis de capacidade tecnológica de forma ampla influenciam a produtividade.

O artigo também busca avaliar as diferenças setoriais das empresas analisadas. O recorte setorial dos dados disponíveis agrega as empresas em sete categorias de indústrias manufatureiras: (1) Alimento, (2) Têxtil e Vestuário, (3) Calçado e Couro, (4) Móveis, (5) Química, (6) Máquinas e Equipamentos e (7) Autopeças. Dentre esses setores é possível defini-los em dois níveis de grau de intensidade tecnológica de acordo com a classificação proposta pela OCDE (2011): baixa intensidade tecnológica para os quatro primeiros setores e média-alta intensidade tecnológica para os três últimos. A separação por setores e níveis de intensidade tecnológica também é importante para enfatizar as diferenças entre as firmas de um mesmo ramo, evidenciando os fatores de capacidade tecnológica.

A análise propõe duas abordagens: (1) a comparação por meio de estatística descritiva e cálculos não paramétricos da Produtividade do Trabalho (PT) e da Produtividade Total dos Fatores (PTF); e (2) a construção de um modelo econométrico de Eficiência Técnica (ET) condicionante com a realização de inferências estatísticas. No primeiro caso, o objetivo é comparar os níveis de produtividade e de outras variáveis considerando o recorte setorial, enquanto, no segundo caso propõe-se a estimação de um modelo com o objetivo de captar o impacto da capacidade tecnológica sobre o desempenho produtivo. Para este modelo foi assumido também um índice de capacidade tecnológica através de uma análise de componentes principais. O agrupamento das variáveis de

1 Catch-up tecnológico pode ser entendido como o emparelhamento de uma firma frente às firmas inovativas líderes globais em termos de capacidades de gerar e gerir mudanças em suas tecnologias, podendo, então, envolver-se diretamente em atividades inovativas que estão na fronteira global (Bell & Figueiredo 2012).

2 Surveys de inovação como a Pesquisa de Inovação (PINTEC, elaborada pelo IBGE) não fornecem insumos suficientes para os objetivos propostos, já que são voltados à inovação propriamente dita e à estágios avançados de atividades inovativas (P&D).

capacidade tecnológica em um único índice serve para evitar problemas de multicolinearidade e evidencia a inter-relação dinâmica entre as capacidades de uma firma, já que um conjunto de habilidades, experiências e níveis de conhecimento podem estar associados entre si. A hipótese geral é de que as empresas com maiores índices de capacidade tecnológica apresentam um desempenho melhor, medido por maior produtividade.

Incluindo essa introdução, o artigo encontra-se estruturado em seis seções. A primeira seção apresenta uma revisão da literatura recente sobre questões teóricas acerca da capacidade tecnológica e de sua relação com o desempenho produtivo em nível da firma, bem como algumas definições e evidências empíricas sobre o tema. A segunda seção descreve a metodologia da mensuração da produtividade, apresentando os modelos não paramétricos (PT e PTF) e o modelo paramétrico (ET), bem como a decomposição do índice de capacidade tecnológica. A terceira seção apresenta os dados e a análise da estatística descritiva de algumas variáveis selecionadas em um recorte setorial. A quarta seção apresenta a equação do modelo de Eficiência Técnica e os resultados estimados obtidos, enquanto a última seção sintetiza as considerações finais do trabalho.

1. Capacidade Tecnológica e Produtividade

Tanto do ponto de vista de países quanto do ponto de vista das empresas é possível afirmar que há um amplo consenso sobre o papel da inovação como uma das principais fontes para o crescimento econômico de um país ou para o ganho de produtividade e competitividade para o nível da empresa (e.g. Fagerberg *et al.*, 1994). Muitos estudos, porém, voltam-se a utilizar somente indicadores de inovação tradicionais, como o investimento em P&D e a quantidade de patentes. Essas medidas são importantes, mas representam apenas uma parte dos indicadores da inovação. Para empresas originárias de países em desenvolvimento, essas medidas podem ser consideradas um pouco inadequadas, pois por mais que atividades inovadoras sejam realizadas, a incidência de departamentos de P&D e a atividade patentária é ainda incipiente (Bell & Figueiredo, 2012).

A ideia de inovação deve ultrapassar as perspectivas limitadas que a equiparam somente às atividades complexas derivadas de esforço científico em P&D. Assim, uma ampla ideia de inovação deve abranger também as capacidades tecnológicas. Segundo Figueiredo (2014), a capacidade tecnológica de uma firma pode ser definida por três dimensões: (i) estoque de conhecimento relacionado a recursos que são acumulados pelo capital humano, o que envolve

profissionais especializados e níveis de qualificações e habilidades, formal ou informal; (ii) sistema organizacional, que envolve arranjos organizacionais da firma, como seus procedimentos, rotinas, parcerias e sistema gerencial; e (iii) sistema técnico-físico, que envolve a infraestrutura técnico-científica da firma como equipamentos, laboratórios, *hardware*, *software*, etc.

O conceito de capacidade tecnológica seria, assim, um conjunto de recursos interligados que as empresas acumulam para implementarem níveis de atividades inovativas. Segundo Bell & Pavitt (1993) essas capacidades tecnológicas podem ser divididas entre: (i) capacidade produtiva, representado por capacidades de usar e operar tecnologias existentes e sistemas de produção com dados níveis de eficiência; e (ii) capacidades inovativas, que são as capacidades da firma de assimilar, adaptar e modificar tecnologias existentes que propiciarão a criação e o desenvolvimento de novas tecnologias e novos produtos. Figueiredo (2014) aponta que, apesar dessa distinção ser difícil de ser percebida na prática, a mesma é importante, pois empresas de países com industrialização tardia geralmente começam como usuários ou imitadores de tecnologias estrangeiras.

