

Crescimento Econômico e a Interação entre Capital Humano e Grau de Desenvolvimento Tecnológico dos Países

Leonardo Andrade Rocha – Professor, Federal Rural University of Semi-Arid, Brazil;

leonardo.rocha@ufersa.edu.br

Maria Ester Dal-Poz – Professor, School of Applied Sciences, University of Campinas, UNICAMP,

Brazil; ester.dalpoz@fca.unicamp.br

José Maria Ferreira Jardim da Silveira – Instituto de Economia da Unicamp

jmsilv52@gmail.com

ABSTRACT

Several studies have emphasized the importance of human capital for economic development, but many of these studies have not incorporated the different stages of development to which the economies are found. This paper examines the impacts of education policy on the rate of technological progress and the economic growth of countries according to the degree of proximity to the frontier. The most backward economies are demanding more on structural investments in relation to strategic investments in ST&I. For this, we constructed a Schumpeterian growth model incorporating on productivity, two sources of improvements adopted by firms: the components of imitation and innovation. The stock of skilled labor is allocated in the innovation activities by firms. Unlike, the stock of labor is unskilled allocated to departments for implementation of management standards and planning, ie, imitation strategies by firms. Each monopolist entrepreneur seeks to maximize its utility function that is defined by expected consumption less costs of hiring skilled labor force and unskilled. Under conditions of maximization two demand functions for each factor are built. The demand of the monopolist entrepreneur in each sector of intermediate inputs is divided in hiring skilled labor and unskilled. The stock of skilled and unskilled (average years of schooling within each education level) were used to parametrise labor. This database (BARRO and LEE 2000), considers the 1960-2000 period. The regressions were estimated with panel data. Early estimates show that years of schooling of the primary and secondary education contribute to the accumulation of GDP per worker and TFP when the economy is further away from the technological frontier. The estimated parameters showed statistical significance and expected signs with the hypothesis of the investigation. Since the schooling years of higher education (tertiary) have an increased effect of GDP per worker and TFP when the economy approaches the frontier.

Key words: technological frontier, human capital, growth

JEL 015 043

Resumo

Vários estudos têm enfatizado a importância do capital humano para o desenvolvimento econômico, mas muitos desses estudos não incorporaram os diferentes estágios de desenvolvimento em que as economias se encontram. Este artigo analisa os impactos da política de educação sobre a taxa de progresso tecnológico e o crescimento econômico dos países de acordo com o grau de proximidade com a fronteira. As economias mais atrasadas são mais exigentes em investimentos estruturais em relação aos investimentos estratégicos em CT & I. Para isso, construímos

um modelo de crescimento schumpeteriano incorporando no cálculo da produtividade, duas fontes de melhorias adotadas por empresas: os componentes da imitação e inovação. O estoque de mão-de-obra qualificada é alocado nas atividades de inovação por parte das empresas. Ao contrário, o estoque de mão-de-obra não qualificada é atribuído aos departamentos para a implementação de normas de gestão e planejamento, ou seja, as estratégias de imitação por parte das empresas. Cada empresário monopolista procura maximizar sua função utilidade que é definido pelo consumo esperado menos os custos de contratação de mão-de-obra qualificada e não qualificada. Sob condições de maximização duas funções de demanda para cada fator são construídas. A demanda do empresário monopolista em cada setor de insumos intermediários é dividido em contratar mão de obra qualificada e não qualificada. O estoque de trabalhadores qualificados e não qualificados (média de anos de escolaridade dentro de cada nível de ensino) foram usados para parametrizar o fator trabalho. O banco de dados utilizado (Barro e Lee, 2000) considera o período 1960-2000. As regressões foram estimadas com dados em painel. As estimativas mostram que anos de escolaridade do ensino primário e secundário contribuem para a acumulação do PIB por trabalhador e TFP quando a economia está mais longe da fronteira tecnológica. Os parâmetros estimados apresentaram significância estatística e sinais esperados com a hipótese da investigação. Desde os anos de escolaridade de ensino superior (terciário) têm um efeito maior do PIB por trabalhador e da PTF, quando a economia se aproxima da fronteira.

Palavras chave: fronteira tecnológica, capital humano, crescimento

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, uma crescente preocupação ganhou destaque nos principais debates da política econômica; a garantia de uma oferta equilibrada de mão de obra altamente qualificada destinada a manter o ritmo de crescimento nos setores estratégicos de alta tecnologia (OECD, 2011). Por hora, sabe-se que estes setores são responsáveis por aproximadamente 30% da produção mundial, o que levanta uma atenção especial sobre o tema (NATIONAL SCIENCE BOARD, 2010). Contudo o debate sobre ‘Políticas de Educação e Crescimento’ ainda encontra-se em fase de amadurecimento, em consequência de controversos resultados empíricos¹.

Em decorrência de tais aspectos qualitativos da relação ‘Educação versus Crescimento’, alguns estudos², em especial, têm tratado os efeitos do capital humano no crescimento de forma mais ampla, conectando os seus diferentes tipos às diferentes trajetórias de desenvolvimento. Esta nova metodologia de estudos, amparados pelos modelos de crescimento endógenos, têm oferecido aplicações mais coerentes ao incorporar a dualidade da tecnologia dentro do ‘paradigma do desenvolvimento’.

Especialmente nas economias mais desenvolvidas, o capital humano ou pelo menos um tipo específico deste, parece aderir de forma mais adequada aos padrões tecnológicos vigentes. Isto ocorre porque a tecnologia local apresenta um padrão muito complementar ao estoque de mão de obra mais qualificada. Nas economias menos desenvolvidas esta complementaridade está mais relacionada com outro tipo específico de mão de obra menos qualificada. Esta relação ajuda a explicar porque determinados países utilizam a tecnologia com competências específicas de forma mais eficiente em comparação a outras economias (CASELI E COLLEMAN, 2006). Desta forma, assim como na tecnologia, a qualificação também apresenta padrões de dualidade. Isto porque as estratégias de imitação e inovação demandam por competências específicas para aplicações mais eficientes. Além disso, um único tipo de capital humano supõe que a elasticidade de substituição entre a mão de obra qualificada e não qualificada seja elevada, enquanto que as evidências empíricas comprovam o contrário³.

Para decifrar este puzzle da política de educação, cada formação tem sua importância específica em cada etapa do desenvolvimento das empresas. Para as firmas com elevado grau de atraso, a educação técnica (primária e secundária) tem um peso relativamente maior no crescimento e na implementação de tecnologias já existentes (imitação) do que em relação à inovação. Esta característica peculiar está mais presente nas economias menos industrializadas que se encontram nos estágios iniciais do desenvolvimento.

