# TERMO DE APROVAÇÃO

CARLOS EDUARDO FRÖHLICH

O HIATO TECNOLÓGICO ENTRE A ECONOMIA BRASILEIRA E A NORTE-
-AMERICANA NO PERÍODO 1982-2003: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Trabalho aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Luciano Nakabashi

Orientador: Prof. Dr. Luciano Nakabashi
Departamento de Economia, UFPR

Prof. Dr. Fabio Doria Scatolin
Departamento de Economia, UFPR

Prof. Marcio José Vargas da Cruz
Departamento de Economia, UFPR

Curitiba, 7 de dezembro de 2009

**O hiato tecnológico entre a economia brasileira e a norte-americana no período 1982-2003: evidências empíricas**

FRÖHLICH*, C. E.

Acadêmico de Graduação em Ciências Econômicas, UFPR

**RESUMO** – O modelo de crescimento de Solow e o modelo de difusão tecnológica de Nelson e Phelps foram empregados no estudo do potencial de crescimento do produto *per capita* da economia brasileira no período 1982-2003. Para essa investigação, obtivemos as séries históricas relevantes para a estimativa do avanço do progresso tecnológico das economias brasileira e norte-americana no referido período. Munido dessas estimativas, obtivemos uma aproximação do hiato tecnológico entre as duas economias no período estudado. Concluímos que o aumento desse hiato prejudicou o desempenho da economia brasileira no período estudado neste trabalho, tanto pela decorrente limitação do crescimento da renda *per capita* no longo prazo quanto pela restrição à difusão de tecnologias disponíveis aos inovadores do país.

Palavras-chave: Hiato tecnológico. Crescimento da renda *per capita*. Difusão tecnológica.

## 1 INTRODUÇÃO

No artigo *Technical Change and the Aggregate Production Function*, de 1956, Robert Solow apresentou um modelo que buscava explicar o crescimento do produto de uma economia no longo prazo. Um dos pontos de partida do modelo foi o pressuposto de que, num dado instante do tempo, a quantidade produzida por uma comunidade é determinada pela quantidade de capital por ela utilizada, pelo estoque de mão-de-obra empregada no processo de produção e, como será enfatizado neste trabalho, pela tecnologia incorporada no processo produtivo desta comunidade, representada no modelo por uma função de produção.

Esse modelo, denominado pela literatura por "modelo de Solow" ou, ocasionalmente, "modelo de Solow-Swan", trouxe consigo um grande número de implicações teóricas, entre as quais está o fato de a economia por ele descrita se aproximar, no longo prazo, de um estado estacionário. Ademais, uma vez atingido o estado estacionário, a taxa de crescimento do produto *per capita* depende apenas da taxa de crescimento do progresso tecnológico, tomada pelo modelo como variável exógena. Em particular, no estado estacionário o crescimento do produto

* *E-mail*: carlos.e.frohlich@gmail.com

*per capita* é completamente independente da parcela do produto poupada e também da taxa de crescimento de sua população (MANKIW, 1995, p. 276-277).

Em um dos modelos de difusão tecnológica[1] descritos em *Investment in Humans, Technological Diffusion and Economic Growth*, Richard Nelson e Edmund Phelps (1966) apresentam uma noção endógena do progresso tecnológico para os países que não estão na fronteira tecnológica. O crescimento do nível médio de tecnologia incorporada no processo produtivo de uma economia, argumentam, é determinado pelo nível educacional atingido pelos seus membros, e pelo hiato entre a tecnologia já incorporada na produção e a fronteira tecnológica, i.e., o conjunto de técnicas já existentes e disponíveis àqueles em posição de inovar.

Utilizando como base teórica os modelos citados acima, no presente trabalho é realizada uma análise do potencial de crescimento do produto *per capita* da economia brasileira. Para tanto, buscaremos uma aproximação do comportamento do hiato entre a tecnologia efetivamente incorporada pelo nosso processo produtivo e o estoque de tecnologia disponível aos nossos inovadores em potencial, ao longo do período 1982-2003.

Este trabalho está dividido em cinco seções, incluindo esta intrudução. Na segunda seção, apresentamos uma revisão das implicações teóricas dos modelos de Solow e de Nelson-Phelps mais relevantes para o escopo deste trabalho. Na seção seguinte, é apresentada a metodologia e fonte dos dados necessários para a análise do hiato tecnológico aqui abordado. A seção 4 apresenta os resultados obtidos, que são recapitulados na última seção, referente às conclusões do trabalho.

## 2 OS MODELOS DE SOLOW E DE NELSON-PHELPS

Para os fins deste trabalho, é necessária uma descrição do comportamento de certas variáveis-chave das economias brasileira e norte-americana no período 1982-2003. Em particular, estaremos interessados no comportamento do hiato entre o nível de tecnologia adotada pela economia brasileira e o nível de tecnologia à disposição dos países em posição inovar, e nas consequências desse hiato sobre a variação do próprio nível de tecnologia vigente na produção da economia brasileira. Para tanto, usaremos o modelo de Nelson-Phelps, descrito nesta seção.

[1] Deste ponto em diante, aludiremos a tal modelo com a expressão "modelo de Nelson-Phelps".

Antes, entretanto, trataremos de estabelecer os desdobramentos do crescimento do progresso tecnológico sobre o nível de renda *per capita* no longo prazo. Para isso, apresentaremos o modelo de Solow.

## 2.1 O MODELO DE CRESCIMENTO DE SOLOW

A exposição do modelo de Solow, abaixo, busca discorrer sobre os seus pontos mais relevantes para este trabalho, com base na descrição de Solow (1956) e Romer (2001).

Assumimos a existência de uma economia que produz apenas um produto, cuja quantidade produzida no instante $t$ é dada por $Y(t)$. Além de $Y(t)$, o modelo de Solow se concentra no estoque de capital desta economia ($K(t)$), sua mão-de-obra ($L(t)$) e sua efetividade do trabalho ($A(t)$). A interdependência dessas variáveis é descrita pela especificação abaixo, conhecida como função de produção.

$$Y(t) = F\big(K(t), A(t)L(t)\big) \quad (1)$$

Em palavras, queremos dizer que o produto depende do estoque de capital ($K(t)$) e de mão-de-obra efetiva ($A(t)L(t)$), e que $K$, $A$ e $L$ podem variar com o tempo. Note que a efetividade do trabalho permite que o nível de produção agregada seja alterado sem que haja mudança no estoque de capital ou de mão-de-obra empregados. Além disso, interpretaremos a efetividade do trabalho segundo Nelson e Phelps (1966, p. 71), em que $A(t)$ representa o nível de tecnologia incorporado aos fluxos de capital e mão-de-obra e efetivamente empregada na produção, de modo que possamos falar em tecnologias diferentes em economias diferentes.

