

CAPITAL HUMANO, PROGRESSO TÉCNICO, DIFUSÃO TECNOLÓGICA E CRESCIMENTO ECONÔMICO PARA UMA AMOSTRA AMPLA DE PAÍSES*

Emerson Marinho**

Almir Bittencourt da Silva***

A abordagem schumpeteriana de crescimento econômico é explicada pela dotação inicial de capital humano, uma vez que é através dele que se forma a capacidade de inovação dos países e a difusão tecnológica dos países líderes para os seguidores. Nelson e Phelps (1966) descrevem o crescimento econômico como resultado do estoque de capital humano que influencia a capacidade de inovação de um país, acelerando o processo de *catching up* em relação aos países mais avançados. Na concepção de Romer (1990), o crescimento é comandado pelo progresso tecnológico que resulta de decisões intencionais dos agentes que buscam maximizar lucros. O objetivo deste artigo, de acordo com estas linhas de pensamento, é verificar empiricamente a influência do capital humano no crescimento econômico através de seus efeitos sobre o crescimento do produto, via difusão tecnológica. Na análise empírica utilizam-se a teoria da fronteira estocástica de produção e o índice de produtividade total de Malmquist. Este índice é decomposto nos seus componentes de variação de eficiência técnica e variação tecnológica. O componente de variação tecnológica é então utilizado para a verificação das abordagens de Romer e Nelson-Phelps.

1 INTRODUÇÃO

O ressurgimento de pesquisas teóricas e empíricas sobre crescimento econômico foi significativamente influenciado pelo trabalho de Romer (1986), que introduziu uma nova concepção acerca do processo de evolução das economias no longo prazo. Lucas (1988), por sua vez, inspirado na teoria do capital humano de Becker (1964), concebeu importantes modificações nas hipóteses básicas do modelo de Solow (1956), dando origem a um novo paradigma em modelos de crescimento.

A ideia central incorporada nos modelos de crescimento endógeno decorre da superação dos rendimentos decrescentes no processo de produção, em nível agregado, em face das externalidades geradas pela atuação das firmas individualmente que levariam à geração de rendimentos crescentes (ROMER, 1986). O capital humano poderia também gerar externalidades que causariam rendimentos crescentes na função de produção agregada (LUCAS, 1988), alterando, assim, os resultados do modelo neoclássico de crescimento.

* O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento desta pesquisa.

** Professor do Curso de Pós-Graduação em Economia (CAEN) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

*** Professor do CAEN/UFC.

Muitos estudos empíricos relacionados à teoria do crescimento têm-se voltado para o exame da contribuição do capital humano no processo de crescimento.¹ Esses estudos, em geral, procuram mensurar sua contribuição por meio de estimações de funções de produção agregadas, nas quais o capital humano é considerado um fator de produção adicional. Há também estudos que examinam o seu impacto sobre a produtividade total dos fatores (PTF), estimado tanto pela abordagem de números índices quanto pelo resíduo de Solow (1957), sendo que, nesse caso, recorre-se geralmente à utilização de uma função de produção Cobb-Douglas.

Este artigo examina empiricamente, e de maneira inovadora, a influência do capital humano no crescimento econômico através de seus efeitos sobre a taxa de crescimento do produto, via difusão tecnológica (NELSON e PHELPS, 1966). Na mesma linha verifica-se também se o capital humano apresenta efeito favorável à geração do progresso técnico (ROMER, 1986; 1990), tendo como base empírica a relação proposta por Benhabib e Spiegel (1994). A contribuição deste artigo consiste em testar os efeitos do capital humano na relação Benhabib e Spiegel (1994) por meio de um painel de dados em que a variável progresso técnico é construída a partir da decomposição do índice de produtividade de Malmquist. Na construção desse índice, utiliza-se o modelo de fronteira estocástica de produção como instrumento gerador das funções distância que possibilitam a construção do índice de Malmquist.

É importante destacar que o modelo de fronteira estocástica teve sua aplicação direcionada inicialmente para a estimação de funções de produção de forma a permitir a mensuração dos efeitos de ineficiência técnica, os quais, na visão convencional, não eram devidamente considerados. A ineficiência produz diferenças entre o produto real observado e o produto potencial, estando este último relacionado ao conceito de fronteira de produção, além de distorcer os custos de produção. Recentes aplicações do modelo têm abrangido muitos campos de estudo dentre os quais se incluem mercado de trabalho, finanças e crescimento econômico. Em relação ao último campo de aplicação, a literatura sobre fronteira estocástica tem apresentado relevantes contribuições no que diz respeito às medidas de variação de eficiência técnica e de variação tecnológica, assim como da PTF, em estudos envolvendo grupos heterogêneos de países.²

A aplicação empírica realizada neste artigo compreende um conjunto amplo de países com padrões de desenvolvimento bastante heterogêneos, sendo o

1. Como exemplo, a construção de dados sobre o padrão educacional de um número significativo de países (BARRO e LEE, 1993, 1996, 2000) e as estimativas sobre os retornos da educação (PSACHAROPOULOS, 1994, 1995) têm permitido modos alternativos de modelagem do capital humano no processo de crescimento.

2. Em relação ao crescimento econômico, ver, por exemplo, Koop, Osiewalski e Steel (1999), Duffy e Papageorgiou (2000), Kneller e Stevens (2002), Kumbhakar e Wang (2005).

experimento, então, repetido para os subgrupos classificados pelo Banco Mundial em países ricos, de renda média e países pobres. O objetivo desses agrupamentos distintos de países é o de se buscar identificar diferentes efeitos da inclusão do capital humano, conforme o grupo de renda considerado, em relação aos aspectos da difusão tecnológica e da produção de conhecimento.

O artigo, além desta introdução, está organizado da seguinte forma: a seção 2 faz a exposição da metodologia, compreendendo a exposição da técnica de medida da PTF e de seus componentes segundo o enfoque da teoria da fronteira estocástica e o índice de produtividade de Malmquist; a seção 3 apresenta os dados amostrais e os resultados dos modelos econométricos estimados; por fim, a seção 4 é dedicada às conclusões.

2 METODOLOGIA

O procedimento metodológico utilizado segue as seguintes etapas: caracterização do modelo paramétrico de fronteira de produção, seleção e especificação da forma funcional da fronteira estocástica de produção, mensuração das funções distância, construção do índice de produtividade de Malmquist, identificação do componente de variação técnica (progresso tecnológico) no painel, estimação da equação de Benhabib e Spiegel (1994) e, por fim, exame da convergência absoluta do progresso técnico, nos termos do experimento de Baumol (1986).

2.1 Modelo paramétrico de fronteira de produção

Adota-se o método paramétrico de fronteira de produção estocástica cuja principal vantagem em relação aos modelos não paramétricos consiste na incorporação de desvios e distúrbios aleatórios na estimação da fronteira, ao contrário do método não paramétrico tradicional que atribui à ineficiência técnica os desvios do produto observado em relação ao produto potencial.³

Por outro lado, o método de fronteira estocástica requer a especificação da forma funcional da fronteira de produção e o estabelecimento de hipóteses distribucionais sobre os componentes do erro, de forma a permitir a sua decomposição nos componentes de ineficiência técnica e desvios aleatórios de medida.

O modelo de fronteira de produção, objeto deste ensaio, baseia-se na abordagem de dados em painel, desenvolvida por Battese e Coelli (1995), que incorpora na fronteira os efeitos de ineficiência técnica como uma função de variáveis explicativas. Os parâmetros da função de produção e da ineficiência técnica são estimados simultaneamente.

3. Trata-se da abordagem denominada Data Envelopment Analysis (DEA), desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) a partir da metodologia de programação linear proposta por Farrell (1957).

Essa modelagem tem a vantagem de permitir que as ineficiências técnicas e as elasticidades dos insumos variem no tempo, possibilitando a identificação de alterações na estrutura de produção. O modelo é especificado da seguinte forma:

$$Y_{it} = f(x_{it}; \beta) e^{(v_{it} - e_{it})} \quad (1)$$

onde:

Y_{it} representa o produto observado no tempo t relativamente à i -ésima unidade de produção (país);

$f(\bullet)$ é a tecnologia de produção;

x_{it} é um vetor de fatores de produção relativamente à i -ésima unidade produtiva e medida no tempo t ;

β é um vetor de parâmetros desconhecidos a serem estimados;

v_{it} representa os erros aleatórios e são, por hipótese, independentes e identicamente distribuídos com distribuição normal, tendo média zero e variância constante σ_v^2 ; e

e_{it} é uma variável aleatória não negativa representando a ineficiência técnica de produção, de modo que o produto observado seja menor que o produto potencial.

Os efeitos de ineficiência técnica, e_{it} , são especificados como:

$$e_{it} = z_{it} \delta + w_{it} \quad (2)$$

em que:

z_{it} é um vetor de variáveis que explicam a ineficiência técnica da i -ésima unidade produtiva (país) e medida no tempo t ;

δ é um vetor de parâmetros associado à variável z_{it} ;

w_{it} é uma variável aleatória com distribuição normal com média zero e variância σ_w^2 .