A literatura sobre capacidade tecnológica é importante para salientar a complexidade do processo inovativo, principalmente por considerar as diferenças entre países com estágios distintos de desenvolvimento e a heterogeneidade presente entre empresas de mesmos setores industriais. Porém, estudos empíricos que consigam perceber o impacto do conjunto de capacidades tecnológicas sobre o desempenho produtivo ainda são incipientes. Figueiredo (2014) evidencia que a maioria dos estudos empíricos busca examinar a acumulação da capacidade tecnológica com foco em estudos de caso com poucas empresas e em setores industriais específicos. Esses estudos são interessantes por mostrar a evolução temporal e as trajetórias tecnológicas de algumas firmas, mas pouco relacionam esta evolução com a produtividade (e.g. Lee & Lim, 2001; Dantas & Bell, 2009). Por outro lado, a maioria dos estudos empíricos que buscam a relação entre inovação e produtividade utilizam as variáveis de P&D ou patentes como *proxy*, negligenciando a questão das capacidades tecnológicas mencionadas (e.g. Crépon *et al.*, 1998; Griffith *et al.*, 2006).

As poucas evidências empíricas sobre o tema se devem à dificuldade de se mensurar variáveis relacionadas à capacidade tecnológica em amplas bases de dados, já que vários fatores podem ser representados. Não há um padrão formal de como essas evidências são construídas. Em alguns trabalhos é possível encontrar estimações com um grande número de variáveis de capacidade com o objetivo de avaliar cada fator individualmente. Já outros autores preferem a elaboração de um índice onde é possível integrar vários fatores simultaneamente. As mensurações de desempenho produtivo também variam, podendo ser a produtividade do trabalho, a produtividade total dos fatores ou a eficiência técnica.

Dentre os estudos que utilizaram variáveis desagregadas de capacidade

tecnológica, destacam-se Aw & Batra (1998) para empresas tailandesas e Kinda *et al.* (2009) com dados de empresas africanas retirados da pesquisa *Investment Climate* do Banco Mundial. Ambos os trabalhos utilizaram fatores de capacidade tecnológica como treinamento de mão-de-obra e uso de tecnologia estrangeira, e encontraram resultados significativos entre as mesmas e a produtividade/eficiência técnica, principalmente em setores mais intensivos em tecnologia. Já entre os estudos que utilizaram índices de capacidade tecnológicas, destacam-se Jolly & Shan (2010) para firmas chinesas e Dominguez & Brown (2004) para firmas mexicanas, também encontrando relações positivas. De maneira geral, esses trabalhos possuem técnicas e especificações econométricas distintas, mas evidenciam a correlação esperada entre capacidade tecnológica e desempenho produtivo.

2. Mensuração da produtividade: aspectos metodológicos

Na literatura, a mensuração de produtividade se concentra em medidas não paramétricas e paramétricas. As medidas não paramétricas são caracterizadas por cálculos mais simples, nos quais a produtividade é calculada sem a estimação de uma função de produção. As medidas mais utilizadas para equações desse tipo são as de Produtividade do Trabalho (PT) e Produtividade Total dos Fatores (PTF). As medidas paramétricas, por sua vez, são caracterizadas por estimações do desempenho das empresas através de um modelo que represente a função de produção. Esses tipos de modelos medem, por exemplo, a Eficiência Técnica (ET) das empresas através de operações econométricas. Biesebroeck (2003) sinaliza que a vantagem das medições não paramétricas é de que a análise se torna flexível na especificação da tecnologia, porém, não permite a medição de erros nos dados. Já as estimações paramétricas são menos vulneráveis a erros de medição, mas podem sofrer de má especificação do modelo. Por fim, esta seção também apresenta a composição do índice de capacidade tecnológica, no qual é utilizada como variável explicativa do modelo de ET.

2.1. Mensuração não paramétrica da Produtividade – PT e PTF

A produtividade é calculada através da razão do que é gerado pela empresa (*output*) e de alguns fatores de produção. Para a Produtividade do Trabalho o fator relevante é o próprio trabalho, medido como a quantidade de trabalhadores permanentes de uma firma. Para a Produtividade Total dos Fatores, os fatores mais relevantes são levados em conta, adicionando as variáveis como capital e outros insumos.

O cálculo da Produtividade do Trabalho foi especificado como o valor da transformação industrial (VTI) dividido pelo número de pessoal ocupado (PO). Para isso, o VTI foi definido como o valor bruto da transformação industrial (VTBI), no qual foram utilizados os dados referentes à receita bruta das firmas, menos os custos da operação industrial (COI), representados pelos custos de matérias-primas, materiais auxiliares e de energia consumidos na produção. Dessa forma, temos:

$$PT_i = \frac{VTI_i}{PO_i} \quad (1)$$

Onde i é a especificação da firma.

O cálculo não paramétrico da PTF leva vantagem por ser mais completo do que a PT, mas possui restrições hipotéticas de que as firmas possuem rendimentos constantes de escala, ou seja, atuam sob concorrência perfeita de produtos e dos fatores de produção (Coelli *et al.*, 2005). O cálculo leva em conta a razão dos custos com o pessoal ocupado (salários, S) sobre o custo total de produção (CT) e a razão dos outros custos sobre o valor do estoque de capital (K). O *output*, mais uma vez, é representado pelo valor da transformação industrial. Essa abordagem é baseada nos resíduos de Solow, no qual a PTF é calculada como resíduo da função de produção. Dessa maneira, outra limitação é de que a produtividade é vista como uma variável aleatória, o que não dá margem para que outros fatores expliquem as diferenças produtivas. A equação pode ser descrita como a seguir:

$$PTF_i = \frac{VTI_i}{PO_i^{\alpha_i} K_i^{(1-\alpha_i)}}, \text{ onde } \alpha_i = \frac{S_i}{CT_i} \quad (2)$$

Para que seja possível a comparação entre setores industriais da PTF, já que a medida possui valores de custo e quantidade, o cálculo pode ser definido

através de números índices (Coelli *et al.*, 2005). Um dos índices mais utilizados pela literatura é o índice da PTF de Törnqvist, no qual são tirados os logaritmos naturais das variáveis. A equação é definida abaixo, onde i é a especificação da firma:

$$PTF_{ij} = \text{Ln}(VTI_i) - \alpha_i \text{Ln}(PO_i) - (1 - \alpha_i) \text{Ln}(K_i) \quad (3)$$

2.2. Mensuração paramétrica da produtividade – ET

Os modelos de fronteira de produção estocástica foram introduzidos por Aigner *et al.* (1977) e Meeusen & Van den Broeck (1977). Desde então vários modelos foram incorporados e implementados numa perspectiva econométrica. Autores como Stevenson (1980), Kumbhakar *et al.* (1991), Huang & Liu (1994) e Battese & Coelli (1995) desenvolveram várias técnicas, métodos de estimação e tipos de distribuição diferentes, com desenvolvimento nos fatores de Eficiência Técnica. Essa análise geral e a definição da fronteira estocástica nesse artigo podem ser vista em Kumbhakar & Lovell (2000).