Adicionalmente, assumiremos três pressupostos sobre a função de produção.

1) Pressuporemos a existência de retornos constantes de escala para essa a função de produção, i.e., $cY(t) = F(cK(t), cA(t)L(t))$, onde $c \geq 0$. Em particular, isso significa que, caso as quantidades de capital e de mão-de-obra efetiva dobrem, a quantidade do produto também dobrará.

Segundo Romer (2001, p. 10), o pressuposto da existência de retornos constantes de escala para uma função de produção significa assumir uma combinação de dois fatos separados.

Em primeiro lugar, tudo se passa como se a economia fosse grande o suficiente para que todos os ganhos de especialização tivessem sido realizados. Se não fosse esse o caso, um aumento do estoque de capital e da mão-de-obra poderia permitir que a divisão do trabalho levasse a uma elevação mais do que proporcional do produto.

Em segundo lugar, estamos assumindo que recursos diferentes de capital e de mão-de-obra não são limitantes ao crescimento econômico. Se o fossem, dobrar o capital e a mão-de-obra poderia causar um aumento proporcionalmente menor do produto. Entretanto, o fato de a disponibilidade de recursos naturais não ser um limitante ao crescimento econômico sugere que a especificação aqui adotada seja uma boa aproximação (Romer, 2001, p. 10)

A pressuposição de retornos constantes de escala nos permite trabalhar com a função de produção em sua *forma intensiva*. De fato, como $F(K/AL, 1) = (1/AL)F(K, AL)$, definindo $k = K/AL$, $y = Y/AL$ e $f(k) = F(k, 1)$, podemos afirmar que

$$y = f(k) \quad (2)$$

Uma das vantagens de se trabalhar com essa forma é que, adotando-a, pode-se mostrar que o produto marginal do capital, $\partial F(K, AL)/\partial K$, é igual a (usando-se a regra da cadeia) $ALf^{'}(K/AL)(1/AL) = f^{'}(k)$.

2) Assumiremos que, em sua forma intensiva $y = f(k)$, a função de produção satisfaz as condições de Inada, i.e., $\lim_{k\to 0} f'(k) = \infty$ e $\lim_{k\to\infty} f'(k) = 0$. De acordo com essas condições, o produto marginal do capital, dado por (2), é infinitamente grande quando o estoque de capital por unidade de mão-de-obra efetiva é arbitrariamente pequeno, e que esse mesmo produto marginal do capital se aproxima de zero à medida que o estoque de capital por unidade de mão-de-obra efetiva se torna arbitrariamente grande. Adotamos as condições de Inada por serem condições suficientes para a existência de um *estado estacionário* da economia

representada por uma função de produção que as satisfazem, como veremos a seguir.

3) Em último lugar, trataremos o estoque de mão-de-obra e a efetividade do trabalho como variáveis exógenas que crescem a taxas constantes, definidas por $(dL/dt)/L = n$ e $(dA/dt)/A = g$ (note que $n$ e $g$ são as taxas de crescimento das variáveis $L$ e $A$, respectivamente). Ademais, fixaremos a taxa de depreciação do capital existente em $\delta$, e a proporção do produto que é investido e, portanto, não consumido, em $s$, de modo que o estoque de capital da economia varie conforme a equação abaixo.

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t) \quad (3)$$[2]

Com esses pressupostos, derivamos a expressão considerada a equação-chave do modelo de Solow (Romer, 2001, p. 14-15). De fato, como $k(t) = K(t)/A(t)L(t)$, usamos a regra da cadeia para mostrar que

$$\dot{k}(t) = \frac{\dot{K}(t)}{A(t)L(t)} - \frac{K(t)}{A(t)L(t)}\frac{\dot{L}(t)}{L(t)} - \frac{K(t)}{A(t)L(t)}\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} \quad (4)$$

Substituindo $(dL/dt)/L = n$ e $(dA/dt)/A = g$, e observando que $y = Y/AL$ e $dK/dt = sY(t) - \delta K(t)$, chegamos à equação abaixo.

$$\dot{k}(t) = sf\big(k(t)\big) - (n + g + \delta)k(t) \quad (5)$$

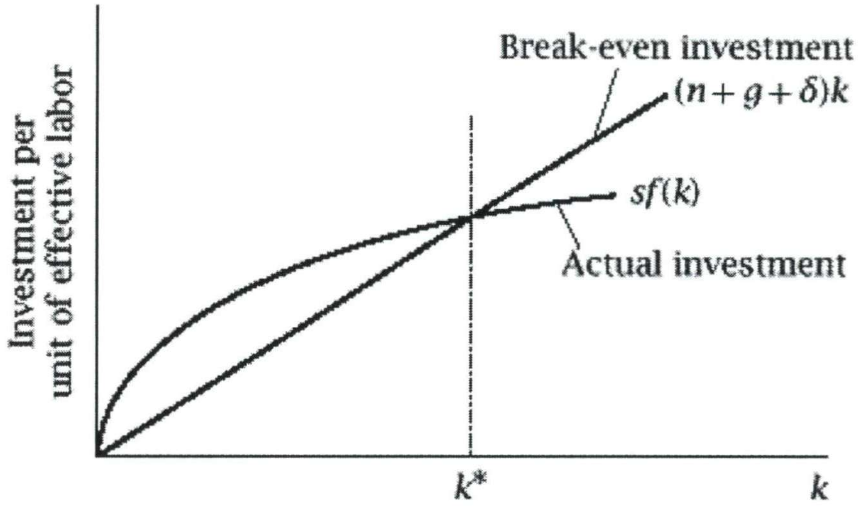
Essa equação significa que o estoque de capital por trabalhador efetivo está aumentando sempre que $sf\big(k(t)\big) > (n + g + \delta)k(t)$, e diminuindo sempre que $sf\big(k(t)\big) < (n + g + \delta)k(t)$. Notemos que $sf\big(k(t)\big)$ representa a parcela do produto por trabalhador que é investida ao invés de consumida, e que $(n + g + \delta)k(t)$ representa o investimento necessário para que a relação capital-trabalhador efetivo permaneça constante.