Por hipótese, a ineficiência técnica tem distribuição normal truncada em zero, independentemente distribuída (mas não identicamente distribuída) com moda $m_{it} = z_{it} \delta$ e variância $\sigma_{m_{it}}^2$.⁴ Observe que, como se supõe que e_{it} tem distribuição normal truncada em zero, tem-se que $w_{it} \geq -z_{it} \delta$.

4. Os valores da ineficiência técnica são em geral sensíveis às hipóteses distribucionais. No entanto, a evidência empírica tem mostrado que as ordenações desses valores não se alteram significativamente.

Para se obter estimativas consistentes dos parâmetros das equações (1) e (2), estimam-se simultaneamente essas equações através do Método de Máxima Verossimilhança. Nesse processo, segundo Battese e Coelli (1995), a função de log-verossimilhança é parametrizada fazendo-se $\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$. Esse procedimento permite testar a presença de ineficiência técnica no processo produtivo além de facilitar o processo de estimação. Quanto mais próximo de zero for o valor estimado de γ menos importância terá o termo da ineficiência técnica na explicação dos desvios da fronteira de produção. Quando o seu valor se aproxima de 1 maior é a importância da eficiência técnica nos desvios da fronteira de produção. A maneira como a eficiência técnica é calculada é mostrada na subseção seguinte.

2.2 Índice de produtividade total de Malmquist e função distância

De acordo com Caves, Christensen e Diewert (1982) o índice de produtividade total de Malmquist (1953), orientado pelo produto e aqui denotado por $M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t)$, é definido seguindo Färe *et al.* (1992) como:

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\frac{D_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_0^t(y^t, x^t)} \right] \left[\frac{D_0^t(y^t, x^t)}{D_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

onde os termos que compõem esse índice são as funções distância que serão definidas formalmente logo a seguir.

Seja $y^t \in R_+^M$, o vetor de produtos que pode ser produzido com o vetor de insumos $x^t \in R_+^N$. A função distância orientada pelo produto no período j com relação à tecnologia do período k , denotada por $D_0^k(x^j, y^j)$, é definida como:⁵

$$D_0^k(x^j, y^j) = \text{Inf} \{ (\delta : x^j / \delta) \in F^k \} = [\text{sup} \{ \delta : (x^j, \delta y^j) \in F^k \}]^{-1}$$

onde $F^k = \{(x^k, y^k) : x^k \text{ pode produzir } y^k\}$, $k = 1, 2, 3, \dots$, t é o conjunto de possibilidades de produção. Em outras palavras, a função distância orientada pelo produto mede a máxima expansão proporcional do produto de forma que ele ainda pertença ao conjunto de possibilidade de produção. Essa função caracteriza completamente a tecnologia de modo que $D_0^t(x^t, y^t) \leq 1$ se e somente se $D_0^t(x^t, y^t) \in F^t$. Além do mais, $D_0^t(x^t, y^t) = 1$ se e somente se a observação situa-se sobre a fronteira de produção, sendo, portanto, eficiente no sentido de Farrell (1957). De acordo com esse autor, o valor da função distância orientada pelo produto pode ser utilizado como uma medida de eficiência técnica de produção. Esta medida refere-se à distância entre o produto observado e o produto potencial máximo, sendo medida

5. O conceito de função distância também pode ser definido orientado pelo insumo. Nesse caso, a função distância é definida como, $d_0^k(x^j, y^j) = \text{sup} \{ \rho : (x^j / \rho, y^j) \in L^k \}$, onde L^k é o conjunto de insumos.

como proporção deste último. Nestes termos, para a tecnologia em t , denominando a eficiência técnica de produção por ET_{it} , tem-se que $ET_{it} = D_0^t(x^t, y^t)$.

Por outro lado, de acordo com a teoria da fronteira estocástica, a eficiência técnica pode ser definida como a relação entre o produto observado, $y_{it} = f(x_{it}; \beta) \exp(v_{it}) \exp(-e_{it})$, expressão (1), e o produto potencial máximo $\hat{y}_{it} = f(x_{it}; \beta) \exp(v_{it})$. Isso resulta em $\exp(-e_{it}) = \frac{y_{it}}{\hat{y}_{it}}$. Fazendo-se analogia com o conceito de eficiência técnica de Farrell (1957), pode-se concluir que $ET_{it} = D_0^t(x^t, y^t) = \exp(-e_{it})$. Desta forma, estimam-se as equações (1) e (2) simultaneamente por Máxima Verossimilhança para obter estimativas consistentes dos parâmetros. Em seguida, de acordo com Battese e Coelli (1995), estimam-se as ineficiências técnicas. Por último, em função desses resultados determinam-se as funções distâncias $D_0^t(x^t, y^t)$, $D_0^{t+1}(x^t, y^t)$, $D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ e $D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ do índice (4) (3).

Este índice apresenta duas vantagens em relação ao procedimento da contabilidade do crescimento. Em primeiro lugar, não há necessidade de se ter informações sobre os preços dos fatores de produção e nenhuma condição de equilíbrio é requerida para sua construção. A outra vantagem é que o referido índice permite decompor a variação da PTF nos componentes de variação de eficiência técnica (VET) e de variação técnica (VT). Com isso, pode-se identificar qual componente de variação da PTF deve representar efetivamente a variação de progresso tecnológico, ao contrário da contabilidade do crescimento que associa alterações na PTF diretamente aos avanços da tecnologia.

O primeiro termo do lado direito de (4) mede o afastamento do produto observado em relação ao produto potencial máximo entre os períodos t e $t + 1$. Este termo mede a VET de produção no período. O segundo termo quantifica o deslocamento devido à tecnologia entre os períodos t e $t + 1$, em relação ao uso dos insumos x^t e x^{t+1} . Este termo representa a VT, ou o progresso tecnológico, tendo-se, então:

$$VT = \left[\frac{D_0^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \frac{D_0^t(y^t, x^t)}{D_0^{t+1}(y^t, x^t)} \right] \quad (4)$$

A série VT construída por (4) constituirá a variável dependente dos modelos econométricos (6) e (7) a serem especificados na subseção 2.4.

2.3 Especificação da fronteira de produção: modelo econométrico

A forma funcional da função de produção em (1) foi especificada por meio de um teste de adequação à amostra de dados. Inicialmente, considerou-se uma

função Cobb-Douglas que reconhecidamente apresenta propriedades restritivas em contraposição a uma forma menos restritiva expressa pela função translog. O teste da razão de verossimilhança apresentado na tabela 3 (seção 3) indicou esta última como a mais adequada.

Assim a especificação adotada foi a seguinte:

$$y_{it} = \beta_i + \beta_t t + \beta_{tt} t^2 + \sum_{j=1}^2 \beta_j x_{jit} + \sum_{j=1}^2 \sum_{b=1}^2 \beta_{jb} x_{jit} x_{bit} + \sum_{j=1}^2 \beta_{jii} x_{jit} t + v_{it} - e_{it} \quad (5)$$

onde a ineficiência técnica de produção, e_{it} , é modelada de acordo com a expressão (2), ou seja, $e_{it} = z_{it} \delta + w_{it}$.

A variável y_{it} é o logaritmo do produto do i -ésimo país no período t e x_{jit} é um vetor dos logaritmos dos fatores de produção trabalho (L) e capital físico (K), ou seja, ($j, i = L, K$).

Observa-se que a variável capital humano não entra na especificação da fronteira de produção (5) de maneira que as medidas relativas à variação tecnológica não sejam afetadas pela inclusão dessa variável, podendo-se, com isso, testar a abordagem de Nelson-Phelps (1966).

O parâmetro β_i incorpora no modelo os efeitos fixos com o objetivo de capturar heterogeneidades não observadas na amostra de países, principalmente relacionadas às diferenças iniciais nos níveis tecnológicos. Além disso, acrescenta-se uma tendência determinística na fronteira seguindo um procedimento usual nos trabalhos que utilizam essa metodologia, representando a taxa de progresso técnico ou o deslocamento da função de produção ao longo do tempo. Essa especificação considera o progresso técnico como não neutro.

Deve-se salientar, por outro lado, que os parâmetros estimados das equações (5) e (2) são os mesmos para todos os países, pois, por hipótese, a tecnologia é dada e disponível para todos eles, diferindo apenas nos interceptos, a fim de permitir a comparação do desempenho entre eles. A adoção da hipótese de retornos constantes de escala na fronteira de produção (6) é necessária e foi adotada tendo como base o procedimento seguido por Färe *et al.* (1992) para a construção do índice de Malmquist. Isso implica as seguintes restrições sobre os parâmetros dessa função: $\beta_K + \beta_L = 1$, $\beta_{KK} + \beta_{KL} = 0$, $\beta_{KL} + \beta_{LL} = 0$ e $\beta_{Kt} + \beta_{Lt} = 0$. De acordo com Grifell-Tatjé e Lovell (1995), a hipótese de retornos constantes de escala tem de ser imposta a fim de que o índice de Malmquist não apresente viés no seu cálculo.

