

O Desempenho da Produtividade da Indústria de Transformação Brasileira – 1996-2002: Uma Abordagem Utilizando o Índice de Produtividade de Malmquist

RESUMO: o artigo tem como objetivo apresentar o desempenho da produtividade da indústria de transformação brasileira utilizando o índice de produtividade de Malmquist e seus componentes (índice de mudança na eficiência técnica e índice de mudança na tecnologia) no período compreendido entre 1996 e 2002. O índice de produtividade de Malmquist, que segue a metodologia de Färe *et al* (1994), é calculado utilizando-se dois métodos: a análise de fronteira estocástica (SFA) e a análise envoltória de dados (DEA). Em ambos os métodos, a indústria de transformação obteve ganhos médios de eficiência, houve contração da fronteira tecnológica e declínio na Produtividade Total dos Fatores puxado pela contração na fronteira tecnológica. No entanto, a divisão do período em duas amostras, antes e depois da mudança do regime cambial, não foi conclusiva para explicar de forma única as flutuações observadas nos índices de Malmquist e de seus componentes.

Elvino de Carvalho Mendonça*

* Secretaria de Acompanhamento Econômico/
MF – elvino.mendonca@fazenda.gov.br

PALAVRAS-CHAVE: indústria de transformação, índice de Malmquist, mudança na eficiência, mudança na tecnologia e produtividade total dos fatores.

CLASSIFICAÇÃO JEL: L60, C33

ABSTRACT: The paper has objective to present productivity performance of brazilian industrial sector using Malmquist TPF index and its components (efficiency change and technical change) between 1996 and 2002. The productivity index used is Malmquist index, that follow Färe *et alli* (1994) methodology, and is calculated by two methods: stochastic frontier analysis (SFA) and data envelopment analysis (DEA). In both methods, the Brazilian industry obtained gains efficiency, technical frontier regress and there was decline in TPF of industry pulled by technical frontier regress. Otherwise, the division of full period into two samples, prior and posterior to the change in the exchange-rate regime, did not contribute to explain observed changes in Malmquist index and its components.

KEYWORDS: Manufacturing industry, Malmquist index, efficiency change index, technical change index and total factor productivity

JEL CLASSIFICATION: L60, C33

1 Introdução

A economia brasileira passou por fortes mudanças ao longo dos últimos trinta anos, dentre elas, podem-se citar os dois choques do petróleo na década de 70, os vários planos heterodoxos dos anos 80, o processo de abertura comercial e a estabilização econômica nos anos 90. Como não poderia deixar de ser, a indústria brasileira também se submeteu a esses desafios, respondendo com índices de produtividade condizentes com a situação econômica de cada período.

Existe no Brasil uma literatura extensa tratando da evolução da produtividade tanto em nível agregado quanto setorial. Essa literatura aborda a produtividade das mais variadas formas com as mais variadas técnicas e variáveis. A esse respeito, podem-se citar: Bonelli (1996); Bonelli & Fonseca (1998); Rossi e Ferreira (1999), Muendler (2001) e Gomes *et al* (2003). É consenso entre grande parte dos autores acima citados que a evolução da produtividade nos últimos trinta anos apresentou a seguinte trajetória: expansão no início da década de 70; relativa estabilidade com tendência de queda no período compreendido entre meados da década de 70 e 80 e recuperação na década de 90.

As elevadas taxas de crescimento do PIB obtidas no período do “milagre econômico” fizeram com que a produtividade no triênio 1971/73 alcançasse taxas consideráveis. No período compreendido entre 1974/80, por outro lado, as taxas de crescimento da produtividade foram bem mais modestas. A explicação para esse fenômeno está no elevado investimento em estoque de capital realizado no período, o qual foi mais do que proporcional ao aumento no produto da economia, reduzindo, dessa forma, a PTF agregada.

A trajetória da PTF agregada na década de 80 foi adversa, alcançando em 1989 uma taxa de crescimento próxima de zero. A recessão de 1981/83, além de reduzir o estoque de capital, reduziu também o nível de emprego mais do que proporcionalmente ao produto, o que fez com que a PTF atingisse taxas mais baixas do que aquelas obtidas no final da década de 70. A recuperação da economia, principalmente durante o Plano Cruzado, não foi suficiente para retomar o crescimento da produtividade, atingindo o nível mais baixo das duas últimas décadas.

No entanto, com a entrada da década de 90, a reversão da tendência de queda da produtividade foi efetivada, perfazendo taxas mais elevadas do que das duas últimas décadas em conjunto. Muito embora o período recessivo compreendido entre 1990/92 tenha afetado o produto, o nível de emprego e o estoque de capital, a taxa de crescimento da PTF agregada foi bem mais elevada que aquela observada no final dos anos 80. A trajetória de crescimento dessa variável permaneceu durante o restante dos anos 90.

Apesar da extensa literatura de produtividade observada, pouco se tem feito em relação aos métodos alternativos de medição da produtividade, como é o caso do índice de produtividade de Malmquist. Esse índice foi desenvolvido por Caves *et al.* (1982) e aprimorado por Färe *et al* (1994), e considera o crescimento da PTF como um efeito conjunto da mudança na fronteira de produção (*progresso técnico*) e da eficiência técnica.

Mello e Macedo (2003) foram os pioneiros no Brasil na utilização desse índice para a análise da produtividade total dos fatores e seus componentes na segunda metade dos anos 90 na indústria brasileira. Os autores estimaram o índice de produtividade Malmquist para os microdados de 27 setores da indústria brasileira para o período compreendido entre 1996 e 2000. O resultado principal obtido pelos autores foi o de que quase três quartos dos setores analisados apresentaram declínio na taxa de crescimento da PTF.

O presente artigo segue a linha de Mello e Macedo (2003) e estima o índice de Malmquist para dados agregados para os 22 setores da indústria de transformação brasileira, utilizando dois métodos: o método de fronteira estocástica (SFA) e a análise envoltória de dados (DEA)¹. O objetivo é apresentar o desempenho da produtividade da indústria de transformação brasileira, utilizando o índice da produtividade total dos fatores (PTF) e seus componentes (índice de mudança na eficiência técnica e índice de mudança na tecnologia) no período compreendido entre 1996 e 2002. Os resultados obtidos foram os de que, no período considerado, a indústria de transformação brasileira apresentou ganhos de eficiência, houve contração na fronteira

¹ Os termos SFA e DEA são siglas em inglês que significam *Stochastic Frontier Analysis* e *Data Envelopment Analysis*, respectivamente.

tecnológica e declínio na PTF média da indústria puxado pela contração na fronteira tecnológica.

O artigo encontra-se dividido em quatro seções: a primeira é a introdução, a qual apresenta a evolução da produtividade na economia brasileira; a segunda apresenta uma breve revisão do índice de produtividade de Malmquist e seus componentes; a terceira apresenta o método de coleta, construção dos dados e estatística descritiva e a quarta, os resultados da estimação do índice de produtividade de Malmquist.

2 Índice de Produtividade baseado no índice de Malmquist de produto

A presente seção encontra-se dividida em cinco partes: definição de índice de produtividade total dos fatores, função distância, índice de Malmquist, tecnologia e métodos de estimação.