---

[2] Nesta equação, e nas demais apresentadas neste trabalho, um ponto sobre uma variável indica a sua variável em relação ao tempo, i.e., $\dot{X}(t) = dX(t)/dt$.

Na medida em que $(n+g+\delta)k(t)$ é uma função linear de $k$, e que a função $y=f(k)$ (e portanto $sy=sf(k)$) satisfaz as condições de Inada, podemos representar a parcela do produto por trabalhador efetivo e o investimento necessário para que a relação capital-trabalhador efetivo permaneça constante como a seguir.

FIGURA 1 – O ESTADO ESTACIONÁRIO DO MODELO DE SOLOW




Fonte: Romer (2001)

O ponto em que $k=k^*$ e $sf(k)=sf(k^*)$ representa o *estado estacionário* para o qual a economia converge no longo prazo. Note que, válida a equação (5), no estado estacionário o estoque de capital por unidade efetiva de mão-de-obra não varia.

Mankiw (1995, p. 277) apresenta cinco implicações do modelo apresentado anteriormente. Para os propósitos deste trabalho, nos concentraremos em duas delas:

1) No longo prazo, a economia converge para um estado estacionário, independentemente de condições iniciais.

2) No estado estacionário, a taxa de crescimento da renda *per capita* depende somente da taxa de crescimento do progresso tecnológico, e não da taxa de crescimento populacional ou da parcela do produto que é investida.

Em outras palavras, a primeira implicação citada acima nos diz que toda economia descrita pelo modelo de Solow, independentemete do nível de capital por unidade efetiva de mão-de-obra, gravita em direção a um estado estacionário, enquanto que a segunda indica que, uma vez alcançado o estado estacionário, a única esperança de se aumentar permanentemente a taxa de crescimento da renda per capita da população é via progresso tecnológico.

Na medida em que nossa investigação nos leva a uma absoluta importância do progresso tecnológico no longo prazo, nos concentraremos na sua difusão.

## 2.2 O PAPEL DA EDUCAÇÃO FORMAL NA DIFUSÃO DO PROGRESSO TÉCNICO E O MODELO DE NELSON-PHELPS

Em trabalho de 1966, Richard Nelson e Edmund Phelps sugerem que, por trás do princípio de que certos tipos de educação equipam indivíduos para realizar certas tarefas ou funções, está a teoria de que esses tipos de educação aumentam a habilidade individual de receber, decodificar e compreender informações, e que o processamento de informações é importante para realizar, ou aprender a realizar, vários tipos de trabalho (NELSON; PHELPS, 1966, p. 69).

> Ao aplicar este princípio, achamos frutífero ordenar trabalhos ou funções de acordo com o grau com o qual requerem adaptação à mudança ou requerem aprendizado sobre a realização da tarefa. No sopé dessa escala estão funções que são altamente rotinizadas. [...] Mas, provavelmente, a educação é particularmente importante àquelas funções que requerem adaptação à mudança. Aqui, torna-se necessário aprender a seguir e a compreender novos desenvolvimentos tecnológicos. (NELSON; PHELPS, 1966, p. 69).

Baseado nesses princípios, os autores propõem dois modelos de difusão tecnológica e crescimento econômico baseado em dois pressupostos: 1) O gerenciamento da produção é uma função que requer adaptação à mudança (i.e., está no topo da escala descrita na citação acima); e 2) A rapidez com a qual um gerente introduz novas técnicas de produção é proporcional ao seu grau educacional (NELSON; PHELPS, 1966, p. 70).

As evidências que sustentam tais hipóteses são encontradas em um relato de Rogers[3] (1962, *apud* NELSON; PHELPS, 1966, p.70) do caso da agricultura norte-americana. Segundo a narração, é clara a proporcionalidade entre o nível educacional de um fazendeiro e sua tendência a adotar inovações produtivas. Dada a sua habilidade de compreender e avaliar informações acerca de novos produtos e processos, sendo estas disseminadas pelo Departamento de Agricultura, por periódicos especializados, pelo rádio e por outros meios, o retorno da adoção de

---

[3] ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. Free Press, 1962.

novos processos e tecnologias tende a ser maior, e o risco a ser menor, no caso de fazendeiros mais bem educados.

Os autores enfatizam que o menor risco se deve à habilidade do fazendeiro com maior nível de educação em distinguir entre ideias com maiores e menores probabilidades de sucesso. Por outro lado, os fazendeiros com menor nível de educação, dão menor valor às informações disseminadas devido à menor capacidade destes em decodificá-las. Por isso, esse tipo de fazendeiro tende a postergar a adoção de novos produtos e processos até que tenha evidências concretas de seu êxito.

No caso de grandes corporações, a tarefa de se manter atualizado aos novos desenvolvimentos tecnológicos pode ser dada a cientistas. Ainda que esses cientistas não sejam diretamente responsáveis pela inovação, a sua educação é obviamente importante; mas também o é a educação dos gerentes que tomam a decisão final de adotar, ou não, os novos produtos ou processos (NELSON; PHELPS, 1966, p. 70-71).

### 2.2.1 O modelo

Partimos do pressuposto de que o progresso técnico poupa recursos da economia. Para tal, adotaremos mais uma vez a função de produção

$$Y(t) = F(K(t), A(t)L(t))$$

em que as variáveis $Y(t), K(t)$ e $L(t)$ têm os mesmos significados tradicionalmente apresentados no modelo de Solow. No entanto, mantemos nossa interpretação da variável $A(t)$ como representante do nível de tecnologia na prática, ou o nível médio de tecnologia incorporada ao conjunto dos bens de capital consumidos pela economia (NELSON; PHELPS, p. 71).

Ao nível de tecnologia de uma determinada economia, representado por $A(t)$, contrapomos a noção de um nível teórico de tecnologia ou fronteira tecnológica, $T(t)$. Definimos $T(t)$ como o nível de tecnologia na prática que prevaleceria na economia caso a difusão tecnológica fosse instantânea que, portanto, mede o estoque de técnicas disponíveis àqueles em posição de inovar.