Na realidade, quando se impõem retornos constantes de escala, as unidades produtivas poderiam estar operando sob retornos variáveis de escala, mas sem apresentarem ineficiência de escala. Em outras palavras, ao se impor a hipótese de

retornos constantes de escala implicitamente está-se admitindo que as unidades produtivas operem em uma escala ótima de produção. Em relação aos componentes do índice de Malmquist, deve-se acrescentar que a variação de eficiência técnica pode ser decomposta em variação de eficiência técnica pura e eficiência de escala. Se não existe problema de escala, é evidente que as variações de eficiência técnica coincidem quer sob retornos constantes de escala quer sob retornos variáveis.

Na equação de ineficiência técnica (2), a escolha das variáveis que compõem o vetor Z_{it} tem como objetivo analisar os efeitos sobre a ineficiência técnica de um conjunto de variáveis macroeconômicas cujo comportamento é reconhecidamente influenciado pela política econômica e pelas especificidades locais de cada país. A seleção dessas variáveis foi feita com base em outros trabalhos empíricos realizados no contexto macroeconômico e em função da disponibilidade de dados.⁶ O período amostral compreende os anos de 1960 a 1990 levando em consideração uma amostra de 68 países descritos na seção 3. As variáveis explicativas da equação (2) são descritas a seguir.

Incluem-se variáveis *dummies* para os países pobres e países de renda média com o propósito de quantificar o efeito das diferenças iniciais sobre os níveis de ineficiência dessas regiões. Assim:

z_{1t} representa uma variável *dummy* para os países pobres; e

z_{2t} representa uma outra variável *dummy* para países de renda média.

Em função do choque do petróleo em 1973 analisou-se também o efeito de uma possível quebra estrutural sobre a ineficiência técnica através da inclusão de duas medidas de tendência, quais sejam:

z_{3t} constitui uma tendência para capturar os efeitos comuns sobre a ineficiência técnica dos países no período 1960-1973; e

z_{4t} refere-se a uma tendência para o período 1973/1990-1974/1990.

Em relação aos gastos de consumo do governo, esta variável foi incluída na modelagem do termo de ineficiência técnica com o objetivo de se testar a procedência da hipótese considerada por alguns autores (KLEIN e LUU, 2001) de que gastos de consumo do governo muito elevados são indicadores de sistemas governamentais bastante burocráticos e pouco associados à busca de eficiência no desempenho das ações de governo. Assim, tem-se que:

z_{5t} são os gastos de consumo do governo.

6. Ver, por exemplo, Klein e Luu (2001).

O desvio do nível de preços local em relação à paridade do poder de compra (PPP), tendo-se os Estados Unidos como país de referência, tem como objetivo controlar os efeitos das políticas de comércio através de desvalorizações no câmbio real sobre a ineficiência técnica. Um crescimento nos desvios dos preços locais em relação à PPP significa desvalorização no câmbio real (MILLER e UPADHYAY, 2000). Desse modo, tem-se que:

z_{6t} é o desvio do nível de preços local em relação à PPP;

z_{7t} é o grau de abertura e é medido pelo valor da soma das importações e exportações em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) de cada país. Em geral, se espera que economias mais abertas tenham maior acesso à importação de bens intermediários mais baratos, uma penetração maior em amplos mercados e capacidade de obter tecnologias mais avançadas (MILLER e UPADHYAY, 2000). A consequência esperada deveria ser o aumento da eficiência técnica de produção.

2.4 Capital humano, progresso técnico e difusão tecnológica

Os efeitos do capital humano na geração de inovação tecnológica (ROMER, 1990), e no processo de difusão do progresso técnico (NELSON e PHELPS, 1966), são examinados por meio da relação proposta por Benhabib e Spiegel (1994), sendo agora adaptada à estimação de dados em painel:⁷

$$\Delta \ln A_{it} = \eta + \varphi h_{it} + \vartheta h_{it} \cdot \left(\frac{y_{\max, t}^* - y_{it}}{y_{it}} \right) + \mu_{it} \quad (6)$$

onde h_{it} é o capital humano por trabalhador do i -ésimo país no período t ; $y_{\max, t}^*$ é o nível máximo de produto *per capita* na amostra no tempo t ; y_{it} é o produto *per capita* do i -ésimo país; e μ_{it} é uma medida do erro. O termo $\left(\frac{y_{\max, t}^* - y_{it}}{y_{it}} \right)$ é denominado na literatura *gap* tecnológico.

Na estimação da equação (6) a variável dependente, $\Delta \ln A_{it}$, é medida como a variação do progresso técnico e não a variação na PTF como é tradicionalmente admitida na contabilidade do crescimento. Essa variável é obtida, conforme já mencionado, por meio da decomposição do índice de produtividade total de Malmquist (3). Trata-se, portanto, do efeito puro de deslocamento da fronteira de produção no tempo. Em assim sendo, $\Delta \ln A_{it}$ é construída fazendo-se uso de (4).

7. As estimações realizadas por Benhabib e Spiegel (1994) referem-se aos dados de países na forma de um corte transversal.

A equação (6) constitui, na verdade, uma aproximação de um modelo de crescimento endógeno em que o capital humano, h_{it} , e o *gap* tecnológico,⁸ $\left(\frac{y_{\max, t}^* - y_{it}}{y_{it}} \right)$, são os mecanismos impulsionadores do crescimento econômico através do progresso técnico que é um componente da PTF. Ou seja, o capital humano é o fator determinante do progresso técnico gerado endogenamente – segundo termo de (6) – (ROMER, 1990) e da capacidade de os países absorverem tecnologia gerada por outros países, notadamente por aqueles situados na fronteira tecnológica – terceiro termo de (6) – (NELSON e PHELPS, 1966).

Nesse sentido, o componente da equação devido a Nelson-Phelps, a variável de interação entre o capital humano e o *gap* tecnológico, constitui uma medida que fornece indicação de ocorrência de convergência condicional à disponibilidade desse fator.

2.5 Convergência absoluta do progresso técnico

Outro aspecto examinado refere-se à possibilidade de ocorrência de convergência absoluta na forma proposta por Baumol (1986). O intuito é complementar o exame do processo de difusão do progresso técnico, verificando se sua ocorrência se deu de modo automático. Esse teste envolve a estimação da seguinte regressão:

$$\Delta \ln A_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln y_{i0} + v_{it} \quad (7)$$

A variável $\ln y_{i0}$ representa o nível de produto *per capita* inicial do *i*-ésimo país. Se na estimação seu coeficiente for negativo e estatisticamente significativo, então, conclui-se que ocorre convergência absoluta entre os países. Em caso contrário, nada poderá ser afirmado, inclusive sobre a divergência.

3 DADOS AMOSTRAIS E RESULTADOS

Os dados foram extraídos das seguintes fontes: Heston, Summers e Aten (2002),⁹ *World Development Indicators* (WDI), fornecido pelo Banco Mundial (BIRD) e Barro e Lee (2000). Esses bancos de dados internacionais são amplamente referenciados em estudos empíricos, notadamente sobre o crescimento econômico, uma vez que as informações disponíveis são sistematizadas de acordo com metodologias

8. Trata-se, na verdade, da utilização do *gap* de produto como uma *proxy* do *gap* tecnológico, pois se supõe que os países de produtos internos mais elevados encontram-se na fronteira tecnológica.

9. A Penn World Table 6.1 consiste de uma atualização da versão PWT 5.6 que se encontra em andamento.

que possibilitam a comparabilidade entre diferentes economias. As fontes de dados e as variáveis utilizadas são as seguintes:

1) PWT 6.1: as séries de produto (RGDPCH – Real GDP *per capita* – *Constant price: chain series* e RGDPWOK – Real GDP *chain per worker*); grau de abertura (OPENK – *Openness in Constant prices*); gastos do governo (Kg – *Government share of RGDL* – Real GDP *per capita* – *constant price Laspeyres*); população (POP); desvio dos preços em relação à PPP (P – *Price level of Gross Domestic Product* – US = 100); trabalho (obtido por cálculo com o uso das variáveis: RGDPCH, RGDPWOK e POP).

2) WDI: capital por trabalhador (KAPW – *Capital per worker*).

3) Barro e Lee: capital humano (série relativa ao número médio de anos completados de educação formal pela população com mais de 15 anos de idade, ajustada para a frequência anual por meio de interpolação).¹⁰

A amostra de dados anuais é composta de 68 países (tabela 1) no período compreendido entre os anos de 1960 e 1990, distribuídos conforme a classificação do Banco Mundial da seguinte forma: 23 países ricos, 28 países de renda média e 17 países pobres. A amostra, portanto, é constituída de 2.108 observações sob a forma de um painel balanceado.