2.1 Definição de índice de produtividade total dos fatores (PTF)

O índice da produtividade total dos fatores (doravante denominado índice PTF) mede a mudança no produto total relativo a mudanças no uso de todos os insumos. Nesse sentido, sejam s e t dois períodos de tempo distintos e Y_i o produto produzido pela firma i com o insumo X_i . Dessa forma, pode-se definir o índice PTF da seguinte forma:

$$PTF = \frac{Y_s/Y_t}{X_s/X_t} \tag{1}$$

isso nada mais é que a razão entre a taxa de produto e a taxa de insumo para dois períodos. Se a firma é tecnicamente eficiente em dois períodos, então os níveis de produto observados devem ser os mesmos gerados pela função de produção.

Suponha que as funções de produção da firma i sejam dadas em t e s por:

$$Y_t = \lambda_t f_t(x_t) \tag{2}$$

$$Y_s = \lambda_s f_s(x_s) \tag{3}$$

A partir das equações (2) e (3), é possível verificar que o índice PTF é dado por:

$$PTF = \frac{\lambda_t f_t(x_t)/x_t}{\lambda_s f_s(x_s)/x_s} \tag{4}$$

A partir da equação (4), pode-se produzir a decomposição do índice PTF. Para tanto, suponha que o nível de insumo utilizado em cada período seja idêntico, ou seja, $x_s = x_t = x^*$, dessa forma, o índice PTF é dado por:

$$PTF = \frac{\lambda_t * f_t(x_t)}{\lambda_s * f_s(x_s)} \tag{5}$$

em que o termo $\frac{\lambda_t}{\lambda_s}$ representa a mudança na eficiência técnica e $\frac{f_t(x_t)}{f_s(x_s)}$, a mudança na tecnologia. Quando a firma é eficiente em ambos os períodos, a taxa que representa a eficiência técnica é igual à unidade e, nesse caso, toda a mudança ocorrida na produtividade total dos fatores é atribuída a mudanças na tecnologia.

No caso em que a quantidade de insumos é diferente nos dois períodos, faz surgir o terceiro e último componente do índice PTF, a mudança na escala das operações. Para verificar esse componente, suponha que o insumo no instante t seja k vezes o insumo utilizado no instante s , ou seja, $x_t = kx_s$, em que $k > 1$, de modo que as funções de produção da firma i sejam dadas em t e s por $Y_t = \lambda_t f_t(kx_s)$ e $Y_s = \lambda_s f_s(kx_s)$ e o índice PTF por:

$$PTF = \frac{\lambda_t * f_t(kx_s)/kx_s}{\lambda_s * f_s(x_s)/x_s} \tag{6}$$

A partir de manipulações algébricas², tem-se a decomposição completa do índice PTF:

$$PTF = \frac{\lambda_t}{\lambda_s} * k^{t(t)-1} * \frac{f_t(x_t)}{f_s(x_s)} \tag{7}$$

O elemento $K^{e(t)-1}$ representa a mudança na escala de operações, em que k representa a escala da produção e $\mathcal{E}(t)$, os retornos do parâmetro de escala. Se na especificação pressupõem-se retornos constantes de escala, então a escala é igual à unidade. Por outro lado, quando a tecnologia não apresenta retornos constantes de escala, necessita-se saber a magnitude do $\mathcal{E}(t)$ para medir-se o efeito escala dentro do índice PTF.

2.2 Função distância

Existem duas funções distância: a função distância insumo e a função distância produto. Aquela caracteriza a tecnologia de produção como sendo a contração mínima proporcional do vetor de insumos dado um vetor de produto. A segunda, por outro lado,

² Para ver as manipulações algébricas, consultar Apêndice a.

considera a máxima expansão proporcional do vetor produto dado um vetor de insumo. Será abordada somente a segunda função produto, pois calcular-se-á o índice de produtividade Malmquist de produto.

A função distância de produto é definida como:

$$d'_0(y_i, x_i) = \min\{\delta : (y/\delta) \in P(x)\}, \quad (8)$$

em que $P(x)$ é o conjunto que representa a fronteira de possibilidades de produção.

A função distância pode ser menor ou igual à unidade ($d'_0(y_i, x_i) \leq 1$). Se a função distância é igual a unidade, então a firma encontra-se na fronteira da curva de possibilidade de produção e é considerada tecnicamente eficiente. Por outro lado, se a função distância é menor que a unidade, significa que a firma não está utilizando de forma eficiente o seu conjunto de insumos.

2.3 Índice de Malmquist

O índice de produtividade de Malmquist representado por Färe *et al* (1994) é definido como:

$$m_0(y_s, y_t, x_s, x_t) = \frac{d'_0(y_t, x_t)}{d'_0(y_s, x_s)} \left[\frac{d'_0(y_t, x_t)}{d'_0(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \times \frac{d'_0(y_s, x_s)}{d'_0(y_t, x_t)}$$

Como se pode verificar, o índice é representado por dois componentes: $\frac{d'_0(y_t, x_t)}{d'_0(y_s, x_s)}$ e $\left[\frac{d'_0(y_t, x_t)}{d'_0(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \times \frac{d'_0(y_s, x_s)}{d'_0(y_t, x_t)}$. O primeiro mede a mudança na eficiência técnica orientação produto entre os períodos t e $t+1$ e pode assumir valores maiores, iguais ou menores que a unidade quando existem ganhos de eficiência, nem ganhos e nem perdas e perdas de eficiência, respectivamente. O segundo termo, por outro lado, é a média geométrica da mudança na tecnologia entre os dois períodos. Da mesma forma, o termo é maior que, igual a ou menor que a unidade quando existe expansão, nem expansão nem contração e contração da fronteira tecnológica, respectivamente.

Para o cálculo do termo de progresso tecnológico, necessitam-se das seguintes funções distância: $d'_0(y_s, x_s)$, $d'_0(y_t, x_t)$, $d'_0(y_s, x_t)$ e $d'_0(y_t, x_s)$. As duas primeiras funções distância são as funções em que se compara as observações de cada período

com a sua fronteira de melhor prática. As duas últimas, por outro lado, são as funções distância cruzadas em que as observações de cada período são comparadas com a fronteira de melhor prática do outro.

2.4 Tecnologia

Um aspecto importante que deve ser considerado quando se realiza o cálculo do índice de produtividade de Malmquist é o de que se deve impor que a tecnologia apresente retornos constantes de escala. Segundo Grifell-Tatjé e Lovell (1995), as medidas de mudança de produtividade calculadas quando os retornos de escala não são constantes são inadequadas. Para mostrar esse fato, os autores utilizaram como exemplo uma função de produção com um produto e um insumo e verificaram que, no momento em que ocorria aumento do uso dos insumos, a mudança de produtividade ficava superestimada quando os retornos de escala eram decrescentes e subestimada quando os retornos de escala eram crescentes, ocorrendo o inverso quando havia contração no uso dos insumos.

A imposição de outra tecnologia que não a de retornos constantes de escala pode resultar em medidas de produtividade que não reflitam adequadamente os ganhos e perdas da PTF resultante dos efeitos de escala. Sendo assim, considerar-se-ão retornos constantes de escala em todos os métodos utilizados para estimar o índice de produtividade de Malmquist.