Ao contrário de Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006), Aghion et al. (2007; 2009) e Ang, Madsen e Islam (2011), a ênfase demasiada de uma política nas competências vocacionadas para a imitação, pode gerar uma estrutura com elevados custos à longo prazo para a inovação. Caso contrário, a economia poderia explorar, indefinidamente, mais transferência de tecnologias sem custos para sua convergência (GROSSMAN E HELPMAN, 1991). A aplicação de uma política não articulada a um cenário de longo prazo para a inovação pode comprometer a trajetória tecnológica da economia, conduzindo-a para uma armadilha da não-convergência. Isto mostra que, nas economias menos desenvolvidas, a política de educação pode apresentar

¹ Mankiw, Romer e Weil (1992) apresentaram evidências empíricas dos efeitos positivos da educação no crescimento. Na mesma linha de raciocínio, pode-se destacar os trabalhos de Hall e Jones (1999), Klenow e Rodríguez-Clare (1997), e em uma análise a níveis setoriais, destaca-se Ciccone e Papaioannou (2009). Em direção oposta, Caselli, Esquivel e Lefort (1996) não encontraram quaisquer evidências empíricas da inclusão do capital humano como um insumo na função de produção. Além disto, os autores diagnosticaram efeitos negativos (e significantes) do capital humano no crescimento. Pritchett (2001) não encontrou associações significantes entre o capital humano e o crescimento, justificando que, em muitos países, a taxa de crescimento da demanda por mão de obra qualificada varia consideravelmente. Isto decorre dos retornos marginais da oferta de trabalho qualificado caírem com a sua relativa expansão, à medida que a demanda permanece estagnada (em detrimento de precárias políticas industriais). Outros estudos com conclusões opostas ao *mainstream* são: Acemoglu, Aghion e Zilibotti (2002), Caseli e Coleman (2006), Aghion et al. (2009), Rocha e Silveira (2009) e Ang, Madsen e Islam (2011).

² Em especial, Acemoglu, Aghion e Zilibotti (2002), Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006), Aghion et al. (2007 ; 2009), Aghion e Howitt (2009), Ang, Madsen e Islam (2011).

³ Katz e Autor (1999) e Hamermesh (1993).

um relativo ‘grau de dependência’ com a política industrial, em decorrência de uma demanda reprimida por competências com alta qualificação – armadilha da não-convergência.

Este estudo amplia a análise proposta pelos autores citados, primeiramente, ao diagnosticar as consequências para a convergência tecnológica quando a política de educação não segue um planejamento de médio e longo prazo articulada com a política industrial (demanda por competências). A armadilha da não-convergência retrata os potenciais custos do desequilíbrio da política. Em segundo plano, a maior parte destes estudos abordou uma amostra que permite validar, sem muitos esforços, as hipóteses do modelo. Isto porque os países que compõem a OECD (alta renda) apresentam as maiores taxas de acumulação do capital humano no mundo. Além do mais, a elevada produtividade deste grupo de países pode ter um efeito de realocação, entre os fatores, mais eficiente em relação aos países de baixa renda. Portanto, uma amostra mais diversificada, que inclua países de baixa e média renda, e com diferentes estágios de desenvolvimento pode alterar significativamente as estimativas que venham a direcionar o sentido da política. Ainda em questão, a limitação orçamentária dos países menos industrializados é maior, o que torna o conhecimento do assunto ainda mais importante por impactar em uma melhor gestão dos recursos.

Para testar o modelo empírico adotou-se uma amostra de 139 países entre 1960 a 2007, conforme a disponibilidade das informações na base de dados de Barro e Lee (2001). O estudo foi dividido em 4 partes: (1) primeiramente será apresentado o modelo teórico que consistiu em um ambiente schumpeteriano com duas fontes de melhoria na produtividade; a imitação e a inovação. Nos estágios iniciais do desenvolvimento os retornos sociais das estratégias de imitação superam aos retornos da inovação, seguindo as proposições de Gerschenkron (1962). Em um dado estágio do desenvolvimento, os incentivos políticos devam ser direcionados a conduzir as estratégias das firmas locais da imitação para inovação. A falha nesta transição compromete a trajetória tecnológica dos países em desenvolvimento, comprometendo a economia em uma armadilha da não-convergência; (2) em seguida, o modelo empírico por meio do método de estimação em dados de painel com variáveis instrumentais, efeitos fixos e aleatórios e por correção no componente de erro (EC2SLS), testam as hipóteses do modelo; (3) posteriormente, a análise dos resultados apresenta as estimativas do modelo empírico. A interação de cada nível de escolaridade com o indicador de proximidade da fronteira revela que, para as economias mais afastadas, a educação primária e secundária oferecem retornos maiores ao crescimento. Para as economias situadas próximas da fronteira, a educação superior (terciária) tem um efeito aumentador do crescimento bem superior à educação básica e técnica, e; (4) em um plano final, tem-se as conclusões e sugestões ao direcionamento de futuras pesquisas e na tomada de decisão da política econômica. Vale apontar que as provas das proposições não foram incluídas nesta versão do trabalho por falta de espaço.

2. MODELO TEÓRICO

2.1 O Ambiente Econômico

O modelo consiste em uma economia com um número finito de setores, cada um deles composto por empresários intermediários e por uma população de trabalhadores que ofertam sua força de trabalho num mercado competitivo. O comércio internacional será abstraído, porém sua menção será retratada posteriormente. Os trabalhadores possuem dotações heterogêneas de capital humano onde, a nível agregado, a economia divide-se entre S unidades de trabalho altamente qualificada e U unidades com baixa qualificação, dados exogenamente e a uma taxa constante no tempo. Com um mercado competitivo e a oferta de trabalho definida elasticamente, tem-se $(s = \tilde{S}, u = \tilde{U}) \in \mathfrak{R}_+^2$, onde \tilde{S}, \tilde{U} correspondem, respectivamente, aos níveis de equilíbrio da mão de obra qualificada e não-qualificada no mercado de trabalho.

Assume-se que o tempo é discreto e todos os agentes vivem somente um período. O produto final da economia é produzido utilizando uma massa contínua de insumos intermediários de acordo com a função de produção Cobb-Douglas:

$$Y_t = \int_0^1 A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^\alpha di \therefore \alpha \in (0,1) \quad (1)$$

Segundo a equação (1), $x_t(i)$ corresponde ao fluxo de insumos intermediários do setor i no tempo t . A produtividade do setor é dada pelo parâmetro tecnológico $A_t(i)$ que é definido pelo nível defasado $A_{t-1}(i)$ mais um “componente estratégico do setor”. A definição deste componente será abordada na próxima seção. O setor de insumo intermediário é monopolizado pela firma líder que detém o monopólio em um curto período de tempo.

Partindo do pressuposto que o setor do produto final é competitivo, cada produtor de insumos intermediários se defronta com uma curva de demanda inversa que defini o preço do insumo intermediário:

$$p_t(i) = \frac{\partial Y_t}{\partial x_t(i)} = \alpha A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^{\alpha-1} \quad (2)$$

Em cada setor intermediário, apenas um produtor intermediário pode produzir o produto i com a produtividade do setor $A_t(i)$ usando o produto final como capital. Este processo dar-se-á por meio de uma tecnologia um-para-um (*one-for-one technology*), seguindo a especificidade $A_t(i) : \mathfrak{S} \rightarrow \Omega \therefore Y_t \in \mathfrak{S}; y_t(i) \in \Omega$.

Neste sentido, o monopolista do setor i escolhe $x_t(i)$ que resolva o problema de maximização:

$$\max_{x_t(i)} \{p_t(i)x_t(i) - c_t(i)x_t(i)\} \quad (3)$$

A solução do problema de maximização (3) gera uma função de demanda de equilíbrio:

$$\hat{x}_t(i) = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_t(i) \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3), obtêm-se os lucros de equilíbrio do monopolista do setor:

$$\hat{\pi}_t(i) = (p_t(i) - c_t(i))\hat{x}_t(i) = \pi A_t(i) \quad (5)$$

$$\text{Onde } \pi \equiv \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}}.$$

A seguir, serão definidos as fontes de crescimento da produtividade e como elas se relacionam com a fronteira tecnológica.