Os dados foram os mesmos usados em Bittencourt da Silva e Marinho (2004) com a adição da variável capital humano. O tamanho da amostra se restringiu a somente 68 países devido à falta de dados para os demais. Em relação ao período de tempo, o ano de 1990 foi fixado como limite superior porque não há a partir de então informações sobre capital físico para os países utilizados na amostra.

Os resultados da estimação da fronteira estocástica de produção, equação (5), e da ineficiência técnica, equação (2), encontram-se apresentados na tabela 2. Para efeitos de significância dos parâmetros estimados será levado em consideração o nível de 5%.

Os sinais positivos e significativos das estimativas dos parâmetros β_t e β_{tt} refletem a ocorrência de progresso tecnológico. Com exceção da variável capital físico, todos os parâmetros estimados das variáveis explicativas da função de produção foram significativos e apresentaram sinais esperados.

10. Os dados de educação de Barro e Lee são apresentados originalmente em intervalos de cinco anos. Ferreira, Issler e Pessoa (2004), que usaram a interpolação dessa série para transformá-la em frequência anual, afirmam que, embora tal procedimento possa induzir a erros de medida no capital humano, o problema é relativamente pouco significante dada a previsibilidade do comportamento da referida variável. Ademais, realizaram estimações usando as séries originais em intervalos de cinco anos e os resultados são muito próximos aos obtidos com a variável interpolada.

TABELA 1
Amostra de países

Países desenvolvidos	Países de renda média	Países pobres
Austrália (AUS)	Turquia (TUR)	Indonésia (IDN)
Áustria (AUT)	Fiji (FJI)	Bangladesh (BGD)
Bélgica (BEL)	República da Coreia (KOR)	Paquistão (PAK)
Canadá (CAN)	Malásia (MYS)	República dos Camarões (CRM)
Suíça (CHE)	Papua-Nova Guiné (PNG)	República Centro-Africana (CAF)
Dinamarca (DNK)	Filipinas (PHL)	Gana (GHA)
Espanha (ESP)	Taiwan (TWN)	Quênia (KEN)
Finlândia (FIN)	Tailândia (THA)	Lesoto (LSO)
França (FRA)	Sri Lanka (LKA)	Malawi (MWI)
Reino Unido (GRB)	Ilhas Maurício (MUS)	Mali (MLI)
Grécia (GRC)	África do Sul (ZAF)	Togo (TGO)
Irlanda (IRL)	Argentina (ARG)	Uganda (UGA)
Islândia (ISL)	Bolívia (BOL)	Zâmbia (ZMB)
Itália (ITA)	Brasil (BRA)	Zimbábue (ZWE)
Japão (JPN)	Chile (CHL)	Honduras (HND)
Holanda (NLD)	Colômbia (COL)	Nicarágua (NIC)
Noruega (NOR)	Costa Rica (CRI)	Índia (IND)
Nova Zelândia (NZL)	República Dominicana (DOM)	
Portugal (PRT)	Equador (ECU)	
Suécia (SWE)	El Salvador (SLV)	
Estados Unidos (USA)	Guatemala (GTM)	
Hong Kong (HKG)	Jamaica (JAM)	
Cingapura (SGP)	México (MEX)	
	Paraguai (PRY)	
	Peru (PER)	
	Trinidad e Tobago (TTO)	
	Uruguai (URY)	
	Venezuela (VEN)	
(23 países)	(28 países)	(17 países)

Fonte: Banco Mundial.

Obs.: Os códigos de países são os adotados pelo Banco Mundial e pela PWT 6.1.

Em relação à estatística γ , seu valor estimado indica que 98% da variância total do erro composto têm sua explicação atribuída à variância do termo da ineficiência técnica. Nesse sentido, não se pode deixar de considerar a existência de ineficiência técnica na fronteira de produção, sendo, portanto, recomendável a sua incorporação no modelo.

Quanto às variáveis que explicam a ineficiência técnica, com as exceções do consumo do governo e desvios dos preços locais em relação à PPP, todos os parâmetros estimados apresentam-se estatisticamente significantes. Dessa forma, conclui-se que, na configuração apresentada neste artigo, ambas as variáveis não são fatores estatisticamente relevantes para explicar a ineficiência técnica.

TABELA 2

Estimativas dos parâmetros da fronteira estocástica de produção¹

Parâmetros/variáveis	Estimativa	Valor-t	χ^2
$\beta_t(t)$	0,02	6,69	
$\beta_{\tau\tau}((1/2)t^2)$	0,00	2,29	
$\beta_K(\ln K)$	-0,06	-0,81	
$\beta_{Kt}(t \ln K)$	0,00	-5,68	
$\beta_L(\ln L)$	1,06	15,34	
$\beta_{Lt}(t \ln L)$	0,00	5,68	
$\beta_{KK}((1/2)\ln K \ln K)$	0,07	8,71	
$\beta_{KL}(\ln K \ln L)$	-0,07	-8,71	
$\beta_{LL}((1/2)\ln L \ln L)$	0,07	8,71	
δ_0 (intercepto)	-1,58	-3,24	
δ_1 (z_1 – variável <i>dummy</i> para os países pobres)	0,91	3,61	
δ_2 (z_2 – variável <i>dummy</i> para os países de renda média)	0,77	3,40	
δ_3 (z_3 – tendência para o período 1960-1973)	-0,03	-2,34	
δ_4 (z_4 – tendência para o período 1973-1990)	0,01	2,78	
δ_5 (z_5 – gastos de consumo do governo)	0,14	0,65	
δ_6 (z_6 – desvios dos preços locais da PPP)	0,04	0,73	
δ_7 (z_7 – grau de abertura)	0,45	4,10	
σ_ε^2	0,09		
γ^2	0,98		48,4
Eficiência média	0,89		
Log da função de verossimilhança	2.010,22		

Fonte: Resultados obtidos pelos autores.

Notas: ¹ Os efeitos fixos dos países não são apresentados na tabela.

² Este teste tem uma distribuição aproximadamente qui-quadrado com graus de liberdade iguais ao número de restrições independentes. A distribuição assintótica dos testes de hipóteses envolve o parâmetro g que se caracteriza por possuir uma distribuição qui-quadrado mista cujos valores críticos são obtidos em Kodde e Palm (1986, tabela 1, p. 1.246).

Dois aspectos interessantes no modelo de ineficiência chamam a atenção. Primeiro, a inclusão de *dummies* para diferenciar os países quanto ao seu grau de desenvolvimento. Os resultados indicam que nos países pobres e de renda média a ineficiência técnica constitui um padrão relevante que deve ser considerado na análise. Segundo, examinando-se os parâmetros estimados da variável tendência observa-se claramente uma quebra estrutural no ano de 1973. A partir desse ano ocorre uma inversão na tendência de queda da ineficiência técnica dos países. A razão para esse fenômeno deveu-se por certo ao choque do petróleo ocorrido precisamente nesse ano.

A variável denominada grau de abertura z_{7t} apresenta coeficiente positivo e significativo, indicando, portanto, que economias mais abertas possuem um grau maior de ineficiência técnica. Esse resultado é surpreendente e contraria as previsões de que economias com maior grau de abertura teriam acesso a bens intermediários de preços mais baixos, a tecnologias mais avançadas e a mercados mais amplos, o que lhes permitiria elevar a ineficiência técnica. Pode-se apresentar como uma possível explicação para esse resultado a heterogeneidade da amostra que inclui países cujas economias são voltadas para a exportação de produtos primários e naturais, de baixo nível de desenvolvimento e com elevada ineficiência sistêmica.

Outra possível explicação seria o fato de que essa variável não represente uma medida efetiva do grau de abertura dos países.¹¹

A tabela 3 apresenta resultados de alguns testes estatísticos implementados para verificar a consistência de hipóteses relativas à função fronteira de produção. A primeira hipótese refere-se ao teste de adequação do modelo Cobb-Douglas comparativamente à forma funcional menos restritiva da translog. Assim, testa-se a hipótese de que todos os coeficientes de segunda ordem e os coeficientes dos produtos cruzados são todos iguais a zero. O valor da razão de verossimilhança, 72,86, supera o valor crítico da estatística $\chi^2_{(6)}$ com nível de significância de 5%. Assim sendo, rejeita-se a hipótese nula de uma tecnologia Kobb-Douglas em favor de uma especificação translog.

O segundo teste considera a hipótese de ausência de efeitos de ineficiência técnica na fronteira de produção. O resultado indica que essa hipótese é rejeitada pelos dados, ou seja, deve-se considerar no modelo os efeitos de ineficiência técnica.