Postularemos que o comportamento do nível teórico de progresso tecnológico obedece à seguinte equação.

$$T(t) = T_0 e^{\lambda t}, \lambda > 0 \quad (6)$$

Da equação acima, deduzimos que

$$\frac{\dot{T}(t)}{T(t)} = \lambda \quad (7)$$

o que significa que o nível teórico de progresso tecnológico cresce a uma taxa constante $\gamma$.

O modelo apresentado por Nelson e Phelps (1966, p. 73-75) adotado neste trabalho pressupõe que a taxa à qual o nível teórico de progresso tecnológico é realizado (i.e., transformado em nível de progresso técnológico na prática) é proporcional ao grau educacional atingido pela população e ao hiato entre os níveis teórico e prático de progresso tecnológico. Especificamente,

$$\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = \varphi(h)\left[\frac{T(t) - A(t)}{A(t)}\right], \varphi(0) = 0, \varphi'(h) > 0 \quad (8)$$

Apresentamos agora alguns dos resulados desse modelo, apontados por seus proponentes (NELSON, PHELPS, 1966, p. 73-74)

Em primeiro lugar, derivamos o fato de que a taxa de crescimento do nível de progresso tecnológico na prática deve, no longo prazo, se igualar à taxa de crescimento do nível teórico de progresso tecnológico. Para tal derivação, suponhamos que, inicialmente, $\dot{A}(t)/A(t) > \gamma$. Assim, o hiato entre os níveis teórico e prático de progresso tecnológico deve estar diminuindo. Portanto, a taxa de crescimento do nível prático de progresso tecnológico, $\dot{A}(t)/A(t)$, deve diminuir até se igualar a $\gamma$ (raciocínio análogo se aplica quando pressupomos que, inicialmente, $\dot{A}(t)/A(t) < \gamma$). Desse modo, como supomos que o nível teórico de progresso tecnológico também cresce a uma taxa constante, o hiato se aproxima, no longo prazo, de um nível de equilíbrio.

Em segundo lugar, esse nível de equilíbrio do qual o hiato tecnológico se aproxima no longo prazo é inversamente proporcional ao nível educacional da população. De fato, de (8) podemos derivar

$$\frac{T(t)-A^{*}(t)}{A^{*}(t)}=\frac{\gamma}{\varphi(h)} \quad (9)$$

em que $(T(t)-A^{*}(t))/A^{*}(t)$ representa o nível de equilíbrio do qual o hiato tecnológico se aproxima no longo prazo.

## 3 METODOLOGIA E DADOS

Lembremos que uma das consequências do modelo de Solow apresentadas na seção anterior é a de que, no longo prazo, o nível da renda *per capita* da população depende somente da taxa à qual aumenta o progresso tecnológico, ou efetividade do trabalho, denotada por $A(t)$.

Do modelo de Nelson e Phelps (1966, p. 73-75) descrito na seção acima e resumido pela equação (8), depreendemos que um dos determinantes dessa taxa de crescimento é o hiato entre os níveis teórico e prático do progresso tecnológico.

Ocupamo-nos, portanto, com a tarefa de estimar e analisar o hiato tecnológico da economia brasileira para o período 1982-2003 – período escolhido por ser o mais longo que a disponiblidade de séries históricas internacionalmente comparáveis nos permitiu. Para tanto, tomamos o nível de progresso tecnológico da economia norte-americana como uma aproximação do estoque de técnicas disponíveis aos trabalhadores da economia brasileira em posição de inovar, i.e., o nível teórico de progresso tecnológico ou fronteira tecnológica, $T(t)$. A partir da função de produção atribuída à economia brasileira, calcularemos os valores do nível prático de progresso tecnológico, ou $A(t)$, para essa economia no referido período.

Para isso, tomaremos a equação

$$Y(t)=F\big(K(t),T(t)L(t)\big) \quad (10)$$

como uma descrição da função de produção para a economia norte-americana. Para conciliar a equação (10) com os dados disponíveis e poder obter uma série temporal dos valores de $T(t)$ no período estudado, seguiremos uma metodologia inpirada em Solow (1957)[4].

Partindo da equação (10), e definindo $y = Y/N$ e $k = K/N$, obtemos, como em DORNBUSH (1998, p. 55),

$$\frac{dy}{y} = \theta \frac{dk}{k} + (1 - \theta)\frac{dT}{T} \quad (11)$$

em que $\theta$ e $1 - \theta$ representam a fatia da renda destinada à remuneração do capital e à remuneração do trabalho, nesta ordem.

Rearranjando equação (11), obtemos

$$\frac{dT}{T} = \frac{\frac{dy}{y} - \theta \frac{dk}{k}}{1 - \theta} \quad (12)$$

que é a expressão donde obtemos a taxa de crescimento do progresso tecnológico da economia norte-americana no período analisado neste trabalho. Para o caso da economia brasileira, supomos que sua função de produção seja dada pela equação

$$Y(t) = F\big(K(t), A(t)L(t)\big) \quad (13)$$

em que a efetividade da mão-de-obra $A(t)$ representa agora o nível prático de tecnologia adotado pela economia. Procedendo como no caso da função de produção da economia norte-americana apresentada acima, a partir de (13) obtemos

$$\frac{dA}{A} = \frac{\frac{dy}{y} - \theta \frac{dk}{k}}{1 - \theta} \quad (14)$$

---

[4] Em seu trabalho, Solow adota a função de produção em sua forma neutra de Hicks, i.e., $Y(t) = A(t)F\big(K(t), L(t)\big)$. Neste trabalho, adotamos a função em sua forma neutra de Harrod, i.e., $Y(t) = F(K(t), A(t)L(t))$, o que significa que a tecnologia aumenta a produtividade do trabalho, como exposto em DORNBUSH, R.; FISCHER, S.; STARTZ, R. (1998, p. 55).

que é a equação a partir da qual obtemos a taxa de crescimento do progresso tecnológico da economia brasileira no período 1982-2003.