2.2 As Fontes de Crescimento da Produtividade

A melhoria na produtividade das firmas e de cada setor depende da combinação de dois fatores: (a) a aplicação de estratégias gerenciais focadas na imitação de tecnologias da fronteira tecnológica, onde a mão de obra menos qualificada adquire uma grande importância nesta atividade, e (b) na adoção de estratégias inovadoras, onde a força de trabalho engajada em atividades de P&D e na criação de novas tecnologias demanda por elevadas horas de qualificação e de aprendizado tecnológico.

A dinâmica da tecnologia no setor i pode ser capturada por uma função positiva e crescente, $\Phi(\cdot)$, nos seguintes argumentos da função:

$$A_t(i) = A_{t-1}(i) + \underbrace{\Phi\left(\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i), A_{t-1}(i), u_t(i), s_t(i)\right)}_{\text{COMPONENTE ESTRATÉGICO}} \quad (6)$$

Onde $\bar{A}_{t-1}(i), A_{t-1}(i), s_t(i), u_t(i)$ correspondem, respectivamente, à fronteira tecnológica do setor i no final do período $t-1$, à produtividade do setor i no final do período $t-1$, às unidades de mão de obra qualificada e não-qualificada do setor i no final do período t .

Seguindo os autores citados da literatura do crescimento endógeno, este estudo adota o progresso tecnológico como uma função linear nos componentes de imitação e inovação e não-linear nos recursos humanos. Especificamente a seguir, tem-se:

$$A_t(i) = A_{t-1}(i) + \left[s_t(i)^\varphi (\gamma - 1) A_{t-1}(i) + u_t(i)^\beta \eta (\bar{A}_t(i) - A_{t-1}(i)) \right]^\sigma \quad (7)$$

Onde os parâmetros γ, η correspondem às habilidades inovadoras e imitadoras adotadas pelas firmas em cada setor i , satisfazendo as seguintes desigualdades: $\gamma > 1$ (*one-step-forward*) e $\eta \leq 1$ (*one-step-behind*). O parâmetro σ reflete a elasticidade do componente estratégico, que por simplicidade é assumida como $\sigma = 1$. A fronteira tecnológica cresce a uma taxa constante \bar{g} , $\bar{A}_t(i) = (1 + \bar{g}) \bar{A}_{t-1}(i)$, e o estado tecnológico de cada setor está limitado ao nível da fronteira, ou seja, $A_t(i) \leq \bar{A}_t(i)$.

❖ **Proposição 1** – *A elasticidade do trabalho qualificado é maior do que no trabalho não-qualificado, $\varphi > \beta$.*

A proposição acima mostra que a taxa de retorno das atividades inovadoras na melhoria da produtividade é maior que as atividades imitadoras. Esta consideração mostra que, numa dada economia, o processo de inovação conduz a um crescimento sustentável a longo prazo. Outra explicação consiste no fato do crescimento da firma ser estimulado pelas atividades de inovação que demandam por unidades adicionais de mão de obra com alta qualificação, na medida em que esta se aproxima da fronteira tecnológica. Como a proporção dos fatores com alta qualificação é maior nas economias próximas da fronteira, conseqüentemente a mudança tecnológica será direcionada para alta tecnologia, sendo esta complementar ao fator mais qualificado.

Com relação aos valores dos parâmetros de elasticidade de cada fator ($\beta \geq 0; \varphi \geq 0$), segue-se que ambos satisfazem a *Lei dos Rendimentos Decrescentes* e, por esta razão, serão admitidos valores possíveis de acordo com a restrição $\beta, \varphi \in (0, 1)$. Contudo, esta restrição ainda não é suficiente para a análise, tendo em vista que as atividades de inovação e imitação venham a apresentar algum grau de complementaridade, permitindo que valores atribuídos a elasticidade de um fator específico venha a influenciar a elasticidade do outro fator (GROSSMAN E HELPMAN, 1991). Para capturar as influências das elasticidades entre ambos os fatores constitui-se uma nova restrição, que satisfaz tanto a *Lei dos Rendimentos Decrescentes* e de complementaridade⁴: $\beta + \varphi = 1$. Desta forma, ambas as elasticidades pertencerão a um intervalo numérico entre 0 e 1, além de não serem atribuídos valores sem qualquer conexão entre os fatores. Esta condição também não viola a **Proposição 1**.

Uma restrição forte seria a condição de que as elasticidades se ajustariam em função da proximidade com a fronteira, fazendo com que a mudança tecnológica fosse direcionada para a inovação e conseqüentemente para o fator com alta-qualificação, satisfazendo a proposição de Caselli e Coleman (2006). Isto modificaria a relação dos parâmetros da seguinte maneira, $\beta(t, a_{it}) + \varphi(t, a_{it}) = 1$, onde t representa o tempo e a_{it} o indicador de proximidade com a fronteira – $a_{it} \equiv A_{it} / \bar{A}_{it}$. As derivadas parciais de cada elasticidade

⁴ A complementaridade surge da noção dos regimes tecnológicos proposto em Malerba (2004) e Malerba e Orsenigo (1993). Os setores mais atrasados têm dificuldade na implementação de inovações devido ao baixo padrão de cumulatividade e apropriabilidade dos resultados econômicos. Com isto, a transferência de oportunidades faz com que a produtividade relativa entre a imitação e inovação se altere ao longo do tempo, dando um peso maior aos fatores de rápida absorção. Nas economias mais afastadas este peso maior se concentra na demanda por fatores com baixa qualificação, ao contrário das economias da fronteira.

apresentam-se da seguinte forma, $\frac{\partial \beta(t, a_{it})}{\partial a_{it}} < 0; \frac{\partial \varphi(t, a_{it})}{\partial a_{it}} > 0$. A intuição por trás disto mostra que as atividades de inovação são mais intensivas em mão de obra mais qualificada, fazendo com que a produtividade deste fator aumente quando a economia se aproxima da fronteira, ao contrário das economias mais afastadas. Em consequência disto, o fluxo de trabalhadores altamente qualificados é conduzido para novas atividades de inovação nos períodos seguintes, aumentando a produtividade marginal em relação aos trabalhadores menos qualificados. Quanto mais a economia se aproxima da fronteira, unidades extras de trabalhadores com alta-qualificação são demandadas pelos empregadores da indústria, tornando-os mais rentáveis em relação à mão de obra não-qualificada. Esta redistribuição no mercado de trabalho (ou efeito Rybczynski) é responsável por alterações na produtividade relativa dos fatores, tornando o mercado de trabalho sensível às flutuações de proximidade com a fronteira.

A seguir, será apresentado o *trade-off* do empresário monopolista em alocar recursos na contratação de mão de obra qualificada ou não-qualificada, cuja decisão depende da distância em relação à fronteira.