2.5 Métodos de estimação

As funções distância apresentadas na seção 2.3, podem ser obtidas por dois métodos diferentes: análise de fronteira estocástica (SFA) e análise envoltória de dados (DEA).

2.5.1 Fronteira estocástica

A função de produção estocástica tem sido utilizada para uma infinidade de pesquisas, dentre elas, aquelas relacionadas à produtividade das propriedades rurais, à produtividade da transferência de tecnologia nas universidades e ao desempenho das firmas em determinados ambientes econômicos, que podem ser vistas em Bagi (1984), Chapple *et al* (2005) e Battese e Coelli (1992, 1995).

A utilização da metodologia da fronteira estocástica da função de produção na análise de desempenho das firmas permite verificar vários aspectos relevantes, dentre eles: em que medida as firmas estão distantes da sua fronteira de eficiência e como as variáveis que modelam a equação de ineficiência podem explicar essa distância.

De acordo com Aigner *et al* (1977), esse modelo resume-se na estimação de uma função de produção, em que o distúrbio \mathbf{E}_i é dividido em duas partes: uma primeira, que representa um ruído branco, e uma segunda, que representa a equação de ineficiência.

A literatura de fronteira estocástica vem se desenvolvendo desde meados da década de 70. As primeiras versões devem-se a Aigner *et al* (1977) e Meeusen e Van den Broeck (1977), que especificaram a função de produção para dados em corte transversal. Na década de 90, novas especificações foram construídas, dentre elas podem-se citar: Battese e Coelli (1992) e Battese e Coelli (1995). Algumas são as diferenças entre esses modelos e aquele apresentado anteriormente, no entanto, as mais profundas estão relacionadas à natureza dos dados e à distribuição dos efeitos de ineficiência. Enquanto nas versões anteriores a função de produção é especificada para dados em corte transversal, nessas, a especificação é feita para dados em painel. Dessa forma, o modelo a ser estimado passa a ter o seguinte formato:

$$Y_{it} = X_{it}\beta + v_{it} - u_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T \quad (10)$$

em que y_{it} é vetor de produto em logs, x_{it} é o vetor de insumos em termos de log para a firma i e $v_{it} - u_{it}$ é o distúrbio da estimação. O componente v_{it} é composto por variáveis aleatórias iid com distribuição normal, com média zero e variância σ_v^2 , independente do componente de ineficiência u_{it} . Este último componente é modelado segundo algumas especificações, dentre elas, aquelas apresentadas em Battese e Coelli (1992) e Battese e Coelli (1995).

Battese e Coelli (1992) propuseram um modelo em que os efeitos de ineficiência técnica variam³ com o tempo, os quais são definidos pela seguinte equação:

$$u_{it} = (u_i \exp(-\eta(t - T))) \quad (11)$$

em que o resíduo u_i é representado por variáveis aleatórias iid com distribuição truncada⁴ em zero de $N(\mu, \sigma_u^2)$, sendo η o parâmetro desconhecido a ser estimado.

Nesse modelo, pode-se testar a hipótese de que não há mudança nos efeitos de ineficiência técnica no tempo, ou seja, $H_0: \eta = 0$, dadas as especificações do modelo de efeitos de ineficiência variantes com o tempo⁵.

Battese e Coelli (1995), por outro lado, elaboram um modelo que permite a estimação dos parâmetros dos fatores que se acredita influenciar os níveis dos efeitos de ineficiência técnica, juntamente com a separação dos componentes da mudança de ineficiência técnica e de mudança técnica ao longo do tempo. O modelo proposto pelos autores especifica os efeitos de ineficiência técnica como sendo variáveis aleatórias não negativas independentes, mas não identicamente distribuídas, de tal forma que o efeito de eficiência técnica para a i -ésima firma no t -ésimo período, u_{it} , é obtida pela truncagem da distribuição $N(m_{it}, \sigma_u^2)$, em que $m_{it} = z_{it}'\phi$, sendo z_{it} o vetor (1xM) de variáveis que podem influenciar a eficiência da firma e ϕ o vetor (Mx1) de parâmetros a serem estimados. Nesse modelo também, os autores expressam a função verossimilhança em função das variâncias $\sigma_s^2 = \sigma^2 + \sigma_v^2$ e $\gamma = \frac{\sigma^2}{\sigma_s^2}$, sendo interpretadas de forma usual.

Segundo a formulação de Battese e Coelli (1995), a eficiência técnica da i -ésima firma no período t é definida como:

$$ET_{it} = \frac{Y_{it}}{\exp(X_{it}\beta)} = \frac{\exp(X_{it}\beta - u_{it})}{\exp(X_{it}\beta)} = \exp(-u_{it}) \quad (12)$$

que mede a razão entre o produto observado para a i -ésima firma no instante t , Y_{it} , e o seu produto potencial, $\exp(X_{it}\beta)$. Nesse sentido, o índice de mudança da eficiência técnica do índice de Malmquist pode ser calculado pela razão entre as eficiências técnicas da firma i nos períodos adjacentes s e t , ou seja:

$$\text{Índice mudança eficiência} = \frac{ET_{it}}{ET_{is}} \quad (13)$$

O segundo componente do índice de Malmquist, referente à mudança na técnica entre os períodos s e t , pode ser calculado diretamente dos parâmetros estimados. Para tanto, basta derivar a função de produção com relação ao tempo de modo que, se a mudança técnica é do tipo não neutra, ou seja, se além do deslocamento da função de produção também acontece a mudança da inclinação dela em relação aos insumos, o índice de mudança técnica pode variar

³ Segundo Coelli, Rao e Battese (1998), a ideia de que os efeitos de ineficiência técnica variam com o tempo está no fato de, a medida que o tempo passa, os gerentes aprendem com as experiências passadas no processo de produção e, dessa forma, os efeitos de ineficiência técnica tendem a mudar ao longo do tempo.

⁴ Segundo Coelli, Rao e Battese (1998), a distribuição normal truncada é uma generalização da distribuição. Ela é obtida por intermédio da truncagem em zero da distribuição normal com média μ e variância σ^2 , se $\mu=0$, então a distribuição truncada é a própria distribuição meia-normal. Essa distribuição pode assumir uma variedade de formas, dependendo apenas do sinal de μ .

⁵ Segundo Coelli, Rao e Battese (1998), a vantagem de utilizar-se o modelo time-varying é que as mudanças na ineficiência técnica ao longo do tempo podem ser distinguidas da mudança técnica.

para diferentes vetores de insumos. Nesse sentido, o índice de mudança técnica para os períodos adjacentes s e t pode ser calculado por intermédio da seguinte equação:

$$\text{Índice mudança técnica} = \left\{ \left[1 + \frac{\partial f(x_{is}, s, \beta)}{\partial s} \right] * \left[1 + \frac{\partial f(x_{it}, t, \beta)}{\partial t} \right] \right\}^{0.5} \quad (14)$$

2.5.2 Análise Envoltória de Dados – DEA

O método da Análise Envoltória de Dados utiliza programação linear para calcular a fronteira eficiente das unidades de tomadoras de decisão. São considerados dois tipos de modelos: modelo com retornos constantes de escala e modelo com retornos variáveis de escala. No entanto, conforme elucidado na seção 2.4, utilizar-se-á a tecnologia com retornos de escala.