TABELA 3

Teste da razão de verossimilhança dos parâmetros da fronteira estocástica de produção

Teste	Hipótese nula	Valor de λ	Valor crítico	Decisão (nível de 5%)
1	$H_0: \beta_{tt} = \beta_{LK} = \beta_{LL} = \beta_{KK} = \beta_{Kt} = \beta_{Lt} = 0$	72,86	11,91	Rejeita H_0
2	$H_0: \gamma = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \dots = \delta_7 = 0$	290,54	13,40	Rejeita H_0
3	$H_0: \beta_{1f} = \beta_{2f} = \dots = \beta_{68f} = 0$	3.646,04	55,19	Rejeita H_0
4	$H_0: t = t^2 = t \ln K = t \ln L = 0$	104,09	8,76	Rejeita H_0
5	$H_0: t^2 = t \ln K = t \ln L = 0$	3.674,29	55,19	Rejeita H_0

Fonte: Resultados obtidos pelos autores.

Notas: λ : teste estatístico da razão de verossimilhança no qual $\lambda = -2\{\log[\text{verossimilhança}(H_0)] - \log[\text{verossimilhança}(H1)]\}$.

O teste 5 corresponde ao formato da translog proposta por Kneller e Stevens (2003) para experimentos envolvendo medidas de produtividade com dados agregados.

11. Para uma discussão mais detalhada sobre o tema, ver, por exemplo, Edwards (1998).

O terceiro teste examina a hipótese de efeitos comuns contra a de efeitos fixos. O resultado é favorável à estimação do modelo com efeitos fixos. Os efeitos fixos captam a ocorrência de grandes diferenças de produtividade entre os diferentes países da amostra. Por essa razão optou-se pela estimação do modelo com efeitos fixos por meio da inclusão de variáveis *dummies*.

O quarto teste verifica a hipótese de ocorrência ou não de progresso técnico no período analisado. O resultado do teste rejeita a hipótese nula de que não houve progresso técnico no período analisado, sendo, portanto, indispensável considerá-lo na estimação da fronteira de produção.

Os valores calculados para a série de VT, conforme a equação (5), encontram-se dispostos nas tabelas do anexo. A série VT constitui a variável dependente para a estimação das equações (6) e (7). Essa série servirá de base para testar as hipóteses de Romer (1990) e Nelson e Phelps (1966).

A estimação da equação (6) é realizada com dados em painel com o procedimento de erros-padrão Newey-West para os coeficientes estimados por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) com efeitos fixos, tendo-se como referência a especificação de Benhabib e Spiegel (1994). A escolha desse procedimento de estimação decorreu da identificação de heterocedasticidade e autocorrelação de primeira ordem painel. Os resultados são apresentados na tabela 4. Utilizou-se, também, o método de Mínimos Quadrados Generalizados Factível completo (MQGF), de forma a considerar a existência de heterocedasticidade e autocorrelação na estimação dos parâmetros. Desde que as estimativas dos parâmetros e suas significâncias estatísticas foram bastante semelhantes, optou-se pelo primeiro método.

TABELA 4

Estimativa dos efeitos do capital humano sobre o progresso técnico

Variáveis explicativas/ parâmetros	Amostra ampla	Países desenvolvidos	Países de renda média	Países pobres
	MQO	MQO	MQO	MQO
$h_{i,t}$	0.0152 (0.0009)	0.0078 (0.0007)	0.0181 (0.0014)	0.0227 (0.0057)
$h_{i,t} \cdot \left(\frac{y_{\max} - y_{i,t}}{y_{i,t}} \right)$	0.0019 (0.0002)	-0.0004* (0.0005)	0.0030 (0.0004)	0.0014 (0.0004)
ρ	0.2739	0.2188	0.3364	0.0816

Fonte: Resultados obtidos pelos autores.

Notas: O parâmetro ρ refere-se ao coeficiente de autocorrelação e seus valores foram estimados com a utilização do Método de Mínimos Quadrados Generalizados (MMQG).

* Não significativo nos níveis de significância usuais.

O coeficiente estimado da variável capital humano é positivo e significativo para o nível de significância de 5% em todas as amostras dos subgrupos de países

e para a amostra ampla conforme seus graus de desenvolvimento. Esse resultado indica, portanto, a importância do capital humano como um determinante do processo de geração de tecnologia. Neste sentido, a hipótese levantada por Romer (1990) é estatisticamente confirmada.

O componente que especifica o processo de difusão tecnológica e o efeito *catching-up* sugerido por Nelson e Phelps (1966) é significativo para o nível de 5% e afeta positivamente o progresso tecnológico na amostra ampla de países. Ou seja, há efetivamente um efeito positivo resultante da interação entre o capital humano e o grau do *gap* tecnológico entre os países que são líderes em tecnologia e os seus seguidores. Esse mesmo resultado se repete quando se consideram os subgrupos de países de renda média e pobre. Isoladamente, os países desenvolvidos não gozam desse benefício.

Benhabib e Spiegel (1994), utilizando regressões de corte transversal, obtêm esses mesmos resultados que parecem indicar que o componente de difusão e *catching-up* não apresentam importância para os países mais ricos. Deve-se ressaltar, no entanto, que no artigo desses autores a amostra dos países ricos pode estar fortemente condicionada pelo nível de renda inicial adotado, que tomou como base o ano de 1965. Assim sendo, os resultados dos dois experimentos não podem ser considerados estritamente comparáveis.

Em resumo, as estimativas realizadas mostram que o processo de inovação tecnológica é fortemente influenciado pelo estoque de capital humano em todos os grupos de países investigados, de acordo com o indicado por Romer (1990). Por sua vez, a difusão tecnológica e o efeito *catching-up*, sugeridos por Nelson e Phelps (1966), apresentam benefícios claros na direção dos países seguidores.

Uma hipótese complementar testada neste artigo relaciona-se com o processo de *catching-up* e que tem sido objeto de muita investigação empírica. Nos modelos de crescimento, baseados na tradição neoclássica, a atenção é toda dedicada às relações entre distribuição de renda, acumulação de capital e crescimento econômico. Como, por suposição, a tecnologia é considerada um bem público e, portanto, livremente disponível para os países que dela desejam fazer uso, nenhuma atenção é destacada nesses modelos ao papel desempenhado por ela nas suas relações com a distribuição de renda e o crescimento.

Para testar a hipótese de convergência absoluta, estimou-se a equação (7) com dados em painel com efeitos comuns, em intervalos de tempo de cinco anos, e com a adoção do procedimento de Newey-West, tendo como base o método de MQO. A tabela 5 apresenta as estimativas dos parâmetros da equação (7) com o objetivo de identificar a existência de processos de convergência absoluta. Neste caso, utiliza-se como variável dependente a taxa de variação no progresso técnico, obtida através da expressão (4). As regressões são em corte transversal e foram

realizadas usando-se painéis em intervalos de cinco anos no período 1960-1990 e nos subperíodos 1960-1975 e 1975-1990.

TABELA 5

Convergência absoluta do progresso técnico

Variáveis explicativas/parâmetros	Períodos		
	1960-1990	1960-1975	1975-1990
$\ln y_{i,0}$	-0.0068* (0.0052)	0.0086* (0.0061)	-0.0366** (0.0062)
Intercepto	0.0973 (0.0509)	-0.0785* (0.0595)	0.4149** (0.0623)

Fonte: Resultados obtidos pelos autores.

Notas: * Não significativo nos níveis de significância usuais.

** Significativo no nível de 1%.

Para o período integral da amostra, 1960-1990, o regressor estimado de $\ln y_{i,0}$ não foi significativo, enfraquecendo, portanto, a ideia de que o progresso técnico possa ter seguido um processo de *catching-up* automático. O mesmo resultado se repete para o subperíodo 1960-1975.

Já em relação a 1975-1990, para um nível de significância de 1%, efetivamente, há indicação de ocorrência de um processo de convergência da difusão tecnológica. Assim, os resultados sugerem que no último subperíodo, países com níveis de renda *per capita* inicial mais baixos foram beneficiados por um processo de *catching-up* em consequência, sobretudo, da difusão do progresso técnico.

4 CONCLUSÕES

A importância do capital humano como um fator estratégico para o crescimento econômico constitui uma tradição na literatura econômica. No entanto, ainda persistem as discussões sobre os canais pelos quais se exerce essa influência. Duas principais linhas de pesquisa, aparentemente antagônicas, predominam nos estudos empíricos.

Ambas situam-se no âmbito da teoria de crescimento endógeno, sendo que uma delas, iniciada por Lucas (1988), modela o capital humano na função de produção como qualquer outro insumo do processo produtivo. A outra abordagem, devida a Nelson e Phelps (1966), associa o processo de difusão tecnológica e *catch-up* à disponibilidade de capital humano. Dentro desta mesma linha de pensamento, Romer (1990) considera o capital humano como o elemento dinâmico e determinante do processo de inovação tecnológica.