2.3 A Decisão do Empresário e as Condições de Equilíbrio

O empresário monopolista decide investir na contratação de mão de obra qualificada e não-qualificada, de acordo com a sua posição e na melhor taxa de retorno deste investimento. Sua decisão também depende da máxima satisfação alcançada ao se consumir bens com os lucros do setor, menos o gasto na aquisição de mão de obra qualificada ou não qualificada. Logo, a função de utilidade do monopolista pode ser expressa da seguinte maneira:

$$U_t(i) = E(c) - W_t \quad (8)$$

Onde, $c = \begin{cases} \hat{\pi}_t(i) = \pi A_t(i), & \text{com probabilidade } \lambda \\ 0, & \text{com probabilidade } (1 - \lambda) \end{cases}$, e W_t é o gasto total da contratação de mão de obra

qualificada e não-qualificada. Os salários da força de trabalho são denotados por $w^u A_{t-1}(i)$ (não-qualificada) e $w^s A_{t-1}(i)$ (qualificada). Por definição $w^i \cdot i \in (s, u)$ corresponde à taxa salarial, consequentemente:

$W_t = w^u A_{t-1}(i) u_t(i) + w^s A_{t-1}(i) s_t(i) = (w^u u_t(i) + w^s s_t(i)) A_{t-1}(i)$ O problema de maximização da utilidade do empresário é definido:

$$\max_{u_t(i), s_t(i) \geq 0} U \equiv \left\{ \lambda \pi A_t - (w^u u_t(i) + w^s s_t(i)) A_{t-1}(i) \right\}$$

A condição de primeira ordem com relação aos argumentos $u_t(i), s_t(i)$ geram as seguintes equações de equilíbrio

$$\hat{s}_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \varphi (\gamma - 1)}{w^s} \right)^{\frac{1}{1-\varphi}} \quad \text{E.1}$$

$$\hat{u}_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} \quad \therefore d_{t-1} = \frac{\bar{A}_{t-1}(i)}{A_{t-1}(i)} = (a_{t-1})^{-1} \quad \text{E.2}$$

Com o mercado de trabalho competitivo e em equilíbrio, a demanda pela força de trabalho iguala-se à oferta, esta última, dada exogenamente $\hat{u}_t(i) = \tilde{U}$; $\hat{s}_t(i) = \tilde{S}$. A interpretação da equação E.1 mostra que a demanda por mão de obra qualificada depende positivamente da probabilidade de sucesso λ da firma inovadora, do parâmetro de equilíbrio dos lucros π e do tamanho incremental da estratégia de inovação $(\gamma - 1)$. Este último depende, dentre outros fatores, da política industrial de incentivo à inovação.

A segunda equação E.2 mostra que a demanda do empresário por mão de obra não-qualificada é uma função positiva da distância tecnológica $d_{t-1}(i)$ do setor i . O elevado atraso das firmas faz com que os empresários aloquem uma fração de trabalhadores não-qualificados para as atividades menos intensivas em inovação.

A próxima seção apresenta a ligação das funções de demanda com trajetórias de risco, revelando que uma ênfase inadequada na demanda por mão de obra não-qualificada pode conduzir a economia a uma armadilha da não-convergência.

3.4 Equilíbrio, Convergência e Armadilhas do Crescimento

Partindo das funções de demanda E.1 e E.2, a taxa de progresso tecnológico pode ser reformulada da seguinte maneira:

$$g_t(i) = \frac{A_t(i) - A_{t-1}(i)}{A_{t-1}(i)} = \hat{s}_t(i)^\varphi (\gamma - 1) + \hat{u}_t(i)^\beta \eta (d_{t-1}(i) - 1); \quad \text{G.1}$$

A taxa de progresso técnico é função das curvas de demanda, sendo que estas estabelecidas pelas condições de equilíbrio. Substituindo E.1 e E.2 em G.1, temos:

$$g_t(i) = (\gamma - 1)^{\frac{1}{1-\varphi}} \left(\frac{\lambda \pi \varphi}{w^s} \right)^{\frac{\varphi}{1-\varphi}} + \eta^{\frac{1}{1-\beta}} \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}} \quad \text{G.2}$$

$$g_t(i) = \begin{cases} f(\gamma) + \kappa(\eta) \cdot (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}}, & d_{t-1}(i) > 1 \\ f(\gamma) & , d_{t-1}(i) = 1 \end{cases} \quad \text{G.3}$$

As equações G.2 e G.3 apresentam um *insight* importante da teoria:

- ❖ **Proposição 2** – *Os setores mais atrasados e afastados da fronteira tecnológica possuem uma demanda por recursos diferenciada em relação aos setores mais avançados. Esta demanda levada em consideração estimula um crescimento mais acelerado do setor. Ou seja, $d_{t-1}(i) \geq 1 \Rightarrow \hat{u}_t(i) \geq 0$.*

Esta proposição incorpora o que Gerschenkron (1962) afirma como “A Vantagem do Atraso”. Os setores mais afastados da fronteira crescem mais rápido devido a elevada frequência de implementação das inovações da fronteira (imitação). De acordo com a equação G.2, a derivada parcial de 2ª ordem com relação a distância e o parâmetro de imitação nos diz outro importante conceito:

- ❖ **Proposição 3** – *Quanto maior a distância tecnológica ou o potencial atraso de um setor ou economia, maior será a taxa de progresso tecnológico, se a política industrial for favorável à implementação de tecnologias da fronteira e ao aprendizado.*

– **Prova:** Reescrevendo a equação G.2, temos:

$$\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} = \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)^2 \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \geq 0 \Rightarrow d_{t-1}(i) \geq 1 \blacksquare \quad \text{G.4}$$

A equação G.4 mostra a taxa de variação do progresso técnico, considerando dois fatores de direcionamento. De acordo com a equação G.4, na existência de algum atraso possível ($d_{t-1}(i) > 1$), as práticas intensivas de imitação podem proporcionar oportunidades tecnológicas viáveis que reforçam o crescimento a curto prazo.

Admitindo que as instituições locais condicionam as estratégias de inovação e imitação pelas firmas, temos: $\gamma \in (\underline{\gamma}, \bar{\gamma}) \therefore \eta \in (\underline{\eta}, \bar{\eta})$, (i) $(\bar{\gamma}, \underline{\eta})$ onde a instituição estimula as firmas locais a adotarem estratégias de inovação e, (ii) $(\underline{\gamma}, \bar{\eta})$ a instituição estimula as firmas locais a adotarem estratégias de imitação.

Esta ampliação do modelo incorpora aspectos importantes da política que influenciam diretamente a competitividade das firmas locais, tais como: políticas protecionistas no comércio internacional, legislação de propriedade intelectual, dificuldades de obtenção e preços altos para manutenção de patentes, dentre outras questões relevantes. Estes fatores são afetados diretamente pela política econômica e moldam as estratégias das firmas em inovarem ou não.

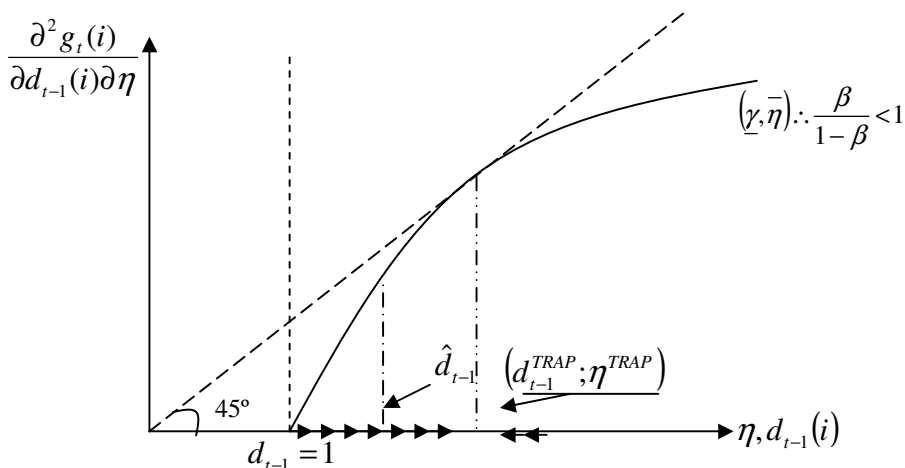
A solução para a equação G.3, segundo os parâmetros institucionais, é dada por:

$$g_t(i) = \begin{cases} f(\bar{\gamma}) + \kappa(\underline{\eta}) \cdot (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}}, (\bar{\gamma}, \underline{\eta}) \\ f(\underline{\gamma}) + \kappa(\bar{\eta}) \cdot (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}}, (\underline{\gamma}, \bar{\eta}) \end{cases} \therefore \forall d_{t-1} > 1 \quad \text{G.5}$$