Para obter a taxa de crescimento dos níveis teórico (representado pela efetividade da mão-de-obra norte-americana de acordo com a equação (12)) e prático (de acordo com a efetividade da mão-de-obra brasileira determinada pela equação (14)), necessitamos, para cada uma das economias e questão e no período tratado neste trabalho, de séries temporais a respeito de $dy/y$, $dk/k$ e $\theta$. Apresentamos a fonte de tais dados a seguir.

A taxa de crescimento do produto *per capita* de ambas as economias estudadas é aproximada aqui pela taxa de crescimento do PIB *per capita* de acordo com série temporal proveniente da base de dados do Banco Mundial.

A variável $dk/k$, representante da taxa de crescimento do estoque de capital por trabalhador. Para obter essas séries, em primeiro lugar, utilizamos uma aproximação do estoque total de capital de cada uma das economias analisadas, em cada um dos anos estudados[5]. Então, seguindo Solow[6], admitimos que a proporção do estoque de capital usado em um dado período é idêntica à proporção da mão-de-obra empregada nesse mesmo período, obtida na base de dados da Organização Internacional do Trabalho. É com base nesse estoque de capital empregado (ao invés do estoque de capital disponível) que obtemos uma aproximação do estoque de capital empregado por unidade de mão-de-obra, representado por $k$, e de onde obtemos a taxa de crescimento do estoque de capital empregado por trabalhador, $dk/k$.

Finalmente, a proporção da renda destinada à remuneração do trabalho, $\theta$, provém, no caso da economia norte-americana, da série "Labour Income Share" disponibilizada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

---

[5] Para o caso da economia norte-americana, os dados usados provêm da série "Net Stock of Fixed Assets", disponibilizada pelo Bureau of Economic Analysis do Departamento de Comércio do governo norte-americano e levada a valores constantes com o deflator do PIB daquela economia. No caso da economia brasileira, os dados vêm de MORANDI, L; REIS, E. J. (2004).

[6] "O que deve constar em uma função de produção é o capital em uso, e não o capital existente. Na falta de qualquer medida confiável da utilização do capital, simplesmente reduzi [o estoque de capital] pela fração da força de trabalho desempregada em cada ano, portanto assumindo que capital e mão-de-obra sempre sofrem desemprego da mesma proporção." (SOLOW, 1957, p. 314).

Para o caso da economia brasileira, a proporção da renda destinada à remuneração do trabalho, $\theta$, foi aproximada em 0,5, baseado no trabalho Bacha e Bonelli (2004, p. 26), segundo os quais tal aproximação é consistente com a obtida pelo sistema de contas nacionais do Brasil. Além disso, outros estudos citados por esses autores sugerem que o valor de $\theta$ se situa entre 0,35 e 0,5, e a adoção de valores nesse intervalo não alteraria as conclusões qualitativas do presente estudo.

Munidos apenas dos dados acima descritos e das equações (12) e (14), fica claro que podemos obter a *taxa de crescimento* do progresso tecnológico das economias norte-americana e brasileira, mas não o *nível* da tecnologia. Por isso, adotaremos, arbitrariamente, os níveis $T(1982) = A(1982) = 1$.

Portanto, nada podemos afirmar sobre o fato de uma das economias estar em um nível tecnológico maior do que a outra. Mas podemos afirmar se o nível de progresso tecnológico de uma dessas economias está se afastando ou se aproximando do nível da outra. Em outras palavras, poderemos determinar o comportamento do hiato entre os níveis teórico e prático de progresso tecnológico referentes à economia brasileira no período 1982-2003.

## 4 - RESULTADOS

Com os dados e a metodologia descritos acima, obtemos a seguinte tabela, referente à economia norte-americana.

TABELA 1 – COMPORTAMENTO DO NÍVEL DE PROGRESSO TECNOLÓGICO DA ECONOMIA NORTE-AMERICANA NO PERÍODO 1982-2003

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ano | Crescimento da renda *per capita* | Proporção da força de trabalho empregada | Estoque de capital (bilhões de dólares de 2005) | Col. (2) x Col. (3) | Força de trabalho (milhares de trabalhadores) | Emprego (Col. (2) x Col. (5)), milhares de trabalhadores) | Capital empregado por trabalhador (Col. (3) / Col. (6), dólares de 2005) | Var. % do capital empregado por trabalhador | Proporção da renda destinada à remuneração do trabalho | $\Delta T/T$ | T(t) |
| 1982 | -2,90 | 0,903 | 17.242 | 15.569 | 115.728 | 104.503 | 164.990 | 0,33 | 0,648 | -4,659 | 1,000 |
| 1983 | 3,56 | 0,904 | 17.124 | 15.480 | 117.013 | 105.780 | 161.887 | -1,88 | 0,644 | 6,580 | 1,066 |
| 1984 | 6,27 | 0,925 | 17.393 | 16.088 | 118.729 | 109.824 | 158.369 | -2,17 | 0,633 | 11,170 | 1,185 |
| 1985 | 3,19 | 0,928 | 17.764 | 16.485 | 120.808 | 112.109 | 158.457 | 0,06 | 0,645 | 4,913 | 1,243 |
| 1986 | 2,48 | 0,930 | 18.469 | 17.176 | 122.727 | 114.136 | 161.814 | 2,12 | 0,666 | 2,659 | 1,276 |
| 1987 | 2,42 | 0,938 | 18.985 | 17.808 | 124.588 | 116.864 | 162.451 | 0,39 | 0,648 | 3,526 | 1,321 |
| 1988 | 3,18 | 0,945 | 19.466 | 18.395 | 126.259 | 119.314 | 163.145 | 0,43 | 0,631 | 4,793 | 1,384 |
| 1989 | 2,56 | 0,947 | 19.823 | 18.773 | 128.346 | 121.543 | 163.096 | -0,03 | 0,628 | 4,090 | 1,441 |
| 1990 | 0,71 | 0,944 | 19.983 | 18.864 | 129.304 | 122.063 | 163.707 | 0,37 | 0,627 | 0,916 | 1,454 |
| 1991 | -1,52 | 0,932 | 19.760 | 18.416 | 130.116 | 121.268 | 162.945 | -0,47 | 0,638 | -2,116 | 1,423 |