De acordo com esta última abordagem, que é o objetivo central deste artigo, os resultados obtidos comprovam os efeitos proporcionados pelo capital humano

tanto no processo de inovação tecnológica como na difusão da tecnologia, a partir dos países mais desenvolvidos em benefício dos países menos desenvolvidos. Vale salientar que este resultado empírico não invalida a hipótese defendida por Lucas (1988) de que o capital humano deveria ser considerado como um fator de produção e, em assim sendo, o crescimento econômico seria explicado por sua acumulação.

Nesse sentido, as hipóteses de Romer (1990) e Nelson e Phelps (1966) sobre a influência do capital humano no progresso técnico se confirmam para o grupo de países analisados. Deve-se ressaltar, no entanto, que para os países mais desenvolvidos e, portanto, líderes em tecnologia, embora o capital humano impacte positivamente o progresso técnico a difusão tecnológica não beneficia esses países.

Deve-se enfatizar o condicionamento imposto pelo capital humano na efetivação dos dois processos, sendo esse aspecto bastante claro quando se utiliza como regressor a interação entre esse fator e a medida do *gap* tecnológico proposto por Nelson e Phelps (1966). As estimativas identificam que os países desenvolvidos não se beneficiam da difusão tecnológica. Na realidade, esse processo está fortemente presente naqueles países com capital humano revestido de qualidade e requisitos necessários ao processo de absorção de conhecimento e de novos padrões tecnológicos.

Por fim, analisou-se a ocorrência de convergência absoluta proporcionada pelo progresso técnico. No período integral da amostra, 1960-1990, e subperíodo 1960-1975 não se verifica convergência. Em relação ao subperíodo seguinte, 1975-1990, observa-se a ocorrência do efeito de *catching-up* dos países com níveis de renda *per capita* mais baixos em relação aos mais desenvolvidos, constituindo-se o progresso técnico como uma das prováveis explicações desse processo.

É importante destacar que a abordagem do *gap* tecnológico, em contraposição à ideia de que a tecnologia é um bem público, reconhece que, embora o processo tecnológico possa ter algumas características de bem público, ele está fortemente enraizado nas estruturas organizacionais e que a transferência de tecnologia constitui um processo bastante complexo e não se dá de forma automática. Além disso, fatores condicionantes locais, também de natureza institucional, dentre os quais se destaca a disponibilidade de capital humano, determinam a capacidade de absorção tecnológica e a velocidade com que é manifestada. Dessa forma, as diferenças nos padrões tecnológicos determinam forte influência nas diferenças dos níveis de renda *per capita* dos países.

ABSTRACT

According to the Schumpeterian approach, growth is explained by initial endowment of human capital since this influences the nation capability of innovating and of catching up the technology of leader nation. Nelson and Phelps (1966) describe growth as being driven by the stock of human capital which in turn affect a country's ability to innovate and catch up with more advanced countries. In Romer (1990)

approach, growth is driven by technological change that arises from intentional decisions made by profit-maximizing agents. Objective of this paper is to verify empirically in line with these two approaches the influence of the human capital on economic growth across its effects on technological diffusion and product growth. The empirical analysis is performed using the stochastic frontier approach and the output-oriented Malmquist. This index is decomposed into two components: technological progress and efficiency change. We use the technological progress component part of the Malmquist index to verify both Nelson-Phelps and Romer approaches.

REFERÊNCIAS

- BARRO, R. J.; LEE, J. W. International comparisons of educational attainment. *Journal of Monetary Economics*, v. 32, n. 3, p. 363-394, 1993.
- _____. International measures of schooling years and schooling quality. *American Economic Review, Papers and Proceedings*, v. 86, p. 218-223, 1996.
- _____. *International data on educational attainment: updates and implications*. Apr. 2000. 34 p. (CID Working Paper, n. 42).
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. A model for technical inefficiency effects in stochastic frontier production functions for panel data. *Empirical Economics*, v. 20, p. 325-332, 1995.
- BAUMOL, W. Productivity growth, convergence and welfare: what the long run data show. *American Economic Review*, v. 76, n. 5, p. 72-85, Dec. 1986.
- BECKER, G. S. *Human capital: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. Chicago: University of Chicago Press, 1964 (1993, 3. ed.).
- BENHABIB, J.; SPIEGEL, M. The role of human capital in economic development: evidence aggregate cross-country data. *Journal of Monetary Economics*, v. 34, p. 143-173, 1994.
- BITTENCOURT DA SILVA, A.; MARINHO, E. L. L. *Produtividade, crescimento econômico e dinâmica transicional: um estudo comparado para grupos de países*. CAEN, 2004. Mimeografado.
- CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. Multilateral comparisons of output, input and productivity using superlative index number. *Economic Journal*, v. 92, p. 73-86, 1982.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.
- DUFFY, J.; PAPAGEORGIOU, C. A cross-country empirical investigation of the aggregate production function specification. *Journal of Economic Growth*, v. 5, p. 87-120, 2000.
- EDWARDS, S. Openness, productivity and growth: what do we really know? *The Economic Journal*, v. 108, p. 383-398, Mar. 1998.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LINDGREN, B.; ROOS, P. Productivity changes in Swedish pharmacies 1980-1989: a non-parametric Malmquist approach. *Journal of Productivity Analysis*, v. 3, p. 85-101, 1992.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of Royal Statistical Society, series A, CXX*, part 3, p. 253-290, 1957.
- FERREIRA, P. C.; ISSLER, J. V.; PESSÔA, S. A. Testing production functions used in empirical growth studies. *Economics Letters*, v. 83, p. 29-35, 2004.

GRIFELL-TATJÉ, E.; LOVELL, C. A. A note on the Malmquist productivity index. *Economics Letters*, v. 47, p. 169-175, 1995.

HESTON, A.; SUMMERS, R.; ATEN, B. *Penn World Table Version 6.1*. Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP), Oct. 2002.

KLEIN, P. G.; LUU, H. *Politics and productivity*. Merrill Lynch Capital Markets Bank Ltd., 2001.

KNELLER, R.; STEVENS, P. A. The specification of the aggregate production function in the presence of inefficiency. *Economic Letters*, v. 81, p. 223-226, 2003.

KODE, D. A.; PALM, F. C. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. *Econometrica*, Notes and Comments, v. 54, n. 5, p. 1.243-1.248, 1986.

KOOP, G.; OSIEWALSKI, J.; STEEL, M. F. J. The components of output growth: a stochastic frontier analysis. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, v. 61, n. 4, p. 455-487, Nov. 1999.

KUMBHAKAR, S. C.; WANG, H. Estimation of growth convergence using a stochastic production frontier approach. *Economics Letters*, v. 88, n. 3, p. 300-305, Sep. 2005.

LUCAS, R. E. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, v. 22, p. 3-42, 1988.

MALMQUÏST, S. Index number and indifference curves. *Trabajos de Estadística*, v. 4, n.1, p. 209-242, 1953.

MILLER, S.; UPADHYAY, M. P. The effects of openness, trade orientation, and human capital on total factor productivity. *Journal of Development Economics*, v. 63, p. 399-423, 2000.

NELSON, R.; PHELPS, E. Investment in humans, technological diffusion and economic growth. *American Economic Review, Paper and Proceedings*, v. 56, n. 2, p. 69-75, 1966.

PSACHAROPOULOS, G. Returns to investment in education: a global update. *World Development*, v. 22, p. 1. 235-1.343, 1994.

_____. *The profitability of investment in education: concepts and methods*. Washington, D.C.: World Bank, 1995 (Working Paper).

ROMER, P. Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, v. 94, p. 1.002-1.037, 1986.

_____. Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, v. 98, part 2, p. 71-102, 1990.

SCHULTZ, T. *The economic value of education*. New York: Columbia University Press, 1963.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, v. 70, n. 1, p. 65-94, Feb. 1956.

_____. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economic and Statistics*, v. 39, p. 312-320, 1957.

TASKIN, F.; ZAIM, O. Catching-up and innovation in high-and-low-income countries. *Economic Letters*, v. 54, p. 93-100, 1997.

(Originais submetidos em agosto de 2007. Última versão recebida em setembro de 2009. Aprovado em outubro de 2009.)