No cenário $(\bar{\gamma}, \underline{\eta})$, a economia desfruta de uma população considerável de inovadores em quase todos os setores da economia. Entretanto, dependendo do tamanho do atraso $d_{t-1} > 1$, as incertezas podem ser elevadas e as atividades de P&D são desestimuladas pela baixa oportunidade. Neste caso, a economia cresce gradativamente, mas sempre converge em direção à fronteira. Ao contrário do primeiro cenário $(\underline{\gamma}, \bar{\eta})$, os retornos da adoção de tecnologias da fronteira podem oferecer um rápido crescimento na economia (MANSFIELD, 1984).

A Figura 4 mostra a relação entre imitação e os ganhos no crescimento, dado um potencial atraso tecnológico do setor/país.

FIGURA 1 – Crescimento e as Armadilhas da Não-Convergência.

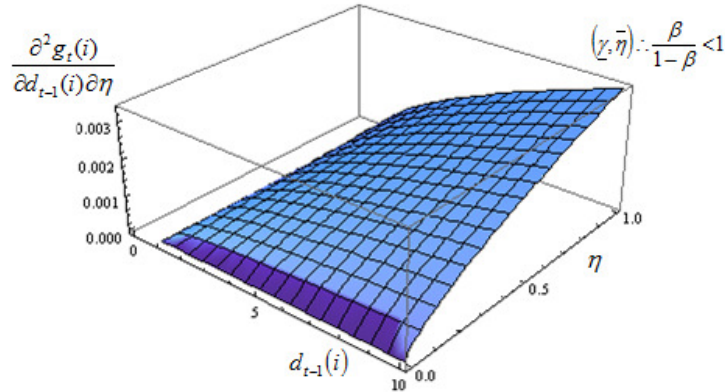


Fonte: Elaboração dos autores.

Conforme a Figura 1, as estratégias de imitação podem oferecer retornos consideráveis ao crescimento, porém a sua aplicação persistente ao longo do tempo pode comprometer as trajetórias tecnológicas do setor. A armadilha da não-convergência mostra que, apesar da educação básica e técnica oferecerem uma rápida velocidade de convergência, a economia estará fora da trajetória de risco se, e somente se, a educação superior for direcionada para os setores intensivos em inovação tecnológica. Outro ponto de destaque é que, na condição da armadilha, as instituições locais não ofereceram incentivos adequados para a mudança entre

imitação e inovação. As empresas locais não contratam mão de obra qualificada nas atividades de P&D inovadora por diversos motivos, dentre eles, o padrão de concorrência que é influenciado pela política econômica.

FIGURA 2 – Equação do Crescimento, distância da fronteira e esforços de imitação.



Fonte: Elaboração própria do autor.

Conforme a figura 2, quanto maior o atraso tecnológico, maior será o impacto da atividade imitadora ao crescimento e maior o risco de uma armadilha da não-convergência. Ou seja, uma política industrial que não estimula a inovação durante um longo tempo no processo de desenvolvimento, pode comprometer a economia a uma armadilha com taxas de crescimento bastante residuais e sem qualquer convergência para fronteira.

A equação G.4 no ponto da armadilha e integrando os setores é definida como:

$$\left(\frac{\partial^2 g_t}{\partial d_{t-1} \partial \eta} \right)^{TRAP} = \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)^{\frac{2(1-\beta)}{1-2\beta}} \int_0^1 \left[\left(\lambda \pi \beta \left(d(i)_{t-1}^{TRAP} - 1 \right) / w^u \right)^{\frac{\beta}{1-2\beta}} \right] \cdot di \quad G.6$$

A mudança de estratégias de imitação para inovação foi bem sucedida na industrialização do leste asiático. Na medida em que a Coreia do Sul foi se aproximando das fronteiras tecnológicas, muitas aptidões construídas pelo modelo de imitação permitiram transformações, sem muitas dificuldades, em atividades de P&D. A exemplo disto, a engenharia reversa na Coreia do Sul permitiu uma efetiva interação entre os técnicos de uma equipe de projetos juntamente com os departamentos de produção, *marketing*, institutos locais de P&D e as universidades. Tal planejamento constituiu o mesmo preparo da organização para as atividades de inovação em P&D (KIM, 1997).

3. MODELO EMPÍRICO

3.1 Operacionalização das Variáveis

O modelo empírico consistiu em um painel com 139 países no período de 1960 a 2007. Esta amostra foi considerada segundo a disponibilidade da base de dados de Barro e Lee (2001). Os dados sobre o PIB, força de trabalho e as séries de investimento foram obtidos na base de dados da Penn World Tables 6.3 compilados por Heston, Summers e Aten (2009). As informações sobre educação foram obtidos pelo banco de dados de Barro e Lee (2001) dispostos em intervalos de 5 anos entre 1960-2000. O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos com exceção ao intervalo 2000-2007. Esta série divide os anos de escolaridade em três níveis: primário, secundário e terciário ou superior.

A utilização da variável, anos de escolaridade, segue as evidências empíricas da microeconomia minceriana que associa a relação entre os anos médios de escolaridade com o retorno salarial. Esta abordagem do capital humano relaciona o indicador de qualificação como uma função exponencial da escolaridade média, medida

em anos de estudo, de forma que as estimativas econométricas apresentam uma modelagem log-linear entre renda e o indicador de capital humano (COHEN E SOTO, 2007). Para se calcular os estoques de capital (K) de cada país, fez-se uso do método do inventário perpétuo definido a seguir: $K_t = I_t + (1 - \delta)K_{t-1}$

Na equação acima, δ reflete a taxa de depreciação do estoque de capital⁵. A série inicial do estoque é definida como: $K_{t=0} = \frac{I_{1950}}{g + \delta}$; $\delta = 0,06$

A variável g corresponde à taxa de crescimento médio anual do PIB entre 1950-2007. Para determinar o estoque de mão de obra qualificada e não-qualificada utilizou-se como *proxy*, os anos de escolaridade média do ensino superior (S) e os anos de escolaridade média do ensino primário e secundário (U), considerando uma população com 25 anos ou mais⁶.