A Eficiência Técnica pode ser calculada em uma abordagem paramétrica como o resíduo da função de produção. A função de produção mais utilizada pela literatura é a de Cobb-Douglas, pois apresenta boas propriedades matemáticas e as elasticidades dos fatores são fáceis de interpretar. Essa mensuração da produtividade possui a vantagem de relaxar a hipótese dos retornos constantes de escala, pois, ainda que o problema da otimização e maximização dos lucros em uma situação de concorrência perfeita seja estabelecido, a fronteira da possibilidade de produção não é otimizada. Em um modelo estocástico, as empresas se posicionam em relação à firma mais eficiente, no qual esta define uma fronteira de produção empírica. A diferença da produtividade de uma determinada empresa para a produtividade da firma mais eficiente é definida como Eficiência Técnica, no qual se estabelece como uma medida de produtividade comparativa com a melhor prática empírica da amostra (Kumbhakar & Lovell, 2000).

Dessa forma, o maior resíduo (positivo da regressão é caracterizado como a observação mais eficiente, no qual as outras observações irão se posicionar comparativamente com essa. possui as propriedades de ser uma variável aleatória não correlacionado com as variáveis explicativas da função de produção. Num modelo estocástico, a estimação pode ser ampliada por um composto do termo de erro que, além de ϵ , possui outra variável aleatória η , representando os choques externos sobre a firma. Assim, representa a ineficiência técnica, caracterizado com sinal negativo na equação, já que na verdade mostra a

ineficiência de uma observação com relação à observação “modelo”:

$$y_i = f(x_i, \beta) - u_i + v_i \quad (4)$$

Onde Y : produção, X : fatores de produção, β parâmetros da equação, v : componente idiossincrático, u : ineficiência técnica, \mathbf{i} : especificação da firma.

Aplicando o logaritmo natural em ambos os lados, assume-se fatores de produção) e que a função de produção é linear em logs:

$$\ln(y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j \ln(x_{ji}) - u_i + v_i \quad (5)$$

Assume-se também que o componente idiossincrático (v_i) é independente e possui distribuição normal $N(0, \sigma_v)$; e que o termo de ineficiência (u_i) é independente e possui distribuição truncada no ponto 0 (normal-trucada) $N^+(\mu, \sigma_u^2)$.

Assim, a ineficiência demonstrada por u_i pode ocorrer de choques exógenos ou pela capacidade tecnológica própria da firma, no qual medidas internas ou externas poderão influenciar seu desempenho. Há duas formas gerais de estimar essa Eficiência Técnica: procedimento via dois estágios e via um estágio. O procedimento em dois estágios consiste primeiro em estimar a função de produção, no qual seriam gerados os resíduos (representados pela ineficiência técnica u_i). O segundo passo seria estimar o resíduo encontrado com novas variáveis explanatórias (z) que pudessem se relacionar com a Eficiência Técnica. Acontece que o procedimento em dois estágios traz alguns problemas ao separar a Eficiência Técnica da função de produção. A estimação tem forte tendência a ser enviesada, pois u é correlacionada com X , no sentido de que as variáveis da função de produção também podem ser explicadas por fatores que afetam a Eficiência Técnica. Wang & Schmidt (2002) sinalizam que o problema pode ser ainda maior se houver fatores omitidos na equação da função de produção na primeira etapa, no qual esses fatores influenciarão, na segunda etapa, numa mensuração incorreta da Eficiência Técnica por problemas de variáveis omitidas.

O procedimento em apenas um estágio vem sendo proposto pela literatura por dar conta dos problemas de estimação via dois estágios. Esse procedimento é caracterizado pela estimação, ao mesmo tempo, da função de produção e dos fatores que afetam a ineficiência técnica. Desde que a Eficiência Técnica é definida como qualquer mudança no *output* que não influencia os fatores de produção, esses determinantes são incluídos diretos em uma só equação.

Coelli *et. al.* (2005) salientam que a estimação por MQO não consegue estimar o efeito da Eficiência Técnica, pois o coeficiente do intercepto ficaria enviesado por baixo. Assim, a estimação é feita por máxima verossimilhança³. Vale destacar também que, como o termo $-u_i$, na verdade mede a ineficiência, os fatores que influenciam de forma positiva o desempenho da empresa devem apresentar sinal negativo em seus coeficientes, como é o caso do índice de capacidade tecnológica da empresa proposto no artigo. O contrário pode ser dito com fatores que influenciam a produtividade de forma negativa, no qual um sinal positivo é esperado de seus coeficientes.

2.3. Composição do indicador de Capacidade Tecnológica

O agrupamento das variáveis de capacidade tecnológica em um único índice serve para evitar problemas de multicolinearidade e evidencia a inter-relação dinâmica entre as capacidades de uma firma, já que um conjunto de habilidades, experiências e níveis de conhecimento podem estar associados entre si. Para construção desse índice foi aplicada a análise dos componentes principais (PCA). Esta análise geralmente é aplicada para a redução do número de variáveis a fim de descrever uma série de combinações lineares não correlacionadas que contêm a maioria da variância. A utilização do PCA é recomendada quando se tem um conjunto de dados correlacionados em que não se possa postular, com base nos dados disponíveis, uma estrutura particular destas variáveis. O PCA é uma operação que gera um novo conjunto de dados não correlacionados entre si, ao contrário do que ocorre com os dados originais. Detalhes da técnica dos componentes principais podem ser visto em Jackson (1991).