| Ano | (1) Crescimento da renda *per capita* | (2) Proporção da força de trabalho empregada | (3) Estoque de capital (bilhões de dólares de 2005) | (4) Col. (2) x Col. (3) | (5) Força de trabalho (milhares de trabalhadores) | (6) Emprego (Col. (2) x Col. (5), milhares de trabalhadores) | (7) Capital empregado por trabalhador (Col. (3) / Col. (6), dólares de 2005) | (8) Var. % do capital empregado por trabalhador | (9) Proporção da renda destinada à remuneração do trabalho | (10) ΔT/T | (11) T(t) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1992 | 1,91 | 0,925 | 20.129 | 18.619 | 132.182 | 122.269 | 164.627 | 1,03 | 0,648 | 2,391 | 1,458 |
| 1993 | 1,35 | 0,931 | 20.709 | 19.280 | 133.595 | 124.377 | 166.504 | 1,14 | 0,646 | 1,458 | 1,479 |
| 1994 | 2,79 | 0,939 | 21.512 | 20.199 | 135.769 | 127.487 | 168.736 | 1,34 | 0,628 | 3,653 | 1,533 |
| 1995 | 1,32 | 0,944 | 22.097 | 20.860 | 137.585 | 129.881 | 170.133 | 0,83 | 0,609 | 1,642 | 1,558 |
| 1996 | 2,55 | 0,946 | 22.742 | 21.514 | 139.474 | 131.942 | 172.362 | 1,31 | 0,598 | 3,377 | 1,611 |
| 1997 | 3,30 | 0,951 | 23.543 | 22.389 | 141.949 | 134.993 | 174.402 | 1,18 | 0,594 | 4,744 | 1,687 |
| 1998 | 3,01 | 0,955 | 24.603 | 23.496 | 143.824 | 137.352 | 179.124 | 2,71 | 0,602 | 3,213 | 1,741 |
| 1999 | 3,30 | 0,958 | 25.819 | 24.735 | 145.734 | 139.614 | 184.932 | 3,24 | 0,607 | 3,331 | 1,799 |
| 2000 | 2,52 | 0,960 | 26.961 | 25.883 | 147.886 | 141.971 | 189.906 | 2,69 | 0,611 | 2,416 | 1,843 |
| 2001 | -0,33 | 0,953 | 27.934 | 26.621 | 148.892 | 141.894 | 196.864 | 3,66 | 0,624 | -2,744 | 1,792 |
| 2002 | 0,54 | 0,942 | 28.873 | 27.199 | 150.098 | 141.392 | 204.207 | 3,73 | 0,612 | -1,485 | 1,765 |
| 2003 | 1,86 | 0,940 | 29.858 | 28.067 | 150.755 | 141.710 | 210.699 | 3,18 | 0,608 | 1,002 | 1,783 |

Fontes:
Coluna (1): Banco Mundial. Baseado no crescimento medido em moeda local constante.
Coluna (2): Organização Internacional do Trabalho.
Coluna (3): Bureau of Economic Analysis, Department of Commerce.
Coluna (4): Col. (2) x Col (3).
Coluna (5): Organização Internacional do Trabalho.
Coluna (6): Coluna (2) x Coluna (5).
Coluna (7): Coluna (3) / Coluna (6).
Coluna (8): A partir da coluna (7).
Coluna (9): Organização Internacional do Trabalho.
Coluna (10): $\Delta T/T = ((1) - (9) * (8))/(1 - (8))$.
Coluna (11): A partir da coluna (10).

De modo análogo, obtemos os seguintes resultados para a economia brasileira.

TABELA 2 – COMPORTAMENTO DO NÍVEL DE PROGRESSO TECNOLÓGICO DA ECONOMIA BRASILEIRA NO PERÍODO 1982-2003

| Ano | (1) Crescimento da renda *per capita* | (2) Proporção da força de trabalho empregada | (3) Estoque de capital (bilhões de dólares de 2005) | (4) Col. (2) x Col. (3) | (5) Força de trabalho (milhares de trabalhadores) | (6) Emprego (Col. (2) x Col. (5), milhares de trabalhadores) | (7) Capital empregado por trabalhador (Col. (3) / Col. (6), dólares de 2005) | (8) Var. % do capital empregado por trabalhador | (9) Proporção da renda destinada à remuneração do trabalho | (10) ΔA/A | (11) A(t) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1982 | -1,72 | 0,949 | 2.583 | 2.451 | 49.693 | 47.158 | 54.766 | 3,75 | 0,500 | -7,180 | 1,000 |
| 1983 | -5,58 | 0,951 | 2.703 | 2.571 | 51.477 | 48.954 | 55.215 | 0,82 | 0,500 | -11,974 | 0,880 |
| 1984 | 2,98 | 0,957 | 2.823 | 2.701 | 52.869 | 50.595 | 55.793 | 1,05 | 0,500 | 4,907 | 0,923 |
| 1985 | 5,69 | 0,966 | 2.954 | 2.853 | 54.193 | 52.350 | 56.426 | 1,13 | 0,500 | 10,236 | 1,018 |
| 1986 | 5,82 | 0,976 | 3.113 | 3.038 | 55.619 | 54.284 | 57.341 | 1,62 | 0,500 | 10,015 | 1,120 |
| 1987 | 1,60 | 0,964 | 3.267 | 3.149 | 58.053 | 55.963 | 58.376 | 1,80 | 0,500 | 1,396 | 1,136 |
| 1988 | -1,95 | 0,962 | 3.403 | 3.273 | 59.454 | 57.194 | 59.493 | 1,91 | 0,500 | -5,817 | 1,070 |
| 1989 | 1,45 | 0,970 | 3.537 | 3.431 | 60.883 | 59.057 | 59.888 | 0,66 | 0,500 | 2,235 | 1,093 |
| 1990 | -5,92 | 0,963 | 3.645 | 3.510 | 62.445 | 60.134 | 60.607 | 1,20 | 0,500 | -13,051 | 0,951 |
| 1991 | -0,34 | 0,950 | 3.735 | 3.547 | 66.124 | 62.785 | 59.494 | -1,84 | 0,500 | 1,150 | 0,962 |
| 1992 | -2,05 | 0,936 | 3.806 | 3.563 | 70.144 | 65.655 | 57.973 | -2,56 | 0,500 | -1,535 | 0,947 |
| 1993 | 3,32 | 0,940 | 3.872 | 3.640 | 71.519 | 67.228 | 57.595 | -0,65 | 0,500 | 7,291 | 1,016 |
| 1994 | 4,33 | 0,940 | 3.948 | 3.711 | 73.352 | 68.951 | 57.251 | -0,60 | 0,500 | 9,247 | 1,110 |