Para quantificar a produtividade total dos fatores – PTF (Hick’s neutra) adotou-se uma função de produção agregada do tipo Cobb-Douglas:

$$Y_{it} = A_{it} f(K_{it}, L_{it}) = A_{it} (K_{it})^\alpha (L_{it})^{1-\alpha}$$

$$A_{it} = \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) \left(\frac{K_{it}}{L_{it}} \right)^\alpha$$

$$\ln A_{it} = \ln \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) - \alpha \ln \left(\frac{K_{it}}{L_{it}} \right)$$

Aonde Y/L corresponde ao PIB por trabalhador, K/L ao estoque de capital por trabalhador, α a elasticidade parcial do capital e A produtividade total dos fatores. Para calibrar a PTF utilizou-se um valor $\alpha = 0,3$, além das demais séries mencionadas⁷. Em seguida, o modelo econométrico aplicado constituiu-se num painel com efeitos fixos, aleatórios (Generalized Least Squares – GLS), máxima verossimilhança e de variáveis instrumentais⁸ (Two-Stage Least Square with Fixed Effects– 2SLS, Component Error Two-Stage Least Squares – EC2SLS). A medida de distância tecnológica foi obtida pela razão da PTF de cada país em relação à maior em cada ano (ao longo do período a PTF dos EUA foi considerada como a fronteira tecnológica):

$$a_{it} = \frac{A_{it}}{\max\{A_t\}} \in (0,1], \therefore \forall A_{it} \leq \max\{A_t\} \equiv \bar{A}_t$$

A tabela 1 apresenta as variáveis do modelo e suas relações entre variáveis instrumentadas e seus instrumentos:

TABELA 1 – Relação entre as variáveis do modelo econométrico.

Variáveis Dependentes	Variáveis Instrumentadas	Instrumentos
$\ln(\text{PIB}/L)_{it}$; $\ln(A)_{it}$; $g(\text{PIB}/L)_{it}$; $g(A)_{it}$; a_{it}	S_{it-1} ; U_{it-1} ; $(S^*a)_{it-1}$; $(U^*a)_{it-1}$	S_{it-2} ; U_{it-2} ; a_{it-2} ; $(S^*a)_{it-2}$; $(U^*a)_{it-2}$

Fonte: Elaboração dos autores.

⁵ Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) adotam o mesmo valor $\delta = 0,06$.

⁶ Os modelos de crescimento apresentados por Hall e Jones (1999) e Benhabib e Spiegel (2005) adotam os anos de escolaridade média para mensurar o estoque de capital humano. Os autores Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) adotaram os anos de escolaridade média e o percentual da população com a escolaridade completa entre os três níveis para analisar os impactos da política educacional no crescimento.

⁷ O valor da elasticidade parcial do estoque de capital foi o mesmo aplicado por Hall e Jones (1999).

⁸ Testes de autocorrelação e heterocedasticidade confirmaram a ausência de tais fenômenos no modelo estimado. Sob tais circunstâncias, o estimador de variáveis instrumentais apresenta ganhos de eficiência assintótica em relação ao método dos momentos generalizados (GMM). Para maiores detalhes, veja Baum, Schaffer e Stillman (2003).

A seguir será apresentado o modelo de impacto segundo os métodos de estimação do painel. A princípio será constituído por 3 equações, diferenciando-se entre log da produtividade, log do PIB *per capita* e o crescimento do PIB *per capita*.

3.2 Modelo Econométrico

Foi considerada a seguinte especificação empírica para os níveis de PIB por trabalhador, produtividade, crescimento do PIB por trabalhador e crescimento da PTF:

$$(1) \ln A_{it} = \beta_0 + \beta_1 * a_{it-1} + \beta_2 * a_{it-1} * U_{it-1} + \beta_3 * a_{it-1} * S_{it-1} + \beta_4 * U_{it-1} + \beta_5 * S_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \beta_i + \beta_t + \eta_{it}$$

$$(2) \ln \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) = \beta_0 + \beta_1 * a_{it-1} + \beta_2 * a_{it-1} * U_{it-1} + \beta_3 * a_{it-1} * S_{it-1} + \beta_4 * U_{it-1} + \beta_5 * S_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \beta_i + \beta_t + \eta_{it}$$

$$(3) g \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) = \beta_0 + \beta_1 * g(A_{it}) + \beta_2 * a_{it-1} * g(U_{it}) + \beta_3 * a_{it-1} * g(S_{it}) + \beta_4 * U_{it} + \beta_5 * S_{it} \\ + \beta_6 * a_{it-2} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \beta_i + \beta_t + \eta_{it}$$

Conforme o modelo acima, as variáveis, A , Y/L , a , S , U e $g(\cdot)$, são respectivamente a PTF, PIB por trabalhador, proximidade com a fronteira tecnológica, anos de escolaridade média do ensino terciário (superior), anos de escolaridade média do ensino primário e secundário, e as funções de crescimento.

Para validar as estimativas do painel com efeitos fixos em relação aos efeitos aleatórios (GLS e máxima verossimilhança) adotou-se o teste de Hausman. Sob a hipótese nula, os coeficientes de heterogeneidade individual e temporal (β_i, β_t) não são correlacionados com a matriz de regressores e o método de efeitos aleatórios apresenta-se consistente. Caso contrário, o estimador de efeitos fixos torna-se mais aconselhado.

Para testar o método de estimação por variáveis instrumentais adotou-se uma série de procedimentos estatísticos (testes de hipótese) para validar o modelo. Dentre as principais estatísticas, configura-se a validação dos instrumentos: correlacionados com os regressores endógenos e ao mesmo tempo ortogonais à perturbação estocástica. Para isto, adotaram-se as estatísticas de Sargan (1958), a razão de verossimilhança de Anderson (1984) e os testes de endogeneidade.

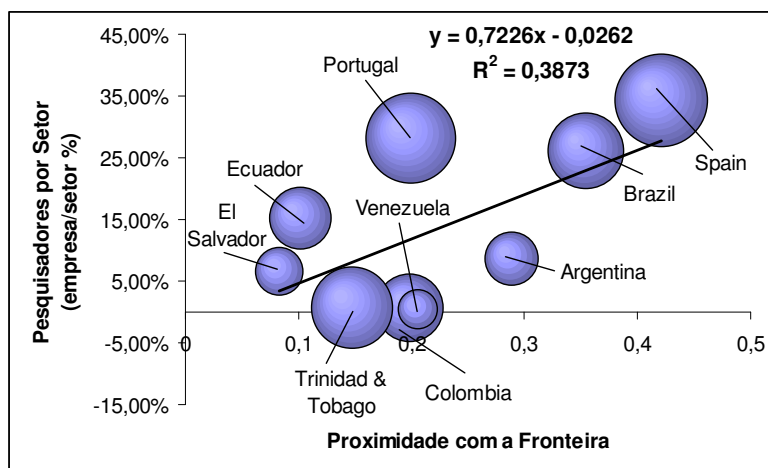
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentam apenas duas estimativas feitas com modelos de efeitos fixos e aleatórios para as variáveis de renda por trabalhador (Y/L) e PTF, por limitações de espaço. As referências às estimativas feitas para o terceiro modelo e também aquelas que usam variáveis instrumentais constam de uma versão ampliada do trabalho. Todavia, esta omissão em nada altera as conclusões do trabalho.

A primeira parte da análise apresenta os indicadores construídos, como a aproximação tecnológica dos países ao longo do tempo, e outros indicadores relevantes para a investigação. Brasil cresceu o PIB/trabalhador em 114,55% no período (média de 2,44% a.a.) e obteve uma taxa de progresso tecnológico de 85,08% no período (média de 1,81% a.a.). Depois do Brasil, encontra-se o Chile com um crescimento de 114,31% no período (média de 2,43% a.a.) e o México com crescimento de 92,99% no período (média de 1,98% a.a.). Na amostra total, a China teve o maior crescimento do PIB por trabalhador com 283,60% no período (média de 6,03% a.a.) e progresso tecnológico de 184,82% no período (média de 3,93% a.a.), seguida de Taiwan com crescimento de 282,05% no período (média de 6% a.a.) e Coréia do Sul com crescimento de 261,55% no período (média de 5,56% a.a.). No ranking dos países com maior crescimento do PIB por trabalhador e progresso tecnológico, os países Asiáticos compõem do 1º ao 11º lugar.