ANEXO A
TABELA A.1
Varição técnica dos países desenvolvidos: decomposição do índice de produtividade de Malmquist – 1960-1990
 (1960 = 1,00)

Anos	Países																						
	AUS	AUT	BEL	CAN	CHE	DNK	ESP	FIN	FRA	GBR	IRL	ISL	ITA	JPN	NLD	NOR	NZL	PRT	SWE	USA	HKG	SGP	
1960	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1961	1,026	1,001	0,973	1,005	0,952	1,003	0,933	0,971	1,005	1,004	0,965	0,996	1,034	0,957	0,979	1,018	0,984	0,997	0,978	0,999	0,986	0,964	1,000
1962	0,976	1,018	0,983	0,961	1,001	1,003	0,967	1,011	0,997	1,006	1,031	1,009	0,980	0,966	1,007	0,996	1,001	1,002	0,979	1,002	0,971	0,938	0,883
1963	0,987	1,009	0,984	0,983	1,005	1,012	0,984	0,992	1,005	1,001	0,974	1,005	0,945	0,984	1,000	1,010	0,994	0,998	0,981	1,001	0,982	0,909	0,982
1964	0,992	0,999	0,972	0,975	1,003	0,995	1,004	0,984	1,000	0,999	0,992	1,006	0,987	1,010	0,992	0,988	0,996	1,001	0,987	1,000	0,975	0,950	0,973
1965	1,009	1,013	0,997	0,992	1,004	1,003	1,002	0,987	1,005	1,003	0,996	1,017	1,002	0,998	1,021	1,003	0,996	1,003	0,982	1,003	0,979	0,934	1,135
1966	0,997	0,999	1,004	0,994	1,008	1,008	1,000	1,010	1,005	1,007	1,008	1,023	1,001	0,970	0,992	1,011	0,998	1,003	0,993	1,004	0,991	0,972	1,001
1967	1,003	1,011	0,995	1,008	1,005	1,004	1,008	1,008	1,004	1,005	1,008	0,993	1,011	0,963	0,998	1,001	0,998	1,005	0,986	1,003	0,996	0,998	0,994
1968	0,994	1,006	0,994	0,999	1,009	1,007	1,003	1,017	1,006	0,999	0,999	0,995	1,091	0,970	1,000	0,998	1,003	1,005	0,990	1,003	0,992	0,986	0,988
1969	1,003	0,998	0,984	1,001	1,001	0,997	0,996	0,935	0,996	1,001	0,994	1,001	1,026	0,984	1,002	0,999	0,998	0,984	1,004	1,000	0,996	0,963	0,996
1970	1,004	0,998	0,990	1,009	0,994	1,009	1,007	0,985	1,003	1,005	1,002	1,010	0,980	0,993	1,003	0,999	1,003	1,008	0,999	1,001	1,000	0,964	1,005
1971	1,005	1,003	0,999	0,997	1,000	1,006	1,003	1,007	1,005	1,004	1,002	1,008	0,923	1,005	1,007	1,003	0,995	1,000	1,002	1,004	0,990	0,970	1,007
1972	1,005	1,000	1,000	1,002	1,003	0,999	0,998	0,983	1,002	0,993	1,001	0,997	1,005	0,998	1,004	1,006	1,000	1,001	1,002	1,003	0,991	0,972	1,004
1973	0,999	1,003	0,994	0,998	1,005	1,007	1,002	0,993	0,999	0,988	1,003	1,001	0,988	0,986	1,004	0,999	0,999	1,000	1,003	1,002	0,995	0,966	1,005
1974	1,015	1,006	1,003	1,005	1,006	1,044	1,002	1,002	1,007	1,023	1,031	1,005	1,001	0,991	1,030	1,003	1,001	1,003	1,003	1,001	1,003	1,006	1,009

(continua)

(continuação)

Anos	Países																						
	AUS	AUT	BEL	CAN	CHE	DNK	ESP	FIN	FRA	GBR	GRC	IRL	ISL	ITA	JPN	NLD	NOR	NZL	PRT	SWE	USA	HKG	SGP
1975	1,020	1,021	1,020	1,009	1,058	1,065	1,012	1,007	1,037	1,030	0,996	0,999	1,024	1,032	1,037	1,029	1,002	1,008	1,011	1,005	1,012	1,019	1,017
1976	0,998	0,998	0,995	1,004	1,105	0,960	1,008	1,031	1,000	0,998	0,994	1,023	1,005	0,981	1,021	0,996	1,001	1,008	0,988	1,011	0,987	0,956	1,009
1977	1,030	1,000	1,012	1,009	1,034	1,037	1,013	1,023	1,000	0,999	1,017	0,979	0,970	1,006	1,010	1,013	1,003	1,035	0,998	1,020	0,999	0,981	1,008
1978	0,996	1,026	1,009	1,007	1,023	1,018	1,022	1,016	1,022	1,001	0,994	0,998	1,002	0,997	1,010	1,009	1,005	1,019	1,006	1,011	1,000	0,998	0,999
1979	1,017	0,990	1,009	1,004	1,007	1,009	1,033	0,960	0,985	1,010	1,010	1,008	1,008	0,997	1,009	1,015	1,001	1,015	1,000	1,001	1,003	0,997	0,993
1980	1,011	1,011	0,992	1,016	0,992	1,059	1,017	0,994	1,013	1,044	1,030	1,008	0,997	1,001	1,025	1,023	1,002	1,017	1,005	1,011	1,008	1,000	0,998
1981	1,006	1,034	1,027	1,008	0,992	1,069	1,046	1,008	1,021	1,049	1,059	1,009	1,008	1,010	1,023	1,044	1,008	1,002	1,008	1,024	1,005	1,002	1,001
1982	1,064	1,013	1,025	1,082	1,046	1,012	1,018	1,004	1,014	1,013	1,054	1,009	1,015	1,009	1,023	1,049	1,011	1,000	1,010	1,016	1,024	1,005	1,003
1983	0,996	1,005	1,028	1,016	1,039	1,024	1,029	1,008	1,015	0,995	1,056	1,040	1,065	1,011	1,033	1,033	1,002	1,015	1,018	1,014	0,998	0,999	1,002
1984	1,007	1,032	1,005	0,981	1,016	1,007	1,030	0,999	1,006	1,016	1,037	0,990	0,999	1,002	1,013	1,006	1,001	1,003	1,028	1,003	0,997	0,997	0,999
1985	1,007	1,007	1,013	1,000	1,002	1,010	1,022	1,004	1,024	0,999	1,019	1,008	1,017	1,003	1,014	1,017	1,003	1,021	1,006	1,015	1,006	1,009	1,045
1986	1,015	1,016	1,013	1,024	1,011	1,002	1,014	1,008	1,025	1,001	1,040	1,043	0,997	1,007	1,023	1,018	1,004	1,017	1,004	1,011	1,006	0,991	1,014
1987	1,002	1,017	1,008	1,000	1,019	1,059	0,996	1,002	0,996	1,003	1,082	0,993	0,996	1,004	1,003	1,018	1,006	1,022	0,998	1,011	1,004	0,999	0,982
1988	1,005	0,993	1,002	1,001	1,022	1,020	0,989	1,001	1,000	0,996	1,004	0,997	1,019	0,999	0,995	1,017	1,008	1,028	0,995	1,010	1,004	1,004	0,979
1989	1,005	0,996	1,005	1,014	0,998	1,049	1,007	1,001	1,009	1,011	1,026	0,999	1,029	1,004	0,996	1,006	1,008	1,029	1,004	1,010	1,005	1,005	0,985
1990	1,033	1,003	1,006	1,055	0,981	1,040	1,006	1,006	1,009	1,023	1,058	0,999	1,030	1,005	1,003	1,010	1,008	1,029	1,006	1,012	1,006	1,004	0,991

Fonte: Resultados obtidos pelos autores.

(continuação)