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ano | Crescimento da renda *per capita* | Proporção da força de trabalho empregada | Estoque de capital (bilhões de dólares de 2005) | Col. (2) x Col. (3) | Força de trabalho (milhares de trabalhadores) | Emprego (Col. (2) x Col. (5), milhares de trabalhadores) | Capital empregado por trabalhador (Col. (3) / Col. (6), dólares de 2005) | Var. % do capital empregado por trabalhador | Proporção da renda destinada à remuneração do trabalho | ΔA/A | A(t) |
| 1995 | 2,65 | 0,940 | 4.026 | 3.784 | 75.240 | 70.725 | 56.925 | -0,57 | 0,500 | 5,873 | 1,175 |
| 1996 | 1,17 | 0,932 | 4.101 | 3.822 | 74.843 | 69.753 | 58.790 | 3,28 | 0,500 | -0,940 | 1,164 |
| 1997 | 1,76 | 0,923 | 4.199 | 3.876 | 77.465 | 71.500 | 58.728 | -0,10 | 0,500 | 3,621 | 1,206 |
| 1998 | -1,39 | 0,911 | 4.291 | 3.909 | 79.205 | 72.156 | 59.471 | 1,27 | 0,500 | -4,043 | 1,157 |
| 1999 | -0,68 | 0,904 | 4.362 | 3.943 | 81.999 | 74.127 | 58.839 | -1,06 | 0,500 | -0,306 | 1,154 |
| 2000 | 2,85 | 0,906 | 4.430 | 4.011 | 83.444 | 75.559 | 58.629 | -0,36 | 0,500 | 6,050 | 1,224 |
| 2001 | -0,13 | 0,907 | 4.524 | 4.103 | 84.820 | 76.932 | 58.800 | 0,29 | 0,500 | -0,561 | 1,217 |
| 2002 | 0,49 | 0,909 | 4.616 | 4.196 | 87.149 | 79.219 | 58.270 | -0,90 | 0,500 | 1,886 | 1,240 |
| 2003 | -0,85 | 0,903 | 4.714 | 4.257 | 89.583 | 80.894 | 58.276 | 0,01 | 0,500 | -1,707 | 1,219 |

Fontes:
Coluna (1): Banco Mundial. Baseado no crescimento medido moeda local constante.
Coluna (2): Organização Internacional do Trabalho.
Coluna (3): MORANDI, L; REIS, E. J. (2004).
Coluna (4): Col. (2) x Col (3).
Coluna (5): Organização Internacional do Trabalho.
Coluna (6): Coluna (2) x Coluna (5).
Coluna (7): Coluna (3) / Coluna (6).
Coluna (8): A partir da coluna (7).
Coluna (9): Organização Internacional do Trabalho.
Coluna (10): $\Delta A/A = ((1) - (9) * (8))/(1 - (8))$.
Coluna (11): A partir da coluna (10).

## 4.1 CONSEQUÊNCIAS PARA A ECONOMIA BRASILEIRA

Analisemos os resultados acima primeiramente sob a luz do modelo de Solow, ignorando por um momento o arcabouço teórico de Nelson-Phelps.

De acordo com a Tabela 1, o nível de progresso tecnológico da economia norte-americana aumentou em 78,3% no período 1982-2003, o que equivale a um crescimento médio de 2,8% ao ano no período estudado. Para fins de comparação, o PIB *per capita* norte-americano aumentou, no mesmo período, em 58,7%, ou o equivalente a 2,2% ao ano, entre 1982 e 2003, de acordo com dados do Banco Mundial.

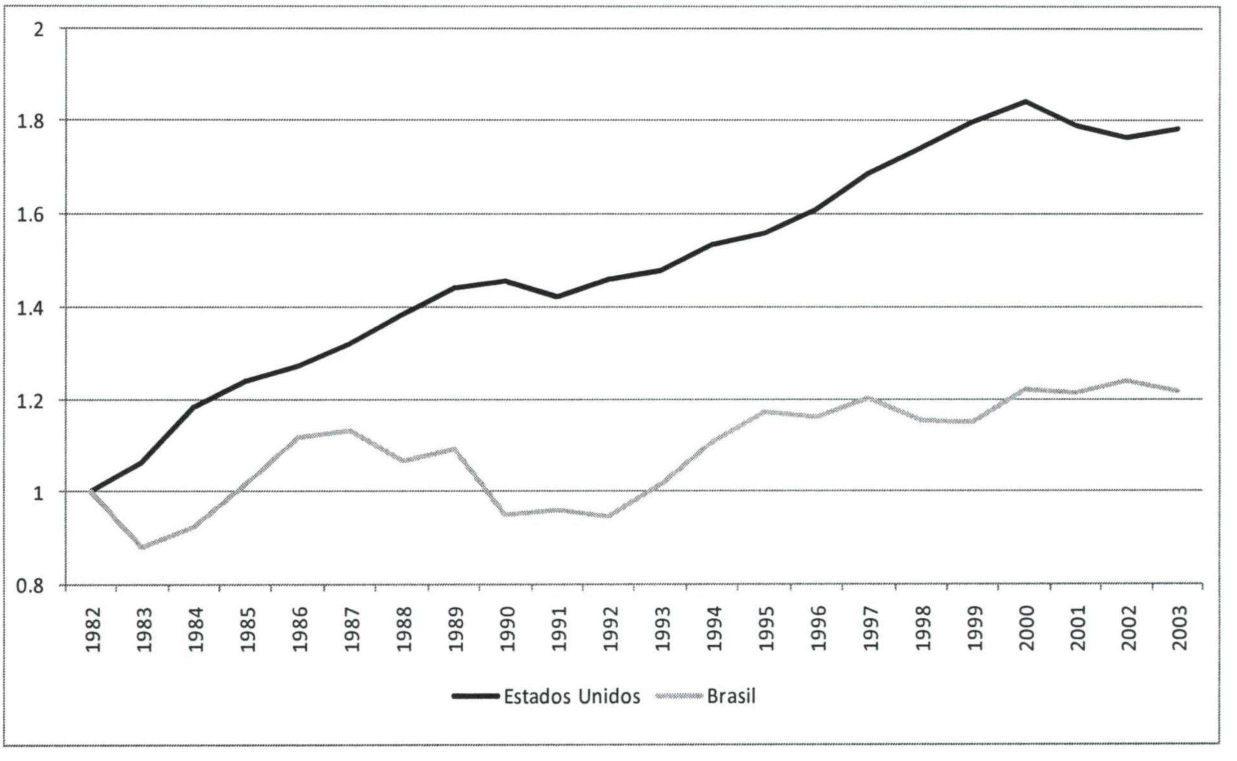
No caso da economia brasileira (Tabela 2), depreendemos que o nível do progresso tecnológico desta economia aumentou em 21,9% no período estudado, ou o equivalente a 0,95% ao ano. Em comparação, o PIB *per capita* brasileiro aumentou, de acordo com dados do Banco Mundial, em 15,21% no período estudado, o que equivale a 0,68% ao ano.