Conforme o gráfico 3, a proporção de pesquisadores atuando nas empresas, segundo o tipo de setor (Governo, Empresas, Instituições de ensino Superior e Organizações sem fins lucrativos), possui uma relação direta e significativa com o grau de proximidade com a fronteira. Segundo o gráfico, 38,73% das variações da proporção de pesquisadores nas empresas são explicadas pelas variações da proximidade com a fronteira, de acordo com as informações da RICYT⁹. No Brasil, o cenário de C,T&I vem passando por mudanças gradativas e positivas em sua estrutura. Entretanto, algumas deficiências ainda persistem.

GRÁFICO 3 – Relação entre o percentual de pesquisadores/setor em 2007 e a proximidade com a fronteira em 1960, segundo a amostra de países da RICYT.



Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: No gráfico o tamanho das “bolhas” é definido pela taxa de crescimento do PIB/trabalhador ao longo da série 1960-2007.

Segundo Sala-i-Martin (2010), o Brasil tem feito um grande esforço através de uma evolução crescente na intensidade dos gastos agregados em pesquisa (P&D). Entretanto, gargalos institucionais, como a elevada burocracia, um poder judiciário lento na condução dos processos, uma educação básica ainda deficiente, corrupção e as grandes assimetrias regionais nos investimentos em infra-estrutura, ainda persistem e restringem o potencial da economia para avançar tecnologicamente. Tais deficiências fazem o Brasil e outras economias gravitarem no estágio de eficiência econômica (**Stage 2 – Efficiency Driven**), enquanto que outros países com menores esforços em inovação acabam por superar este estágio de desenvolvimento, avançando aos estágios intermediários de eficiência econômica e de inovação (Transition from 2 to 3, **Stage 3 – Innovation Driven**), que é o caso do México e da Rússia.

A tabela 2 mostra o modelo geral num painel estimado com efeitos fixos, aleatórios e de máxima verossimilhança. No primeiro método de efeitos fixos, os efeitos de heterogeneidade de países e no tempo foram incluídos na estimação. As estimativas mostram a relação log-linear entre os níveis de escolaridade e renda de cada país.

TABELA 2 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

<i>Variável Dependente: ln(PIB/L)_i; t=1960-2007</i>				
	Efeitos Fixos (1)	Efeitos Fixos (2)	Efeitos Aleatórios	Máx.Verossim.
a _{t-1}	3,361629* 0,6266241	3,09866* 0,60282	2,19847* 3,9500	2,438488* 0,5741499
U _{t-1}	0,2065717* 0,0341856	0,2599903* 0,02396	0,2299316* 9,6900	0,2385224* 0,0236605

⁹ Red de Indicadores de Ciencia Y Tecnología – RICYT (2010).

S_{t-1}	-0,4114854* 0,1339371	-0,2811409** 0,12258	-0,2477833** 1,9600	-0,2569756** 0,1211467
$a_{t-1}*S_{t-1}$	0,5270159* 0,1846613	0,6560627* 0,17589	0,7207822* 4,0100	0,6992355* 0,1730051
$a_{t-1}*U_{t-1}$	-0,1321664** 0,0518723	-0,06990 0,04504	-0,025292 0,5700	-0,03810 0,0440164
Efeitos Fixos				
--- Países	sim	sim	-	-
Estat F	163,7100	161,867	-	-
Prob F	0,0000	0,0000	-	-
--- Ano	sim	não	-	-
Estat F	23,9800	-	-	-
Prob F	0,0000	-	-	-
LR Teste - χ^2	-	-	-	498,82
Prob χ^2	-	-	-	0,0000
Wald Teste - χ^2	-	-	243,4400	-
Prob χ^2	-	-	0,0000	-
R^2	0,9753	0,9740	-	-
R^2 - Ajustado	0,9695	0,9692	-	-
Teste Hausman - χ^2	21,8000	36,4300	-	-
Prob χ^2	0,0000	0,0000	-	-

Nota: Os asteriscos *,**,***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros. Elaboração dos autores.

Os parâmetros de efeitos fixos demonstraram significância estatística (países – F: 163,71 ; tempo – F: 23,98). A proximidade com a fronteira no período anterior ($t-1$) ajuda a explicar o nível do PIB por trabalhador (parâmetro positivo e significativo a 1%). Os parâmetros estimados para a escolaridade U_{t-1} e S_{t-1} apresentaram significância estatística a 1%. Embora o parâmetro estimado para escolaridade superior tenha demonstrado uma relação negativa com o PIB por trabalhador, a interação desta variável com a proximidade tecnológica demonstrou coerência com o modelo teórico (parâmetro positivo e significativo a 1%). Isto demonstra que, nas economias próximas de fronteira tecnológica, o ensino superior tem um impacto superior em relação ao ensino primário e secundário para a acumulação da riqueza. O resultado negativo do parâmetro da escolaridade superior se explica pelo fato da amostra consistir de países desenvolvidos, em desenvolvimento e subdesenvolvidos, de forma que somente o grupo de países situados próximo da fronteira teria uma distribuição das áreas de formação voltadas para as atividades de inovação tecnológica, como os cursos de ciência e engenharia. A formação de trabalhadores nestas áreas se defronta com uma elevada demanda nos setores de alta tecnologia contribuindo para os avanços da fronteira, (RODRIGUEZ, DAHLMAN E SALMI, 2008).

O parâmetro de interação entre escolaridade primária e secundária com a proximidade com a fronteira mostrou ser significativo e negativamente relacionado com o PIB por trabalhador. Como o indicador de proximidade possui um valor que varia entre (0,1), valores próximos a 1 indicam um efeito negativo maior na redução do PIB por trabalhador. Desta forma, a educação primária e secundária perde importância para as economias situadas próximas da fronteira. O ajustamento do modelo apresentou elevada significância no poder de explicação ($R^2 = 0,9753$ e R^2 ajustado = 0,9695). O método de efeitos fixos (2) apresenta resultados similares ao (1), apenas com a falta de significância do parâmetro $a_{t-1}*U_{t-1}$. Entretanto a significância do modelo ainda é considerada elevada, mesmo sem incluir os efeitos fixos de tempo ($R^2 = 0,9740$ e R^2 -ajustado

= 0,9692). O teste hausman indica que o método de efeitos fixos é mais aconselhado em relação ao de efeitos aleatórios (máxima verossimilhança) – teste hausman: 21,8 no modelo (1) e 36,43 no modelo (2). Nos demais métodos de estimação, efeitos aleatórios e máxima verossimilhança, os sinais dos parâmetros ainda confirmam as hipóteses do modelo, com exceção da significância do parâmetro estimado $a_{t-1} * U_{t-1}$ (entretanto os testes de Wald – 243,44 e a razão de verossimilhança – 498,82, apresentaram significância conjunta dos parâmetros).

Na tabela 3, considerando como variável dependente o logaritmo da PTF, a previsão do modelo ainda se confirma.