Para iniciar a discussão a respeito do modelo com retornos constantes de escala, devem-se definir algumas notações. Suponha que existam K insumos e M produtos para cada uma das N firmas. A i -ésima firma é representada pelos vetores coluna x_i e y_i . A matriz insumo $K \times N$, X e a matriz produto $M \times N$, Y representam os dados para todas as N firmas. Todos os insumos e produtos devem ser preferencialmente medidos em unidades físicas. No entanto, variáveis medidas em valores são freqüentemente utilizadas como *proxies* para as variáveis com unidades físicas.

O modelo com orientação produto usando a forma envoltória de dados é dado por:

$$\begin{aligned} [d_o^t(y_i, x_i)]^{-1} &= \text{Max}_{\theta, \lambda} \theta, \\ \text{s.a} \quad &-\theta y_{it} + Y_t \lambda \geq 0 \\ &\theta x_{it} - X_t \lambda \geq 0, \\ &\lambda \geq 0, \end{aligned} \quad (15)$$

em que θ é uma escalar e representa a medida de eficiência da i -ésima firma, λ é um vetor $N \times 1$ de constantes e $[d_o^t(y_i, x_i)]$ representa a função distância no período t .

No problema de programação linear (15), observa-se a existência de uma função objetivo, θ , duas restrições lineares em forma de desigualdade e uma condição de não-negatividade. O valor θ satisfaz a seguinte condição: $\theta \leq 1$, de tal forma que, quanto mais próximo de 1 estiver o valor do parâmetro considerado, mais eficiente tecnicamente é a firma; as duas restrições lineares, também chamadas de fronteira de produto e fronteira de insumo, asseguram

que os pontos projetados não podem estar fora do conjunto factível da isoquanta; e a condição de não-negatividade que as ponderações são não negativas.

A partir da equação (15), constrói-se o índice de mudança técnica conforme apresentado na equação (9). Para tanto, calcula-se a função distância de produto para a firma i nos instante s e t e faz-se a razão entre as respectivas funções distância.

Para o cálculo do índice de mudança técnica, necessitam-se de duas outras funções de distância, $[d_o^s(y_s, x_s)]$ e $[d_o^t(y_t, x_t)]$. Essas funções distância são funções distância cruzadas, em que um ponto de produção do período t é comparado à tecnologia no período s e vice-versa. As funções distância cruzadas são calculadas a partir dos seguintes problemas de programação linear:

$$\begin{aligned} [d_o^s(y_s, x_s)]^{-1} &= \text{Max}_{\theta, \lambda} \theta, \\ \text{s.a} \quad &-\theta y_{is} + Y_s \lambda \geq 0 \\ &\theta x_{is} - X_s \lambda \geq 0, \\ &\lambda \geq 0, \end{aligned} \quad (16)$$

e

$$\begin{aligned} [d_o^t(y_t, x_t)]^{-1} &= \text{Max}_{\theta, \lambda} \theta, \\ \text{s.a} \quad &-\theta y_{it} + Y_t \lambda \geq 0 \\ &\theta x_{it} - X_t \lambda \geq 0, \\ &\lambda \geq 0, \end{aligned} \quad (17)$$

A conjugação das funções distância diretas e cruzadas possibilita o cálculo do índice de produtividade de Malmquist e de seus componentes.

3 Dados e estatística descritiva

A amostra utilizada para a estimação do índice de produtividade de Malmquist é um painel que compreende os anos de 1996 a 2002 e contempla os 22 setores da indústria de transformação brasileira de acordo com a Classificação Nacional de Atividade Econômica (CNAE) do IBGE⁶.

⁶ O nome e a numeração dos setores encontram-se no Apêndice B.

Para essa estimação, foram utilizados um produto e dois insumos. Como *proxy* para produto, utilizou-se a rubrica receita líquida de vendas do setor de interesse; como *proxy* para estoque trabalho, utilizou-se a rubrica salários, retiradas e outras remunerações relativas ao setor e, como *proxy* para estoque de capital, utilizou-se o estoque de capital gerado de acordo com o método do inventário perpétuo, ou seja:

$$K_t = (1-\delta)^{t-1} K_0 + \sum_{j=0}^{t-1} (1-\delta)^j I_{T-(j+1)},$$

em que $T=1,2,3,\dots$

(18)
em que I_t é o investimento feito pelo setor i no instante t , K_0 é o estoque de capital da setor i no instante 0 e δ é a taxa de depreciação do capital⁷. O estoque de capital inicial é calculado com base em Young (1995) e é dado pela seguinte equação:

$$K_0 = \frac{I_0}{(g+\delta)}, \quad (19)$$

em que g é a taxa média de crescimento do investimento e I_0 é o investimento inicial calculado com base no nível médio de investimento do setor. Como *proxy* para o investimento, utilizou-se a rubrica máquinas e equipamentos obtida junto ao ativo imobilizado do setor e pressupõe-se uma taxa de $(g+\delta) = 0,2$. Os dados foram coletados junto à Pesquisa Industrial Anual (PIA) do IBGE, e os valores são cotados a preços constantes de 2002 em R\$.

As variáveis produto e trabalho foram divididas pelo número de firmas do setor, e a variável estoque de capital foi dividida pelo número de firmas informantes⁸, de tal forma que as referidas variáveis refletem o produto, o estoque de capital e o trabalho médio de cada setor.

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis: 1996 a 2002

Setor	Produto		Capital		Trabalho	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
1	7841	362	1179	81	343	75
2	55602	7237	6160	506	2161	389
3	4218	323	1877	197	390	80
4	606	71	94	11	72	26
5	3439	605	636	115	339	112
6	957	135	423	16	116	25
7	13552	1190	6570	563	1137	592
8	2941	395	706	31	260	55
9	257754	92817	15658	4431	11868	2361
10	28639	5067	4930	358	1211	466
11	5343	879	2194	205	487	141
12	2257	182	968	31	213	41
13	22333	2721	9729	1220	1538	346
14	2184	351	602	66	236	73
15	6168	495	1976	267	551	145
16	28492	13058	3031	579	1459	1239
17	7727	1030	1819	133	655	171
18	27890	6947	4024	444	1016	236
19	4394	260	942	37	383	116
20	22813	1889	7415	704	1833	182
21	15059	5580	1471	129	808	283
22	1253	94	263	11	124	33

Fonte: Pesquisa Industrial Anual
Elaboração própria

⁷ Em conformidade com Young (1995), utiliza-se uma taxa de depreciação de .

⁸ É importante salientar que nem todas as firmas que compõem a amostra informam o investimento em máquinas e equipamentos. Por esse motivo, o estoque de capital por firma é medido pela razão entre o estoque de capital total e o número de firmas informantes.

A tabela 1 apresenta a média e o desvio padrão do produto e dos dois insumos, capital e trabalho, para o período considerado entre 1996 e 2002. Como se pode observar, de uma maneira geral, os setores que possuem o maior produto são também os que utilizam o maior volume de insumos⁹.