Anos	Países																											
	TUR	FJI	KOR	MYS	PNG	PHL	TWN	THA	LKA	MUS	ZAF	ARG	BOL	BRA	CHL	COL	CRI	DOM	ECU	SLV	GTM	JAM	MEX	PRY	PER	TTO	URY	VEN
1975	1,006	1,021	1,034	1,061	1,079	1,021	1,024	0,992	1,027	0,990	1,023	1,025	0,998	1,009	1,203	1,008	1,017	1,017	1,003	1,040	1,011	1,066	1,015	1,008	1,005	1,026	0,993	1,007
1976	1,003	1,014	0,997	0,987	1,107	1,003	0,948	0,967	1,039	0,842	1,026	1,053	0,991	0,999	1,015	1,005	1,017	1,017	1,003	1,010	1,009	1,091	1,017	1,027	1,013	0,987	1,008	0,980
1977	1,011	1,009	1,000	1,007	1,102	1,019	0,975	0,961	1,034	0,965	1,046	0,978	1,000	1,010	0,972	1,001	1,014	1,014	1,002	1,028	0,999	1,053	1,036	0,978	1,021	1,009	1,017	0,991
1978	1,022	1,022	1,011	1,016	1,007	1,023	0,948	0,968	1,037	0,998	1,040	1,079	1,021	1,022	0,976	0,995	1,018	1,018	1,007	1,022	1,006	1,047	0,995	0,985	1,075	0,989	0,996	1,009
1979	1,037	0,996	1,016	1,008	1,089	1,025	1,003	1,012	1,051	0,999	1,033	0,958	1,031	1,005	0,979	1,005	1,010	1,010	1,009	1,112	0,998	1,061	0,999	0,982	1,030	1,007	0,993	1,006
1980	1,052	1,028	1,133	0,999	1,134	1,028	1,002	1,013	1,053	1,078	0,998	1,005	1,051	1,001	1,010	1,007	1,018	1,018	1,011	1,201	1,004	1,116	1,001	1,022	1,014	1,012	1,000	1,075
1981	1,003	1,016	1,031	1,015	1,104	1,048	1,010	0,997	1,025	1,002	1,015	1,092	1,043	1,079	1,009	1,014	1,010	1,010	1,022	1,180	1,024	1,060	1,001	0,998	0,978	0,980	1,015	1,036
1982	1,022	1,052	1,011	1,033	1,116	1,050	1,027	1,025	1,025	0,950	1,042	1,136	1,087	1,060	1,122	1,026	1,029	1,029	1,036	1,150	1,051	1,075	1,052	1,078	1,054	0,986	1,124	1,068
1983	1,015	1,049	0,993	1,021	1,078	1,071	0,988	1,009	1,009	1,037	1,066	1,005	1,110	1,102	1,106	1,030	1,058	1,058	1,103	1,069	1,057	1,059	1,111	1,078	1,180	1,076	1,168	1,030
1984	1,012	1,006	1,012	1,009	1,080	1,156	0,970	1,011	1,069	1,002	1,019	1,017	1,063	1,023	0,999	1,025	1,062	1,062	1,048	1,083	1,062	1,073	1,031	1,089	1,025	0,969	1,053	1,053
1985	1,019	1,063	1,030	1,086	1,023	1,135	1,017	1,028	1,012	0,987	1,071	1,111	1,089	0,998	1,030	1,017	1,061	1,061	1,040	1,077	1,066	1,098	1,054	1,040	1,038	1,148	1,027	1,048
1986	1,012	1,034	0,981	1,075	1,066	1,066	0,967	1,021	1,063	0,980	1,075	0,984	1,115	1,011	1,023	1,010	1,044	1,044	1,052	1,100	1,049	1,072	1,107	1,072	0,958	1,092	0,947	0,995
1987	1,005	1,070	0,992	1,026	1,090	1,040	0,988	1,001	1,075	0,995	1,048	1,024	1,059	1,036	1,026	1,012	1,081	1,081	1,127	1,073	1,063	0,999	1,058	1,044	0,980	1,042	0,960	1,018
1988	1,037	1,057	0,989	0,991	1,136	1,024	1,004	0,991	1,056	1,006	1,051	1,118	1,064	1,070	1,017	1,021	1,030	1,030	0,990	1,098	1,037	1,083	1,103	0,999	1,163	1,063	1,058	1,022
1989	1,048	0,989	1,018	0,983	1,087	1,049	1,004	1,004	1,056	1,004	1,054	1,163	1,050	1,052	0,982	1,023	1,084	1,084	1,080	1,121	1,051	1,056	1,045	0,992	1,244	1,066	1,041	1,115
1990	1,008	1,052	1,000	0,995	1,141	1,072	1,006	1,003	1,049	1,006	1,068	1,111	1,066	1,124	1,043	1,024	1,097	1,097	1,063	1,102	1,054	1,039	1,037	1,053	1,122	1,099	1,055	1,009

Fonte: Resultados obtidos pelos autores.

TABELA A.3
Varição técnica dos países pobres: decomposição do índice de produtividade de Malmquist – 1960-1990
 (1960 = 1,00)

Anos	Países																
	IDN	BGD	PAK	CMR	CAF	GHA	KEN	LSO	MWI	MLI	TGO	UGA	ZMB	ZWE	HND	NIC	IND
1960	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1961	0,981	0,970	0,944	1,001	1,000	0,891	1,000	0,982	0,964	1,001	0,906	1,019	0,992	0,873	0,995	0,972	0,949
1962	1,025	0,906	0,930	0,997	1,007	0,854	0,888	0,910	0,997	1,003	1,008	0,966	1,103	0,971	0,998	0,950	0,967
1963	1,049	0,944	0,925	0,999	1,023	1,044	0,935	0,967	1,044	0,986	0,968	0,998	0,943	0,929	1,019	0,990	0,941
1964	0,995	0,969	0,902	1,000	0,985	0,910	0,920	0,991	0,952	1,102	1,024	0,994	0,879	0,881	0,985	0,995	0,956
1965	1,046	0,966	0,923	1,006	1,020	1,233	0,968	1,009	0,975	0,927	0,943	0,986	1,049	0,861	0,952	0,998	1,011
1966	0,992	0,950	0,883	0,999	1,017	0,818	0,884	1,027	0,995	0,991	0,927	0,986	1,114	0,848	0,997	1,011	1,016
1967	1,034	1,013	0,965	1,134	1,057	0,999	0,967	0,975	1,002	0,976	0,979	1,013	0,995	0,925	1,011	1,001	0,938
1968	0,945	0,924	0,940	0,952	0,954	0,903	0,988	1,042	1,061	0,952	1,002	1,009	1,063	1,048	0,984	1,015	0,961
1969	0,987	0,953	0,908	0,993	1,001	0,986	0,938	1,047	1,010	0,992	1,003	0,996	1,066	0,764	1,031	1,000	0,947
1970	0,995	0,921	0,937	1,016	1,017	0,885	1,093	1,045	1,133	0,934	1,010	1,029	1,069	0,812	1,018	1,031	1,004
1971	1,000	1,015	0,985	0,993	1,037	0,924	0,805	1,012	0,866	0,963	1,219	0,983	1,051	0,930	0,961	1,027	1,005
1972	1,002	1,087	0,942	1,035	1,053	0,994	0,890	1,067	1,053	0,968	0,975	1,047	0,996	0,867	0,993	1,021	1,021
1973	0,988	1,011	0,936	1,020	1,024	1,027	0,996	0,903	0,967	1,017	1,006	1,072	1,085	1,019	1,012	1,061	1,009
1974	1,011	0,867	1,006	0,961	1,108	1,032	0,958	0,999	1,044	1,005	1,003	1,058	1,039	0,968	1,108	0,960	1,033

(continua)

(continuação)

Anos	Países																
	IDN	BGD	PAK	CMR	CAF	GHA	KEN	LSO	MWI	MLI	TGO	UGA	ZMB	ZWE	HND	NIC	IND
1975	1,006	1,005	0,963	0,950	1,085	1,145	1,015	1,160	1,083	0,929	1,160	1,046	1,104	0,910	0,997	1,022	0,955
1976	1,018	0,962	0,977	1,129	1,029	1,064	1,027	1,067	1,009	0,907	0,948	1,079	0,987	0,915	0,974	1,014	1,013
1977	1,003	1,013	0,998	0,939	1,063	1,066	0,968	0,986	1,042	0,998	1,190	1,074	1,150	1,072	1,029	1,034	0,989
1978	1,005	0,970	0,955	0,937	1,018	0,913	0,983	0,918	1,066	1,039	1,118	1,131	1,092	1,016	0,992	1,087	1,001
1979	1,015	0,966	1,024	1,011	1,070	1,046	0,960	1,107	1,023	0,958	1,029	1,347	1,127	0,982	1,008	1,377	1,079
1980	1,007	1,043	0,943	1,121	1,135	1,079	1,010	1,150	1,136	1,078	0,870	1,099	1,081	0,895	1,058	1,103	0,996
1981	1,007	0,935	0,948	0,947	1,119	1,064	1,017	1,123	1,119	1,097	1,114	0,787	1,026	0,963	1,010	1,070	1,008
1982	1,060	0,997	0,988	1,005	1,081	1,048	1,015	1,114	1,091	1,090	1,074	1,043	1,161	1,006	1,038	1,043	1,002
1983	1,024	0,984	0,976	1,045	1,236	1,121	1,032	1,106	1,095	0,987	1,140	1,050	1,158	1,006	1,098	1,026	0,997
1984	1,023	1,001	0,998	1,033	1,018	0,995	1,022	1,151	1,059	1,008	1,012	1,096	1,120	1,023	1,075	1,079	1,026
1985	1,053	1,010	1,002	1,026	1,062	1,027	1,039	1,100	1,124	1,072	1,074	1,144	1,137	0,993	1,040	1,134	1,012
1986	1,044	1,005	0,999	0,997	1,076	1,041	0,977	1,073	1,108	1,147	1,129	1,143	1,130	1,010	1,073	1,084	1,013
1987	1,053	1,012	0,999	1,100	1,141	1,054	1,013	1,097	1,133	1,066	1,124	1,098	1,146	1,025	1,047	1,110	1,020
1988	1,033	1,014	1,004	1,190	1,104	1,028	1,006	1,070	1,126	1,049	1,036	1,102	1,098	0,994	1,081	1,328	1,006
1989	1,015	1,015	1,004	1,159	1,108	1,042	1,025	1,156	1,130	0,959	1,060	1,105	1,143	0,992	1,044	1,142	1,009
1990	1,016	1,005	1,012	1,162	1,132	1,066	1,025	1,201	1,103	1,128	1,166	1,057	1,136	1,002	1,118	1,073	1,016

Fonte: Resultados obtidos pelos autores.