Para construção do indicador através da técnica de PCA, valores normalizados de cinco características de capacidade tecnológica foram utilizados: (i) se a empresa possui licenciamento de tecnologia estrangeira; (ii) se possui certificados de qualidade reconhecidos internacionalmente; (iii) se possui programas formais de treinamento; (iv) se os funcionários de produção possuem nível de educação igual ou superior a fundamental completo; e (v) se a empresa apresenta 10% ou mais de funcionários da administração com diploma universitário. Essas variáveis se inserem como *proxys* de capacidade tecnológica, nos quais os níveis de educação da mão-de-obra representam o estoque de conhecimento da firma, enquanto que variáveis de programas de treinamentos e de certificados de qualidade representam o sistema organiza-

³ Os passos da estimação por máxima verossimilhança em um único estágio, considerando uma distribuição normal-trucada para u_i , foram desenvolvidos por Stevenson (1980) e também pode ser visto em Huang & Liu (1994) e em Kumbhakar & Lovell (2000).

cional da mesma. Por fim, o licenciamento de tecnologia estrangeira identifica um esforço inovativo típico de empresas de países em desenvolvimento, que está relacionado com o seu sistema técnico-físico.

Os resultados da Tabela 1 mostram os autovalores da matriz de correlação, destacando que o primeiro componente explica 34,13% da variância dos indicadores individuais subjacentes, ou seja, respondem pela maior parte da variabilidade dos dados originais e representa o arranjo de melhor distribuição dos mesmos. Na etapa seguinte (Tabela 2), na base dos resultados encontrados pelos autovalores, a carga dos fatores das variáveis (autovetores) do primeiro componente é utilizada como pesos das respectivas variáveis na construção do índice composto de capacidade tecnológica. O autovetor, com o maior autovalor associado, corresponde aos coeficientes para o componente principal, o que significa que esse é o relacionamento mais significativo entres as dimensões dos dados.

TABELA 1 - ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) – ÍNDICE DE CAPACIDADE TECNOLÓGICA (AUTOVALORES)

Componente	Autovalor	Proporção
Comp1	1.70667	0.3413
Comp2	0.962766	0.1926
Comp3	0.884254	0.1769
Comp4	0.776911	0.1554
Comp5	0.669398	0.1339

Fonte: Elaboração própria.

TABELA 2 - ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) – ÍNDICE DE CAPACIDADE TECNOLÓGICA (AUTOVETORES)

Variáveis	Comp1
Tecnologia Estrangeira	0.3744
Treinamento	0.4884
Certificado	0.5399
Educação (PO produção)	0.2973
Educação (PO administração)	0.4914

Fonte: Elaboração própria.

3. Dados e Estatísticas Descritivas

O artigo busca avaliar uma amostra de empresas brasileiras presentes no questionário desenvolvido pelo Banco Mundial e publicado na pesquisa *Enterprise Survey 2009*, que seleciona informações a partir do levantamento contábil do ano de 2007. A amostra é composta por 1315 firmas manufatureiras, distribuídas nos seguintes setores industriais: (1) Alimento, (2) Têxtil e Vestuário, (3) Calçado e Couro, (4) Móveis, (5) Química, (6) Máquinas e Equipamentos e (7) Autopeças. Os setores também podem ser agregados em dois níveis de intensidade tecnológica, segundo taxonomia elaborada pela OCDE (2011)⁴: baixa intensidade (setores 1, 2, 3 e 4) e média-alta intensidade (setores 5, 6 e 7).

Para uma melhor visualização do perfil setorial dessas empresas, a Tabela 3 relaciona algumas variáveis dos setores industriais destacados. A tabela mostra a média dessas variáveis em cada setor, assim como a porcentagem da média dos setores com relação ao setor que apresenta a maior média. Pela Tabela 3 é possível identificar algumas características importantes dos setores industriais. Os setores de Autopeças e Alimento são os que, em média, possuem um maior número de pessoal ocupado. Com relação ao valor da transformação industrial, percebe-se que os maiores valores, em média, estão nos setores de Alimento, Máquinas e Equipamentos, Química e Autopeças, enquanto os setores de Calçado/Couro, Móveis e Têxtil/Vestuário apresentam os menores valores.

4 A OCDE utiliza como critério de classificação a razão entre a taxa de investimento em P&D e o valor adicionado das atividades econômicas. A partir dessa razão, os setores industriais são classificados em quatro níveis de intensidade tecnológica: baixa, baixa-média, média-alta e alta. O presente artigo compreende setores classificados como baixa e média-baixa intensidade de acordo com essa metodologia. Para mais detalhes ver OCDE (2011).

Tabela 3 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS – MÉDIAS (VARIÁVEIS SELECIONADAS)

Setor	Nº Firmas	Pessoal Ocupado		VTI (R\$ Milhões)		Produtividade do Trabalho		PTF	
		Média	%	Média	%	Média	%	Média	%
Alimento	161	317	85%	1,933	100%	3,665	5%	5.16	85%
Têxtil/ Vestuário	337	137	37%	600	31%	2,565	4%	5.84	97%
Calçado/ Couro	139	126	34%	325	17%	1,790	3%	6.05	100%
Móveis	177	67	18%	371	19%	2,309	3%	4.89	81%
Química	141	142	38%	1,834	95%	7,211	10%	5.02	83%
Máquinas e Equipamentos	211	92	25%	1,911	99%	68,900	100%	5.90	98%
Autopeças	149	373	100%	1,692	88%	28,400	41%	5.60	93%
Total	1315	178		1,159,821		16,591,928		5.60	
Nº de Obs.	1315	1312		1115		1115		1057	

Fonte: Elaboração própria. Dados do Banco Mundial (2009).

Pelo cálculo da Produtividade do Trabalho é possível perceber uma grande diferença nos valores médios dos setores, principalmente o ramo de Máquinas e Equipamentos, que apresenta um valor bem superior aos demais, seguido pelo setor de Autopeças e Química. Pelos dados do VTI e do pessoal ocupado esse valor já era esperado, já que o setor possui um dos maiores valores da primeira variável e um dos menores da segunda. É possível perceber também que os três setores mais intensivos em tecnologia possuem os maiores valores de Produtividade do Trabalho. Já o cálculo do índice da PTF apareceu bem mais distribuído entre os ramos industriais. Isso se deve pelo fato de acrescentar o insumo capital ao cálculo, reduzindo o “resíduo” que justamente era maior nos setores mais intensivos em tecnologia, justamente os que possuem os maiores valores de capital. Dessa forma, o setor de Calçado/Couro foi o que apresentou, em média, o maior índice de PTF, seguido pelo setor de Máquinas e Equipamentos, Têxtil/Vestuário e Química.