4 Índice de Malmquist para a indústria de transformação brasileira

A presente seção apresenta os resultados da estimação do índice de produtividade de Malmquist utilizando a análise de fronteira estocástica (SFA) e análise envoltória de dados (DEA).

4.1 Resultados da fronteira estocástica (SFA)

O modelo estimado é uma fronteira estocástica em que a função de produção é do tipo Cobb-Douglas com mudança técnica não neutra¹⁰. Essa função de produção é representada pela seguinte equação:

$$\ln Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_L \ln L_{it} + \alpha_K \ln K_{it} + \alpha_{LT} \ln L_{it} * T + \alpha_{KT} \ln K_{it} * T + \alpha_T T + \varepsilon_{it} \quad (20)$$

em que $\ln Y_{it}$, $\ln L_{it}$ e $\ln K_{it}$ são os logaritmos naturais das variáveis produto, trabalho e capital, respectivamente, do setor i no período t , e T é a variável de tendência.

Para que a função de produção pela equação (20) apresente retornos constantes de escala, devem-se impor as seguintes restrições:

$$\alpha_L + \alpha_K = 1 \quad (21)$$

$$\alpha_{LT} + \alpha_{KT} = 0 \quad (22)$$

Para impor as restrições (21) e (22), normalizou-se o produto e o capital pelo insumo trabalho, de modo que a função de produção estimada tomou o seguinte formato:

$$\ln y_{it} = \alpha_0 + \alpha_K \ln k_{it} + \alpha_{KT} \ln k_{it} * T + \alpha_T T + \varepsilon_{it}, \quad (23)$$

$$\text{em que } y_{it} = \frac{Y_{it}}{L_{it}} \text{ e } k_{it} = \frac{K_{it}}{L_{it}}.$$

A equação de ineficiência é representada pela seguinte equação:

$$m_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 T + \varphi_2 T^2, \quad (24)$$

em que m_{it} é a média da distribuição normal truncada $N(m_{it}, \sigma_{it}^2)$ e os φ 's são os parâmetros a serem estimados.

Tabela 2: Resultados da estimação

	Coefficiente	t-ratio
Equação de fronteira		
constante	0,855	4,409
lnL	0,575	
lnK	0,425	3,736
lnL*T	0,104	
lnK*T	-0,104	-4,130
T	0,097	2,755
Equação de ineficiência		
Constante	-0,054	-0,419
T	0,160	1,948
T^2	-0,029	-1,724
sigma-squared	0,040	8,862
gamma	0,055	0,332
log likelihood		28,697
LR test of one-sided		5,419
n		154

A tabela 2 apresenta os resultados da estimação do modelo de fronteira estocástica. Em relação à equação de fronteira, é possível verificar que os coeficientes das variáveis trabalho e capital são estatisticamente significantes e apresentam sinal positivo. Os coeficientes das variáveis $\ln L$ e $\ln K$, que representam as elasticidades do produto em relação aos dois insumos, mostram que o aumento de 1% no insumo trabalho e no insumo capital eleva em 0,575% e 0,425% o produto da indústria, respectivamente. O estatística t das variáveis $\ln L$ não aparece na tabela 2 porque o coeficiente α_L é calculado com base na restrição representada pela equação (21).

A mudança tecnológica é verificada a partir dos coeficientes das variáveis $\ln L * T$, $\ln K * T$ e T . Os coeficientes das duas primeiras variáveis representam a mudança técnica da indústria de transformação associada a cada insumo, ao passo que o coeficiente da variável T apresenta a mudança em relação à função total. Da mesma forma que para a variável $\ln L$, a estatística t da variável $\ln L * T$ não aparece na tabela 2, pois o coeficiente α_{LT} é calculado com base na restrição representada pela equação (22).

Para verificar a mudança tecnológica basta derivar a função de produção em relação ao tempo, ou seja:

$$\frac{\partial f}{\partial T} = 0,104 * \ln L_{it} - 0,104 * \ln K_{it} + 0,097 \quad (25)$$

A equação (25) mostra que a função de produção é afetada positivamente pelo trabalho e negativamente pelo capital ao

⁹ O Apêndice C apresenta o gráfico dos valores médios em logaritmo, que confirma a tendência geral acima citada.

¹⁰ A mudança técnica não neutra é modelada por intermédio da inclusão das variáveis de interação entre os insumos e a variável tendência e a própria variável de tendência. A característica desse tipo de mudança técnica é que tanto os interceptos quanto as inclinações se alteram.

longo do tempo. Esse aspecto é melhor verificado por intermédio das derivadas parciais cruzadas entre a variável $\ln Y$ e as variáveis $\ln L$, $\ln K$ e T , ou seja:

$$\frac{\partial^2 \ln Y}{\partial \ln L \partial T} = 0.104 > 0 \quad (26)$$

$$\frac{\partial^2 \ln Y}{\partial \ln K \partial T} = -0.104 < 0 \quad (27)$$

As derivadas parciais cruzadas apresentadas nas equações (26) e (27)¹¹ mostram que o tempo exerce um impacto positivo na taxa de mudança do produto em relação ao trabalho e um impacto negativo na taxa de mudança do produto em relação ao capital, respectivamente. Em outras palavras, o que as derivadas parciais estão mostrando é que a isoquanta da indústria de transformação tornou-se mais inclinada em relação ao trabalho e mais plana em relação ao estoque de capital. Conjugando-se esses resultados com o da variável tendência, o que se verificou foi um deslocamento da isoquanta com alterações na inclinação entre 1996 e 2002¹².

A partir da substituição dos valores de estoque de trabalho e de capital de cada setor em cada período, é possível obter a mudança tecnológica sofrida por cada setor a cada ano. A média desses valores em cada período fornece a mudança tecnológica sofrida pela indústria de transformação no tempo, conforme mostra a tabela 3.

Tabela 3: taxa de movimento da função de produção no tempo – mudança técnica.

Ano	%
1996	-0,9
1997	0,7
1998	0,2
1999	-0,6
2000	-3,7
2001	-3,7
2002	-0,9
Media	-1,3

Como se pode verificar pela tabela 3, a indústria de transformação apresentou contração tecnológica nos cinco dos sete anos considerados, o que fez com que, no período, a contração tecnológica média da indústria de transformação fosse de 1,3%.

Com relação à equação de ineficiência, observa-se que os coeficientes das variáveis T e T^2 são estatisticamente significantes, com o coeficiente da primeira variável sendo

positivo e o da segunda, negativo. Para verificar-se o impacto da tendência sobre a ineficiência técnica, basta derivar a média da ineficiência em relação a T , ou seja:

$$\frac{\partial m_{it}}{\partial T} = 0.16 - 0.058T, \quad (28)$$

em que se constata que os níveis médios de ineficiência da indústria de transformação diminuem ao longo do tempo, o que pode ser interpretado como resultado da difusão da melhor prática produtiva. Esse fato acontece porque a evolução da variável T torna a média da distribuição mais negativa, o que aumenta o produto efetivo da indústria.

No que se refere ao parâmetro gama, que é definido como $\gamma = \sigma_U^2 / (\sigma_U^2 + \sigma_V^2)$, observa-se que o mesmo não é estatisticamente significativo e, portanto, não se pode inferir nada a respeito da hipótese nula de que os efeitos de ineficiência não sejam importantes para o ajustamento do modelo.