Vemos, portanto, que o crescimento da capacidade da economia brasileira de gerar bens e serviços a seus habitantes foi comparativamente menor do que o da economia norte-americana, no período analisado neste trabalho. O modelo de

Solow, modificado pela nossa interpretação de que a tecnologia pode variar entre os países, sugere que uma das causas de a nossa economia ter ficado para trás no que se refere ao crescimento de seu produto *per capita* foi o crescimento relativamente baixo da efetividade da sua mão-de-obra no período estudado.

Lembremos que, no longo prazo, de acordo com o modelo, a única maneira de se elevar o produto *per capita* de maneira sustentável, no longo prazo, é via progresso tecnológico, e os dados das tabelas 1 e 2 sugerem que a economia brasileira tem avançado relativamente pouco nesse quesito, como mostra o gráfico abaixo.

GRÁFICO 1 – EVOLUÇÃO DO NÍVEL DE PROGRESSO TECNOLÓGICO DAS ECONOMIAS NORTE-AMERICANA E BRASILEIRA NO PERÍODO 1982-2003.




Fonte: Elaboração própria a partir dos dados das Tabelas 1 e 2.

À luz do modelo de Nelson-Phelps, os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2, e sumarizados no Gráfico 1, mostram um aumento do hiato entre o nível de progresso tecnológico da economia norte-americana (visto aqui como o estoque de técnicas disponíveis aos inovadores brasileiros) e da economia brasileira (visto como a tecnologia efetivamente empregada pelos inovadores brasileiros).

O aumento desse hiato, de acordo com o modelo de Nelson-Phelps (em especial, levando-se em consideração a equação (8) do modelo), implica em uma reduzida capacidade da economia brasileira em absorver tecnologia da fronteira.

Uma das possíveis causas desse baixo crescimento é, de acordo com a equação (8), o baixo nível educacional dos trabalhadores brasileiros, o que os tornaria menos aptos a avaliar e adotar com sucesso novos métodos de produção, de acordo com a noção de que a educação formal está relacionada à capacidade individual de receber, compreender e decodificar informações, subjacente à teoria proposta por Nelson e Phelps (1966).

Concluímos, então, que o aumento do hiato entre as técnicas disponíveis e efetivamente empregadas pelos inovadores brasileiros, possivelmente causado pelo seu nível relativamente baixo de educação formal, prejudicou o desempenho da economia brasileira no período 1982-2003.

## 5 CONCLUSÃO

Ao empregarmos o modelo de Solow para analisar o comportamento do nível de progresso tecnológico da economia brasileira, no período 1982-2003, percebe-se que esse nível aumentou a taxas menores do que o da economia norte-americana, no mesmo período. Dado que, do ponto de vista deste modelo, a expansão do progresso técnico é a única maneira de se aumentar permanentemente o produto *per capita* no longo prazo, a economia brasileira assistiu a um comprometimento de sua capacidade de produzir bens e serviços a cada um de seus habitantes.

Segundo o modelo de Nelson-Phelps, o baixo crescimento do progresso técnico da economia brasileira em relação à norte-americana é interpretado como o aumento de um hiato tecnológico, em que o estoque de técnicas disponíveis aos potenciais inovadores brasileiros se distancia do estoque efetivamente empregado no processo produtivo do Brasil. Tal distanciamento, segundo o modelo, pode ser consequência de um nível relativamente baixo de educação formal dos inovadores brasileiros, o que poderia limitar sua capacidade de compreender e avaliar métodos produtivos a eles disponíveis.

## REFERÊNCIAS


BACHA, E. L.; BONELLI, R. Accounting for Brazil's growth deceleration. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 163-189, 2005.

DORNBUSCH, R.; FISCHER, S.; STARTZ, R. **Macroeconomics**. 7. ed. Nova Iorque: Irwin/McGraw-Hill, 1998.

MANKIW, N. G. The growth of nations. **Brooking Papers on Economic Activity**, Washington D.C., v. 26, p. 275-326, 1995.

NELSON, R. R.; PHELPS, E. S. Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. **The American Economic Review**, Nashville, Tennessee, v. 56, n. 1/2, p. 69-75, mar. 1966.

ROMER, D. **Advanced macroeconomics**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2001.

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

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

**The technological gap between the Brazilian and American economies in the period 1982-2003: empirical evidence**

**ABSTRACT** – The Solow growth model and the Nelson and Phelps technological diffusion model are used in the study of the growth potential of output per person for the Brazilian economy in the period 1982-2003. For this inquiry, we have obtained the time-series relevant to the estimate of the behaviour of technological progress for the Brazilian and American economies in the afore-mentioned period. With these estimates under our belt, we obtain an approximation for the behaviour of the technological gap between the two economies. We conclude that this behaviour undermined the performance of the Brazilian economy in the period studied in this paper, both due to the resulting limitation of the growth of income per person and the restriction of the diffusion of the technology available to the country's innovators.

Keywords: Technological gap. Income per person growth. Technological diffusion.

O autor gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Luciano Nakabashi pelo apoio e orientação no desenvolvimento e transmissão das ideias expostas neste trabalho. Qualquer erro aqui contido é de inteira responsabilidade do autor.