Na Tabela 4 são selecionadas algumas variáveis binárias que mostram as características das empresas e de suas capacidades tecnológicas. Apresenta-se também a porcentagem de empresas por níveis setoriais que exportaram seus produtos e mantiveram relações comerciais, independentemente da intensidade dessas relações. Os resultados da tabela mostram os valores agregados em porcentagem se a empresa respondeu sim para as variáveis selecionadas.

TABELA 4 - PARTICIPAÇÃO DAS EMPRESAS BRASILEIRAS EM VARIÁVEIS SELECIONADAS

Setor	Tecnologia Estrangeira	Certificado	Treinamento	Educação Produção \geq Fundamental	Educação Administração Superior \geq 10%	Exportação
Alimento	12.4%	17.1%	64.6%	69.8%	24.7%	13.0%
Têxtil/Vestuário	11.1%	5.7%	43.2%	65.8%	24.8%	12.2%
Calçado/Couro	13.1%	4.3%	33.6%	60.6%	19.5%	17.3%
Móveis	9.9%	6.9%	45.9%	63.0%	21.6%	11.9%
Química	16.3%	39.0%	63.8%	80.0%	56.8%	22.9%
Máquinas e Equipamentos	22.7%	33.6%	59.8%	87.1%	39.3%	22.3%
Autopeças	19.6%	53.7%	68.2%	79.7%	42.3%	28.9%
Total	14.7%	20.7%	53.0%	71.9%	31.6%	17.4%
Nº de Obs.	1297	1306	1301	1299	1275	1313

Fonte: Elaboração própria. Dados do Banco Mundial (2009).

Pela Tabela 4 é possível observar que a grande maioria das empresas, seja de qualquer setor, não possuem tecnologia estrangeira (85,3%) e não possuem certificado de qualidade (79,3%). É possível ver, porém, que os três setores mais intensivos em tecnologia possuem os melhores resultados nessas duas variáveis, sendo o de Máquinas e Equipamentos liderando em tecnologia estrangeira (22,7%) e o de Autopeças liderando em certificados de qualidade (53,7%). Os piores resultados são para os setores de Móveis em tecnologia estrangeira (9,9%) e para o setor de Calçado/Couro para certificado (4,3%). Já a variável de que a empresa possui programas de treinamento para seus funcionários foi mais representativa, com 53% do total, sendo o setor de Autopeças com a maior proporção (68,2%) e o setor de Calçado/Couro com a menor (33,6%).

As variáveis de educação, tanto para o nível dos funcionários de produção quanto para o nível dos funcionários da administração, mostram que os três setores mais intensivos em tecnologia apresentam as maiores proporções. No primeiro caso, o setor de Máquinas e Equipamentos apresenta os maiores valores (87,1%), enquanto o setor de Calçado/Couro apresenta os menores (60,6%). No segundo caso, o setor de Química apresenta as maiores proporções (56,8%), enquanto, mais uma vez, o setor de Calçado/Couro apresenta as menores (19,5%). Por fim, as empresas que exportaram no período da pesquisa representam apenas 17,4% da amostra total, sendo as maiores proporções nos

setores mais intensivos em tecnologia, principalmente de Autopeças (28,9%). O setor que menos exportou foi o de Móveis, apenas 11,9% das empresas. Possíveis correlações sobre essas características setoriais serão analisadas com mais detalhes pelas estimações da seção a seguir.

4. Modelo Econométrico de Eficiência Técnica

A estimação da fronteira estocástica de produção descrita na subseção 3.2 relaciona em uma mesma equação os fatores de produção (x) e os fatores que determinam a Eficiência Técnica (z). O modelo evidencia o logaritmo natural da produção (representado pelo VTI) das empresas e a Eficiência Técnica (produtividade) em uma mesma etapa. Os fatores de produção utilizados são do tipo Cobb-Douglas, com a presença do logaritmo do capital (K) e do logaritmo do trabalho (T). Para K é usado o valor do capital fixo sobre o número de pessoal ocupado, enquanto que para T é usado o custo do trabalho sobre o número de pessoal ocupado. Já os fatores da ET são representados pelo tamanho da firma através do número de pessoal ocupado, pelo comércio exterior através das exportações e pelo índice de capacidade tecnológica apresentado na subseção 3.3.

As variáveis que influenciam a Eficiência Técnica foram escolhidas segundo algumas hipóteses evidenciadas na literatura e discutidas na seção 2. As variáveis de capacidade tecnológica agrupadas em um único índice estão relacionadas com o aumento da qualidade do processo produtivo, o que pode gerar maiores níveis de produtividade para as empresas. A questão do tamanho da firma está relacionada com os pressupostos de que empresas maiores possuem maiores retornos de escala, e, por isso, levam vantagens sobre as menores firmas em relação à eficiência produtiva. Por fim, a questão do comércio exterior e das exportações também já foi amplamente debatida na literatura, no qual se presume que o acesso a novos mercados, principalmente o mercado internacional, expandiria a eficiência da empresa⁵.

Dessa forma, espera-se uma relação positiva dos fatores de produção (x) com o valor adicionado (VTI) e de que as variáveis de Eficiência Técnica (z) impactem positivamente a ET. Para isso, são esperados coeficientes positivos para os x 's e coeficientes negativos para os Z 'S como explicitado na subseção 3.2. O modelo está representado como:

5 A questão do desenvolvimento industrial através de benefícios como redução de custos e melhoria da qualidade de produtos exportáveis para disputar mercado estrangeiro e ampliar a demanda é discutida e formalizada por Kaldor (1966).

$$\ln(\text{VTI}_i) = \beta_1 \ln(\text{T}_i) + \delta_1 \text{Exportação}_i + \delta_2 \text{Tamanho} + \delta_3 \text{Capacidade}_i + \delta_4 \text{Intensidade}_i + u_i^* + v_i + c \quad (6)$$

Onde:

VTI_i : Valor da transformação industrial.