A tabela 4 mostra os resultados obtidos para a evolução do índice de mudança na PTF e de seus componentes. Como se pode verificar, a indústria de transformação obteve ganhos de eficiência de 1,26% no período. No que se refere à mudança tecnológica, constata-se que a indústria apresentou contração na fronteira de 1,40%. O desempenho médio dos dois componentes do índice de Malmquist fez com que a indústria de transformação apresentasse um declínio médio de 0,16% na produtividade total dos fatores. Em média, 100% dos setores apresentaram ganhos de eficiência, 68,2% apresentaram contração na fronteira e 59% obtiveram declínio na PTF.

Um outro aspecto importante a se constatar nos resultados apresentados na Tabela 4 é a evolução temporal de cada um dos índices. A exemplo de Mello e Macedo (2003), dividiu-se o período analisado em duas amostras em relação à mudança do regime cambial ocorrida em 1999. A primeira amostra abrange os anos de 1996 a 1998 (antes da mudança do regime) e a segunda abrange o período de 1999 a 2002 (após a mudança do regime). O objetivo foi o de verificar se a mudança do regime cambial explica as flutuações observadas na trajetória do índice de Malmquist e de seus componentes.

¹¹Pelo Teorema de Young, garante-se que $\frac{\partial^2 \ln Y}{\partial \ln T \partial T}$ é idêntica a $\frac{\partial^2 \ln Y}{\partial T \partial \ln L}$, pois as duas derivadas parciais são contínuas.

¹²O gráfico da isoquanta nos dois períodos encontra-se no Apêndice D.

Tabela 4: Taxa de crescimento média anual período completo, antes e após a mudança do regime cambial – SFA

Setores	1996 a 2002			Antes do regime – 1996 a 1998			Após regime – 1999 a 2002		
	Índice de mudança na eficiência técnica	Índice de Mudança tecnológica	Índice de mudança na PTF	Índice de mudança na eficiência técnica	Índice de mudança tecnológica	Índice de mudança na PTF	Índice de mudança na eficiência técnica	Índice de mudança tecnológica	Índice de mudança na PTF
1	1,012	0,962	0,974	0,965	0,987	0,952	1,037	0,950	0,984
2	1,012	1,001	1,013	0,965	1,014	0,978	1,036	0,994	1,031
3	1,013	0,966	0,979	0,959	0,979	0,938	1,042	0,960	1,000
4	1,011	0,996	1,006	0,950	0,997	0,947	1,042	0,995	1,037
5	1,011	1,011	1,021	0,951	1,009	0,960	1,042	1,011	1,053
6	1,014	0,952	0,966	0,956	0,963	0,921	1,044	0,947	0,989
7	1,016	0,964	0,979	0,969	0,990	0,960	1,040	0,951	0,990
8	1,012	0,976	0,988	0,957	1,002	0,959	1,041	0,964	1,003
9	1,011	1,069	1,082	0,961	1,086	1,043	1,038	1,061	1,101
10	1,012	0,984	0,996	0,964	1,012	0,976	1,036	0,971	1,006
11	1,013	0,976	0,989	0,959	0,996	0,955	1,041	0,966	1,006
12	1,015	0,945	0,959	0,964	0,971	0,936	1,042	0,931	0,970
13	1,015	0,956	0,970	0,965	0,980	0,946	1,040	0,945	0,983
14	1,013	0,981	0,994	0,956	0,999	0,955	1,042	0,973	1,014
15	1,012	0,987	0,999	0,956	1,002	0,958	1,041	0,980	1,021
16	1,016	1,011	1,027	0,978	1,032	1,010	1,036	1,000	1,036
17	1,012	1,001	1,013	0,957	1,008	0,965	1,041	0,997	1,037
18	1,011	0,987	0,997	0,962	0,992	0,954	1,036	0,984	1,019
19	1,011	1,002	1,014	0,954	1,012	0,965	1,041	0,997	1,039
20	1,014	0,978	0,991	0,962	0,994	0,957	1,041	0,969	1,009
21	1,011	1,006	1,017	0,957	1,005	0,962	1,039	1,007	1,046
22	1,012	0,988	1,000	0,955	1,000	0,955	1,042	0,982	1,023
Média crescimento indústria	1,26	-1,40	-0,16	-4,00	0,12	-3,88	4,00	-2,15	1,76

Como se pode observar pela Tabela 4, nos anos em que precederam a mudança do regime cambial, a indústria de transformação apresentou perdas de eficiência de 4,00% e expansão na fronteira tecnológica de 0,12%, o que implicou declínio no índice de mudança na PTF de 3,88%. Após a mudança do regime, o índice de mudança na eficiência técnica passou a ser positivo, representando ganhos de médios de eficiência de 4%, e o índice de mudança tecnológica passou a ser negativo, representando uma contração da fronteira tecnológica de 2,15%, que foi responsável por um crescimento no índice de mudança na PTF de 1,76%.

4.2. Resultados do método de análise envoltória de dados (DEA)

A tabela 5 mostra a evolução do índice e mudança na PTF e de seus componentes quando o método da análise envoltória de dados (DEA) é utilizado. A estimação do

índice de Malmquist por esse método foi realizada por intermédio do software Deap 2.1 com orientação produto.

Como se pode verificar pela tabela 5, a indústria de transformação apresentou 0,52% de ganhos médios de eficiência no período, houve contração média da fronteira tecnológica de 0,63% e decréscimo médio da PTF da indústria de 0,16%. Em média, 68,2% dos setores obtiveram ganhos de eficiência no período, 72,7% apresentaram contração na fronteira tecnológica e 55,5% dos setores apresentaram declínio na produtividade total dos fatores.

A exemplo do que foi realizado para o método SFA, dividiu-se o período em duas amostras: antes e depois da mudança do regime cambial. A Tabela 5 apresenta o impacto da mudança do regime cambial¹³ no índice de produtividade de Malmquist e seus componentes quando o método DEA

¹³A partir de 1999 o Brasil passou a adotar o regime de câmbio flexível.