K_i : Capital. Valor bruto do capital fixo sobre o número de pessoal ocupado.

T_i : Trabalho. Custo do trabalho sobre o número de pessoal ocupado.

Exportação_i : Comércio exterior. Variável binária, com valor 0 se a empresa não exportou no período e valor 1 se a empresa exportou.

Tamanho_i : Tamanho da firma, medido pelo número de pessoal ocupado.

Capacidade_i : Índice de capacidade tecnológica. Descrito na subseção 3.3.

Intensidade_i : Intensidade tecnológica. Variável binária, com valor 0 se a empresa pertencer a setores de baixa intensidade tecnológica (Alimento, Têxtil/Vestuário, Calçado/Couro, Móveis) e valor 1 se a empresa pertencer a setores de média-alta intensidade tecnológica (Química, Máquinas e Equipamentos, Autopeças).

v_i : Termo de erro.

u_i^* : Termo de erro da ineficiência

c : Intercepto.

β_1 : Coeficientes de fatores de produção

δ_i : Coeficientes de ineficiência técnica

i : Especificação da firma.

A equação 6 foi estimada por máxima verossimilhança, onde o componente de erro (v_i) apresenta distribuição normal e o componente de ineficiência (u_i) apresenta distribuição normal-truncada como visto na subseção 3.2. Primeiramente, a estimação foi feita sobre o total da amostra e sobre os dois níveis de intensidade tecnológica destacados: baixa e média-alta intensidade. Dessa forma, a estimação da amostra total possui uma *dummy* de intensidade, já identificado na equação (6), a fim de captar as diferenças do nível de intensidade dos setores sobre a ET. Essa estimação pode ser vista na Tabela 5.

TABELA 5 – ESTIMAÇÕES: AMOSTRA TOTAL E NÍVEIS DE INTENSIDADE TECNOLÓGICA (VARIÁVEL DEPENDENTE: LNVTI)

	(1) Total	(2) Baixa Intensidade	(3) Média-alta Intensidade
Fronteira			
(ln)K	0.264*** (0.03)	0.192*** (0.04)	0.304*** (0.05)
(ln)T	0.744*** (0.04)	0.815*** (0.05)	0.628*** (0.06)
Constante	4.672*** (0.31)	5.501*** (0.39)	5.991*** (0.49)
Ineficiência			
Exportação	-1.469*** (0.55)	-0.809 (0.92)	-2.152 (1.98)
Tamanho	-0.002* (0.00)	-0.006*** (0.00)	-0.002 (0.00)
Capacidade	-0.389*** (0.12)	-1.115*** (0.24)	-0.692*** (0.20)
Intensidade	-1.323*** (0.47)	- -	- -
Constante	0.538** (0.22)	-0.884 (0.00)	0.136 .
Nº de obs.	1039	652	387
sigma_u	0.567	1.420	0.641
sigma_v	1.680	1.661	1.670
Wald chi2	2005.664	1084.942	677.697
Prob > chi2	0.00	0.00	0.00
Log Likelihood	-2166.562	-1280.958	-816.964

Significância: * p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01. Erros-padrão entre parênteses. Espera-se sinal positivo para as variáveis de Fronteira e valores negativos para as variáveis de Ineficiência (eficiência). Elaboração própria.

Cada estimação apresenta o desvio-padrão do componente de ineficiência (sigma_u) e o desvio-padrão do termo de erro (sigma_v), além do teste da razão de verossimilhança (Wald chi2 e Prob >chi2) e a relação de verossi-

milhança (Log Likelihood). A tabela 5 é dividida em duas partes: a primeira contendo a estimação da fronteira estocástica de produção do tipo Cobb-Douglas, com os insumos Capital (K) e Trabalho (L), ambos em logaritmo; e a segunda parte contendo as variáveis que impactam a eficiência de produção.

Na estimação da fronteira, os resultados encontrados foram positivos e significativos ao nível de 1% nas três equações. As variáveis independentes $\ln(K)$ e $\ln(T)$ representam as elasticidades com relação ao valor adicionado ($\ln VTI$). Percebe-se que a soma dos coeficientes está próxima de 1, sendo de 0,26 para o capital e de 0,74 para o trabalho na amostra total, de 0,19 para o capital e de 0,81 para o trabalho na amostra de setores de baixa intensidade tecnológica, e de 0,30 para o capital e de 0,62 para o trabalho na amostra de setores de média-alta intensidade. Assim, como esperado, os setores de média-alta intensidade tecnológica possuem uma representação maior da variável capital do que as outras duas amostras, enquanto os setores de baixa intensidade possuem uma representação maior da variável trabalho do que as outras amostras.

Na parte da estimação da ineficiência, os resultados encontrados foram negativos em todas as equações, o que era esperado, pois deduz a hipótese de que as quatro variáveis destacadas impactam de forma positiva a Eficiência Técnica. Na equação da amostra total, as variáveis Exportação, Capacidade e Intensidade apresentam nível de significância a 1%, enquanto a variável Tamanho apresenta nível de significância a 10%. Dessa maneira, observa-se que, no conjunto total de empresas, essas variáveis impactam positivamente na eficiência produtiva. Já na amostra de setores de baixa intensidade tecnológica, os resultados foram estatisticamente significativos a 1% nas variáveis Tamanho e Capacidade, enquanto a variável Exportação não se mostrou estatisticamente significativa. Por fim, a amostra de empresas dos setores de intensidade média-alta, os resultados foram significativos a 1% na variável de Capacidade, enquanto as variáveis Exportação e Tamanho não foram significativas.

Os resultados mostram diferenças quando se estima níveis de intensidade tecnológica diferentes, apesar do sinal esperado dos coeficientes se confirmar em todas as hipóteses. A variável Exportação não se mostrou estatisticamente significativa para ambos níveis de intensidade, mas se mostra estatisticamente significativa no total, enquanto o tamanho da firma não possui significância nas empresas de média-alta intensidade. Por fim, o índice de capacidade tecnológica se mostrou determinante para a eficiência produtiva em todas as equações, mostrando a importância da variável para a produtividade da firma.