Tabela 5: Taxa de crescimento média anual período completo, antes e após a mudança do regime cambial – DEA

Setores	1996 a 2002			Antes regime - 1996 a 1998			Após regime - 1999 a 2002		
	Índice de mudança na eficiência técnica	Índice de Mudança tecnológica	Índice de mudança na PTF	Índice de mudança na eficiência técnica	Índice de Mudança tecnológica	Índice de mudança na PTF	Índice de mudança na eficiência técnica	Índice de Mudança tecnológica	Índice de mudança na PTF
1	1,0094	0,9977	1,0071	1,0286	0,9755	1,0034	1,0000	1,0089	1,0089
2	1,0088	1,0023	1,0112	1,0167	0,9943	1,0109	1,0050	1,0064	1,0114
3	1,0065	0,9902	0,9966	1,0208	0,9543	0,9741	0,9995	1,0086	1,0081
4	0,9864	0,9624	0,9493	0,9869	0,8757	0,8642	0,9862	1,0089	0,9949
5	0,9897	0,9908	0,9806	0,9697	0,9626	0,9335	0,9998	1,0052	1,0050
6	1,0184	0,9742	0,9921	1,0467	0,9077	0,9501	1,0045	1,0092	1,0138
7	1,0146	1,0001	1,0147	1,0410	0,9818	1,0221	1,0017	1,0093	1,0111
8	0,9964	0,9969	0,9934	0,9925	0,9720	0,9647	0,9984	1,0097	1,0080
9	1,0000	1,0024	1,0024	1,0000	0,9910	0,9910	1,0000	1,0082	1,0082
10	1,0050	1,0034	1,0085	1,0081	0,9928	1,0008	1,0035	1,0088	1,0123
11	1,0049	0,9972	1,0021	1,0133	0,9725	0,9854	1,0007	1,0098	1,0105
12	1,0224	0,9896	1,0117	1,0618	0,9534	1,0123	1,0032	1,0082	1,0115
13	1,0157	0,9988	1,0145	1,0358	0,9787	1,0137	1,0057	1,0091	1,0149
14	1,0023	0,9910	0,9933	1,0050	0,9548	0,9596	1,0010	1,0096	1,0107
15	0,9994	0,9961	0,9955	0,9953	0,9707	0,9662	1,0014	1,0091	1,0105
16	1,0171	1,0022	1,0193	1,0521	0,9958	1,0478	1,0000	1,0054	1,0054
17	0,9991	0,9964	0,9955	1,0034	0,9767	0,9800	0,9970	1,0064	1,0033
18	1,0023	0,9971	0,9994	1,0136	0,9761	0,9893	0,9967	1,0078	1,0045
19	0,9969	0,9953	0,9922	0,9805	0,9716	0,9526	1,0052	1,0074	1,0126
20	1,0046	1,0008	1,0053	1,0121	0,9858	0,9977	1,0008	1,0083	1,0092
21	1,0051	0,9910	0,9961	0,9995	0,9662	0,9657	1,0079	1,0037	1,0116
22	0,9996	0,9840	0,9836	1,0020	0,9352	0,9371	0,9983	1,0094	1,0077
Média crescimento indústria	0,47%	-0,64%	-0,17%	1,27%	-3,47%	-2,25%	0,07%	0,81%	0,88%

é utilizado. Nesse caso, diferentemente do que aconteceu com o método SFA, os índices médios de mudança na eficiência técnica foram positivos tanto antes quanto depois da mudança do regime cambial (ganhos de eficiência de 1,27% e 0,07%, respectivamente), e o índice de mudança tecnológica, que era negativo antes da mudança do regime, passou a ser positivo após a mudança (-3,47% e 0,81%, respectivamente). Por causa dessas diferenças, os índices médios de mudança na PTF apresentaram sinais diferentes; antes da mudança do regime, houve declínio e após, houve expansão.

4.3 Comparação entre os resultados (SFA x DEA)

Os resultados obtidos com o método SFA são próximos àqueles obtidos com o método DEA no que se refere ao resultado médio

do índice de produtividade Malmquist e de seus componentes, mas diferem no que diz respeito à evolução temporal.

Tabela 6: Comparação dos resultados obtidos no período compreendido entre 1996 e 2002 DEA e SFA

Resultados	DEA	SFA
Ganhos médios de eficiência	Sim	Sim
Contração da fronteira tecnológica	Sim	Sim
Declínio na PTF resultante da contração na fronteira tecnológica	Sim	Sim

Como se pode verificar pela Tabela 6, em ambos os métodos, observaram-se ganhos médios de eficiência, contração na fronteira tecnológica e declínio da PTF. No entanto,

a evolução dos índices de mudança na eficiência, de mudança técnica e de mudança na PTF foi distinta nos sete anos analisados. A divisão do período em duas amostras, antes e depois da mudança do regime cambial, não foi conclusiva para explicar de forma única as flutuações observadas nos índices de Malmquist e de seus componentes.

Tabela 7: Comparação do impacto da mudança cambial nos índices de mudança na eficiência, mudança técnica e mudança na PTF

	DEA Mudança cambial		SFA Mudança cambial	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Índice de mudança na eficiência técnica	+	+	-	+
Índice de mudança tecnológica	-	+	+	-
Índice de mudança na PTF	-	+	-	+

Como se pode observar pela Tabela 7, antes da mudança do regime cambial, os métodos diferiram na evolução dos índices de mudança na eficiência técnica e de mudança tecnológica e convergiram na evolução do índice de mudança na PTF. No método DEA, a indústria apresentou ganhos de eficiência (sinal +), enquanto que, no método SFA, a indústria apresentou perdas de eficiência (sinal -). No índice de mudança tecnológica, o método DEA apresentou contração da fronteira tecnológica enquanto que, no método SFA, observou-se expansão da fronteira tecnológica. Apesar do comportamento adverso nos índices de mudança da eficiência técnica e tecnológica, em ambos os métodos, o índice de mudança na PTF foi negativo (sinal -). Dessa forma, constata-se que o índice responsável pelo declínio no índice de mudança da PTF no método DEA foi o índice de mudança tecnológica, enquanto que, no método SFA, o índice responsável foi o índice de mudança na eficiência técnica.

Após a mudança do regime cambial, os métodos diferiram apenas na evolução do índice de mudança tecnológica, positivo para o método DEA e negativo para o método

SFA. Pode-se inferir que o índice de mudança na eficiência técnica foi o responsável pelo crescimento do índice de mudança na PTF no método SFA, ao passo que, no método DEA, ambos os índices foram responsáveis pelo crescimento do índice de mudança da PTF.

Em suma, pode-se afirmar que os ganhos médios de eficiência observados no período completo (1996 a 2002), com ambos os métodos, foram sustentados no método DEA pela evolução positiva do índice de mudança na eficiência técnica em ambos os períodos (antes e depois da mudança no regime cambial) e no método SFA pela evolução positiva do índice de mudança na eficiência técnica no período pós-mudança de regime. De forma inversa, a contração da fronteira observada no período completo em ambos os métodos foi sustentada, no método DEA, pela evolução negativa do índice de mudança tecnológica no período antes da mudança do regime e, no SFA, pela evolução negativa do mesmo índice no período após a mudança do regime. E, por fim, o declínio observado no índice de mudança na PTF no período completo com o método DEA foi resultado da contração mais que proporcional da fronteira, observado no período antes da mudança do regime cambial em relação à expansão observada no segundo período, ao passo que o declínio no índice de mudança na PTF, observado com o método SFA, foi resultado da perda de eficiência observada pela indústria antes da mudança do regime e pela contração da fronteira tecnológica pós-mudança do regime cambial.

5 Conclusão

Neste artigo, empregaram-se os métodos de fronteira estocástica (SFA) e de análise envoltória de dados (DEA) para medir o índice de produtividade de Malmquist e de seus componentes (índice de mudança na eficiência técnica e índice de mudança tecnológica) na indústria de transformação brasileira para o período compreendido entre 1996 e 2002.

Os resultados obtidos com o método SFA foram próximos àqueles obtidos com o DEA, no que se refere ao resultado médio do índice de Malmquist e de seus componentes. Em ambos os métodos, a indústria de transformação obteve ganhos médios de

eficiência, houve contração da fronteira tecnológica e declínio na Produtividade Total dos Fatores.

No entanto, a evolução dos índices de mudança na eficiência técnica, de mudança tecnológica e de mudança na PTF foi distinta nos sete anos analisados para cada um dos métodos. A divisão do período em duas amostras, antes e depois da mudança do regime cambial, não foi conclusiva para explicar de forma única as flutuações observadas nos índices de Malmquist e de seus componentes.

Referências Bibliográficas

- AIGNER, D.; LOVELL C.; SCHMIDT, P. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. **Journal of Econometrics**, 1977, p. 21-37.
- BAGI, F. Stochastic Frontier Production Function and Farm-level Technical Efficiency of Full-Time and Part-Time Farms in West Tennessee. **North Central Journal of Agricultural Economics**, n. 1, 1984, p. 48-55.
- BATTESE, G.; COELLI T. Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, 1992, p. 153-169.
- _____. A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. **Empirical Economics**, 1995, p. 325-332.
- BONELLI, R. Produtividade Industrial nos Anos 90: Controvérsias e Quase-Fatos. In: IPEA. **A Economia Brasileira em Perspectiva 1996**
- _____. Ganhos de produtividade e de eficiência: novos resultados para a economia brasileira. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, n. 2, Rio de Janeiro, ago. 1998.
- CAVES D.; CHRISTENSEN L.; DIEWERT W. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. **Econometrica**, 1982, p. 393-414.
- CHAPPLE, W. *et al.* Assessing the Relative Performance of U.K. University Technology Transfer Offices: Parametric and Non-Parametric Evidence. **Research Policy**, n. 3, 2005, p. 369-384.
- COELLI, T.; RAO, P.; BATTESE, G. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- FÄRE, R., GROSSKOPF, S.; LOVELL, C. **Production Frontiers Cambridge**. Cambridge University Press, 1994.
- FÄRE, R. *et al.* Productivity Developments in Swedish hospitals: A Malmquist Output Index Approach. In Charnes, A., *et al.* **Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications**. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts: Editora, 2001.
- GOMES, V.; PESSÔA, S.; VELOSO, F. Evolução da Produtividade Total dos Fatores na Economia Brasileira: Uma Análise Comparativa. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, 2003.
- GRIFFITHS-TATJÉ, E.; LOVELL, C. A Note on the Malmquist Productivity Index. **Economics Letters**, p. 169-175.
- MEEUSEN, W.; VAN DEN BROECK, J. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions With Composed Error. **International Economic Review**, 1977, p.435-444.
- MUENDLER, M. **The Database Pesquisa Industrial Anual 1986-2001: A Detective's Report**. San Diego: University of California, 2003.
- MELLO, E.; MACEDO, P. **A Firm Level DEA Approach**. XXXI Encontro Nacional de Economia, anais Anpec, Porto Seguro, 2003.
- ROSSI, J.; FERREIRA P. Evolução da produtividade industrial brasileira e abertura comercial. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, 1999.
- YOUNG, A. The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience. **The Quarterly Journal of Economics**, 1995, p. 641-680.

Apêndice A: Derivação do Índice de Malmquist com quantidades de insumos diferentes

A partir da re-arrumação da equação (6), tem-se que:

$$PTF = \frac{\lambda_t}{\lambda_s} * \frac{f_t(kx_s)}{f_s(x_s)}$$

$$PTF = \frac{\lambda_t}{\lambda_s} * \frac{f_t(kx_s)}{k} \frac{1}{f_s(x_s)}$$

Como $\varepsilon(t)$ representa os retornos do parâmetro de escala k , tem-se que:

$$PTF = \frac{\lambda_t}{\lambda_s} * \frac{k^{\varepsilon(t)} f_t(x_s)}{k} \frac{1}{f_s(x_s)}$$

$$PTF = \frac{\lambda_t}{\lambda_s} * \frac{k^{\varepsilon(t)} f_t(x_s)}{k f_s(x_s)}$$

Re-arrumando-se a equação anterior, tem-se a seguinte equação para o índice PTF:

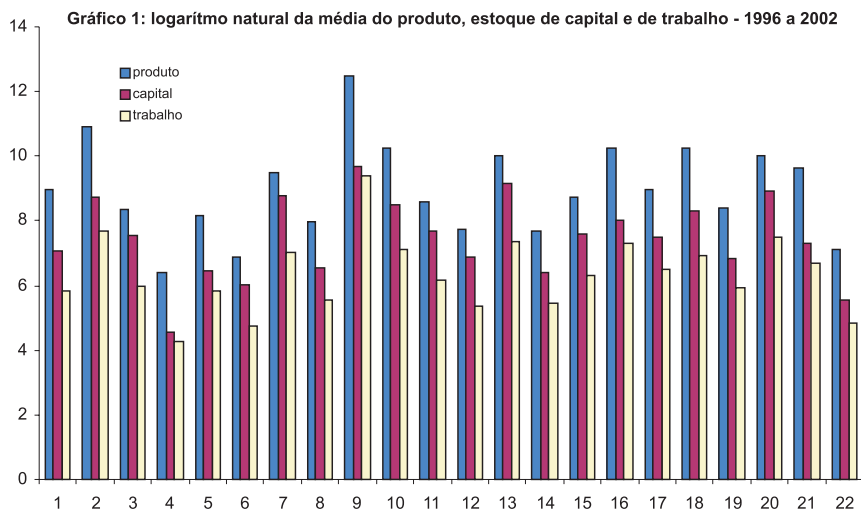
$$PTF = \frac{\lambda_t}{\lambda_s} * k^{\varepsilon(t)-1} \frac{f_t(x_s)}{f_s(x_s)}$$

Apêndice B: Setores da indústria de transformação brasileira segundo IBGE

Tabela 8: Setores da indústria de transformação brasileira segundo IBGE CNAE

Nº	Nome setor
1	Fabricação de produtos alimentícios e de bebidas.
2	Fabricação de produtos do fumo.
3	Fabricação de produtos têxteis.
4	Confecção de artigos do vestuário e acessórios.
5	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados.
6	Fabricação de produtos de madeira.
7	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel.
8	Edição, impressão e reprodução de gravações.
9	Fabricação de coque, refino de petróleo, elaboração de combustíveis nucleares e produção de álcool.
10	Fabricação de produtos químicos.
11	Fabricação de artigos de borracha e plástico.
12	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos.
13	Metalurgia básica.
14	Fabricação de produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos.
15	Fabricação de máquinas e equipamentos.
16	Fabricação de máquinas para escritório e equipamentos de informática.
17	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos.
18	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações.
19	Fabricação de equipamentos de instrumentação médico-hospitalares, instrumentos de precisão e ópticos, equipamentos para automação industrial, cronômetros e relógios.
20	Fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias.
21	Fabricação de outros equipamentos de transporte.
22	Fabricação de móveis e indústrias diversas.

Apêndice C: Logaritmo natural da média do produto, estoque de capital e de trabalho – 1996 a 2002



Apêndice D: Gráfico das isoquantas da indústria nos períodos 1996 a 2002

Gráfico 1: isoquantas da indústria nos períodos 1996 a 2002