Para captar melhor essas diferenças, estima-se a mesma equação em níveis mais desagregado dos setores, como pode ser visto na Tabela 6. Na estimação da fronteira estocástica, observa-se que os coeficientes de $\ln(K)$ e de $\ln(T)$ para todas as equações foram positivos, e somente o coeficiente de $\ln(K)$ para o setor de Calçado/Couro não foi estatisticamente significativo.

TABELA 6 – ESTIMAÇÕES: NÍVEIS DESAGREGADOS DOS SETORES (VARIÁVEL DEPENDENTE: LNVTI)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Alimento	Têxtil e Vestuário	Calçado e Couro	Móveis	Química	Máquinas e Eq.	Autopeças
Fronteira							
(ln)K	0.180*	0.191***	0.024	0.305***	0.372***	0.367***	0.175**
	(0.10)	(0.06)	(0.08)	(0.06)	(0.09)	(0.09)	(0.09)
(ln)T	0.704***	0.808***	0.841***	0.638***	0.621***	0.554***	0.646***
	(0.11)	(0.07)	(0.09)	(0.06)	(0.10)	(0.09)	(0.10)
Constante	7.512***	4.838***	8.274***	8.367***	5.223***	7.516***	10.568***
	(1.09)	(0.60)	(0.78)	(0.74)	(1.04)	(0.77)	(1.05)
Ineficiência							
Exportação	-3.707	-1.127	-0.807	-0.193	-2.812	-1.431	-1.221**
	(14.54)	(0.69)	(0.70)	(0.43)	(4.25)	(1.85)	(0.52)
Tamanho	-0.007	-0.003	-0.017***	-0.020***	-0.006	-0.047***	-0.004***
	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.01)	(0.01)	(0.00)
Capacidade	2.088***	-0.621***	-0.499**	-0.140	0.079	0.058	-0.137
	(0.70)	(0.24)	(0.21)	(0.11)	(0.16)	(0.21)	(0.14)
Constante	-1.093	0.432	2.849***	4.203***	0.836	2.905***	4.005***
	(0.00)	(0.47)	(0.52)	(0.44)	(0.66)	(0.98)	(0.63)
Nº de obs.	120	258	123	140	112	169	106
sigma_u	1.875	0.446	0.954	0.581	0.422	1.917	0.969
sigma_v	1.957	1.530	1.037	0.744	1.688	1.141	1.307
Wald chi2	113.124	569.563	274.890	632.741	215.125	309.608	142.409
Prob > chi2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Log Likelihood	-257.231	-525.136	-204.987	-186.200	-235.563	-314.412	-207.186

Significância: * p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01. Erros-padrão entre parênteses. Espera-se sinal positivo para as variáveis de Fronteira e valores negativos para as variáveis de Ineficiência (eficiência). Elaboração própria.

Na parte da estimação da ineficiência, os coeficientes das variáveis foram negativos em todas as variáveis, menos no índice de capacidade tecnológica dos setores de Química e Máquinas e Equipamentos. Esse resultado é interessante, pois se esperava um sinal negativo para esses setores, principalmente por estarem presente em ramos mais intensivos em tecnologia. Porém, os coeficientes para esses dois casos não se mostraram estatisticamente significativos. Com relação aos níveis de significância, a variável Exportação se mostrou estatisticamente significativa apenas no setor de Autopeças, evidenciando a relação desse ramo com o comércio exterior e de seu impacto na Eficiência

Técnica. A variável Tamanho se mostrou estatisticamente significativa nos setores de Calçado/Couro, Móveis, Máquinas e Equipamentos e Autopeças, no qual o tamanho da empresa impacta de forma positiva na eficiência produtiva desses setores. Por fim, a variável Capacidade se mostrou estatisticamente significativa apenas nos setores de Alimento, Têxtil/Vestuário e Calçado/Couro. Diferente do que ocorreu na estimação da amostra total da Tabela 5, o índice de capacidade não se mostra significativo de acordo com a intensidade tecnológica em níveis mais desagregados dos setores.

Considerações finais

O artigo procurou testar de forma empírica o impacto da capacidade tecnológica, através de um índice, sobre a Eficiência Técnica de uma amostra de firmas localizadas no Brasil com dados disponíveis pelo *World Bank Enterprise Survey 2009*. Procurou-se também uma análise setorial e em níveis de intensidade tecnológica para que as especificidades dos sistemas produtivos fossem levadas em conta. Para isso, foram utilizados modelos não paramétricos (PT e PTF) e paramétricos (ET) para o cálculo da produtividade.

Pela análise via estatística descritiva é possível verificar que setores mais intensivos em tecnologia apresentaram valores médios de Produtividade do Trabalho superiores comparativamente aos outros setores menos intensivos em tecnologia. O mesmo pode ser dito quando se analisa os fatores de capacidade tecnológica, nos quais esses setores apresentaram uma maior participação de fatores como certificado de qualidade, licenciamento de tecnologia estrangeira, treinamento e qualificação da mão-de-obra. A variável de Exportação também se mostrou superior nesses setores. No que se refere à Produtividade Total dos Fatores, a estatística descritiva mostrou que setores mais intensivos em tecnologia como Máquinas e Equipamentos e Autopeças continuam possuindo grandes valores médios, mas, devido ao peso da variável capital nesse cálculo, setores como Calçado/Couro e Têxtil/Vestuário também mostraram altos valores médios em comparação com os outros setores. Dessa forma, percebe-se que a importância em termos de produtividade na análise da PT para os setores mais intensivos não se confirma na análise da PTF, justamente por esta última considerar o capital como fator de produção.

Já a estimação econométrica da fronteira estocástica para a Eficiência Técnica se mostrou eficaz na estimação da função de produção. O impacto do índice de capacidade tecnológica sobre a ET se mostrou positivo e estatisticamente

significativo tanto na amostra total quanto nos setores mais intensivos e menos intensivos em tecnologia. Isso comprova a hipótese de que as variáveis de capacidade são importantes para determinar a eficiência produtiva das empresas dessa amostra. Porém, percebe-se que os coeficientes dos setores de intensidade tecnológica baixa são maiores do que os coeficientes dos setores de intensidade média-alta. Isso pode ser comprovado quando se estima em níveis setoriais desagregados, nos quais os setores de Alimento, Têxtil/Vestuário e Calçado/Couro apresentaram coeficientes estatisticamente significativos.

Esse resultado pode ser explicado fazendo um comparativo com as estatísticas descritivas da Tabela 4, mostrando que os setores mais intensivos em tecnologia possuem maiores participações das variáveis de capacidade do que os setores menos intensivos. Dessa forma, como poucas empresas destes setores apresentam essas variáveis, as mesmas acabam se sobressaindo diante das demais. Assim, características de competitividade entre seus índices de capacidade dentro de um mesmo setor se mostra importante para explicar a estimação da Eficiência Técnica, já que a mesma relaciona o posicionamento das firmas em relação à firma mais eficiente. Logo, pode-se interpretar que as diferenças de produtividade das firmas dos setores menos intensivos em tecnologia em relação à firma mais produtiva destes setores são maiores do que as diferenças de produtividade das firmas dos setores mais intensivos em tecnologia em relação à firma mais produtiva destes mesmos setores.

Os resultados encontrados servem como uma pista geral de como anda a relação entre capacidade tecnológica e produtividade das empresas industriais no Brasil. Uma limitação do estudo é quanto a falta de uma evolução temporal dos níveis de capacidade das empresas devido à limitação dos dados, servindo como um complemento para pesquisas mais específicas e em níveis de detalhamento maiores sobre o tema.

Referências bibliográficas

- Aigner, D. J.; Lovell, C. A. K.; Schmidt, P. (1977). "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models". *Journal of Econometrics*, v. 6, p. 21-37.
- Aw, B. Y.; Batra, G. (1998). "Technological Capability and Firm Efficiency in Taiwan (China)". *The World Bank Economic Review*, v. 12, n. 1, p. 59-79.
- Banco Mundial (2009). *Enterprise Survey Brazil 2009*.
- Battese, G. E.; Coelli, T. J. (1995). "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production for panel data". *Empirical Economics*, v. 20, p. 325-332.

- Bell, M., Pavitt, K., (1993). Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. *Industrial and Corporate Change*, v. 2, n. 2, p. 157–211.
- Bell, M., Figueiredo, P. N. (2012). Building innovative capabilities in latecomer emerging market firms: some key issues. In: Cantwell, J., Ed Amann, (Eds.), *Innovative Firms in Emerging Market Countries*. Oxford: Oxford University Press.
- Biesebroeck, J. V. (2003). “Revisiting some productivity debates”. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, n. 10065.
- Coelli, T. J.; Rao, D.s. P.; O’donnell, C. J.; Battese, G. E. (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. 2. ed. *New York: Springer Science*.
- Crépon, B.; Duguet, E.; Mairesse, J. (1998). Research, innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level. *Economics of innovation and new technology*, v. 7, n. 2, p. 115-158.
- Dantas, E., Bell, M. (2009). Latecomer firms and the emergence and development of knowledge networks: the case of Petrobras in Brazil. *Research Policy*, v. 38, n. 5, p. 829–844.
- Dominguez, L.; Brown, F. (2004). “Measuring technological capabilities in Mexican industry”. *CEPAL Review*, n. 83, p. 129–144.
- Dosi, G. (1988). Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, v. 26, n. 3, p. 1120–1171.
- Fagerberg, J.; Verspagen, B.; Von Tunzelmann, N. (1994). The Dynamics of Technology, Trade and Growth. *Edward Elgar: Aldershot*.
- Figueiredo, P. N. (2014). Beyond technological catch-up: An empirical investigation of further innovative capability accumulation outcomes in latecomer firms with evidence from Brazil. *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 31, p. 73-102.
- Griffith, R.; Huergo, E.; Mairesse, J.; Peters, B. (2006). Innovation and productivity across four European countries. *Oxford Review of Economic Policy*, v. 22, n. 4, p. 483-498.
- Huang, C. J.; Liu J-T. (1994). “Estimation of a non-neutral stochastic frontier production function”. *Journal of Productivity Analysis*, v. 5, p. 171-180.
- Jackson, J. E. (1991). A User’s Guide to Principal Components. *John Wiley & Sons: New York*.
- Jolly, D. R.; Shan, J. (2010). “Accumulation of Technological Innovation Capability and Competitive Performance in Chinese firms: A quantitative study”. In: IAMOT, Cairo, Egypt.
- Kaldor, N. (1966). Causes of the slow rate of economic growth of the United Kingdom. *Cambridge University Press: Cambridge*.
- Kinda, T.; Plane, P.; Véganzonès-Varoudakis, M. (2009). “Firms’ Productive Performance and the Investment Climate in Developing Economies: An Application to MENA Manufacturing”. *Policy Research Working Paper*, n. 4869.
- Kumbhakar, S. C.; Ghosh, S.; Mcguckin, J. T. (1991). “A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms”. *Journal of Business and Economic Statistics*, v. 9, p. 279-286.

- Kumbhakar, S. C.; Lovell, C. A. K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Lall, S. (1992). "Technological Capabilities and Industrialization". *World Development*, vol. 20, n. 2, p. 165-186.
- Lee, K., Lim, C. (2001). Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries. *Research Policy*, v. 30, n. 3, p. 459-483.
- Meeusen, W.; Van Den Broeck, J. (1977). "Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error". *International Economic Review*, v. 18, p. 435-444.
- OCDE - ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (2011). ISIC rev. 3 Technology Intensity definition. *OECD Directorate for Science, Technology and Industry, Economic Analysis and Statistics Division*. Paris: OECD.
- Stevenson, R. F. (1980). "Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation". *Journal of Econometrics*, v. 13, p. 57-66.
- Wang, H; Schmidt, P. (2002). "One-step and two-step estimation of the effects of exogenous variables on technical efficiency levels". *Journal of Productivity Analysis*, v. 18, p. 129-144.