TABELA 3 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

<i>Variável Dependente: ln(PTF_t); t=1960-2007</i>			
	Efeitos Fixos (1)	Efeitos Fixos (2)	Efeitos Aleatórios
a_{t-1}	2,080104* 0,47773	1,806441* 0,46254	1,118289* 0,43457
U_{t-1}	0,1337908* 0,02606	0,1742867* 0,01839	0,1531353* 0,01860
S_{t-1}	-0,2222788** 0,10211	-0,11409 0,09406	-0,10800 0,09947
$a_{t-1} * S_{t-1}$	0,2708823*** 0,14078	0,3807678* 0,13496	0,4757277* 0,14124
$a_{t-1} * U_{t-1}$	-0,0727144*** 0,03955	-0,02551 0,03456	0,00262 0,03495
Efeitos Fixos			
--- Países	sim	sim	-
Estat F	170,4690	168,564	-
Prob F	0,0000	0,0000	-
--- Ano	sim	não	-
Estat F	20,4100	-	-
Prob F	0,0000	-	-
Wald Teste - χ^2	-	-	190,6700
Prob χ^2	-	-	0,0000
R ²	0,9803	0,9790	-
R ² - Ajustado	0,9757	0,9751	-
Teste Hausman - χ^2	29,7900	29,3700	-
Prob χ^2	0,0000	0,0000	-

Nota: Os asteriscos *,**,***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração dos autores.

Os métodos de efeitos fixos (1) e (2) apresentam parâmetros significativos (o método (1) apresenta significância em todos os parâmetros; no método (2) os parâmetros $a_{t-1} * U_{t-1}$ e S_{t-1} não apresentam significância) e com elevado poder de explicação ($R^2 = 0,98033$ e R^2 ajustado = 0,9757 no modelo (1) e $R^2 = 0,9790$ e R^2 ajustado = 0,9751 no modelo (2)). As estatísticas de hausman mostram que a perturbação estocástica é correlacionada com a matriz de variáveis explanatórias (29,79 método (1) e 29,37 no método (2)). No método de efeitos aleatórios, existe uma perda significância do parâmetro $a_{t-1} * U_{t-1}$; entretanto, a significância conjunta dos parâmetros é preservada (teste Wald = 190,67). Comparando os efeitos cumulativos da educação superior ($\frac{\partial \ln PTF}{\partial S_{it}} = -\beta_3 + \beta_4 * a_{it}$), podemos distinguir o grupo de países, conforme o grau de proximidade com a fronteira, que se beneficiam com o aumento da escolaridade do

ensino superior. Tomando os valores líquidos positivos, ou seja, $-\beta_3 + \beta_4 * a_{it} > 0 \Leftrightarrow a_{it} > \beta_3 / \beta_4$, os países

com proximidade superior a 82% (Efeitos Fixos (1)) tendem a apresentar retornos positivos com o aumento da escolaridade (71% para Efeitos Fixos (2) e 23% para Efeitos aleatórios).

Foram realizadas estimativas baseados no método de estimação por variáveis instrumentais, conforme a Tabela 1, cujos resultados corroboram aqueles apresentados nas Tabelas 2 e 3 acima.

No método apresentado nas Tabelas acima, (efeitos fixos com componente do tempo), a taxa de progresso tecnológico (crescimento da PTF) tem impacto positivo no crescimento do PIB por trabalhador (parâmetro significativo a 1%). Um aumento de 10% na taxa de progresso técnico aumenta, em média, de 2,17% a 2,30% o PIB/trabalhador. O crescimento da escolaridade do ensino superior tem efeito aumentador do crescimento para as economias que iniciaram próximas da fronteira, no período $t-1$.¹⁰

No segundo método de efeitos fixos, os parâmetros são significativos a 1% e 5%, destacando o efeito negativo do crescimento da escolaridade primária e secundária no crescimento das economias avançadas (situadas próximas da fronteira no período $t-1$).¹¹ As estimativas dos parâmetros das variáveis de proximidade com fronteira e crescimento da escolaridade superior, $a_{t-1} * g(S_t)$, apresentaram distorções visíveis entre os métodos de efeitos fixos (0,02153 – EF (1)) e variáveis instrumentais (0,2576286 IV-2SLS/EF (1)). No primeiro método, um aumento de 10% na escolaridade do ensino superior para as economias situadas a 80% de proximidade com a fronteira contribui para um crescimento médio de 0,17%. Esta estimativa é subestimada ao se compara com o método de variáveis instrumentais, cujo mesmo aumento de escolaridade ao mesmo posicionamento tecnológico, contribui para um crescimento no PIB/trabalhador de aproximadamente 2,06% ao período.

Na estimativa de efeitos aleatórios, o parâmetro estimado da variável $a_{t-1} * g(S_t)$ apresentou significância estatística a 5% e com sinal positivo (o crescimento da escolaridade superior estimula o crescimento do PIB por trabalhador das economias mais avançadas – próximas da fronteira).¹²

5. CONCLUSÕES

Este estudo propôs uma reformulação teórica e empírica dos canais de geração do crescimento por meio da composição do capital humano. Atualmente, existem vários estudos que comprovam a relação direta entre educação e crescimento. Contudo, esta relação pode oferecer uma difícil tarefa ao investigador na determinação dos reais efeitos do capital humano no crescimento.

O modelo teórico consistiu na apresentação da dicotomia do capital humano (a divisão do estoque entre fator qualificado e não-qualificado) e da inclusão dos incentivos às estratégias de inovação ou imitação das firmas. As economias mais afastadas da fronteira apresentam uma relativa dificuldade na adoção de estratégias de inovação e, por esta razão, a imitação pode oferecer grandes resultados econômicos. Entretanto, a persistência de tais políticas à longo prazo pode comprometer a trajetória tecnológica, conduzindo as economias em direção a uma armadilha da não-convergência. Na armadilha, elevados custos de oportunidade à inovação podem “enrijecer” a demanda por competências com alta qualificação, criando uma estrutura com baixa absorção para este fator.

¹⁰ Os efeitos fixos de tempo apresentaram significância estatística a 1% ($F = 5,6760$). O ajustamento do modelo mostrou ser elevado e com qualidade ($R^2 = 0,8946$ e R^2 -ajustado = 0,8777). O teste de Hausman ($\chi^2 = 38,65$) revela que a hipótese nula é rejeitada, o método de efeitos fixos apresenta ser consistente em relação ao estimador de efeitos aleatórios.

¹¹ O modelo apresentou um forte ajustamento ($R^2 = 0,9296$ e R^2 -ajustado = 0,9162). O teste Hausman ($\chi^2 = 47,89$) novamente confirma a inconsistência do estimador de efeitos aleatórios.

¹² A elevada significância do teste Wald revela a significância conjunta dos parâmetros (significativamente diferentes de zero a 1%, $\chi^2 = 1503,67$). As estimativas de máxima verossimilhança apresentam resultados similares com a exceção da significância do parâmetro da variável $a_{t-1} * g(S_t)$. Entretanto, o teste da razão de verossimilhança revela que os parâmetros são estatisticamente diferentes de zero ($\chi^2 = 559,34$; significância a 1%).

Para testar as hipóteses, o modelo empírico apresentou várias metodologias de estimação com dados em painel, destacando, efeitos fixos, aleatórios, máxima verossimilhança e variáveis instrumentais. As primeiras estimativas revelam que os anos de escolaridade da educação primária e secundária contribuem para a acumulação do PIB por trabalhador e da PTF nas economias que inicialmente estiveram mais afastadas da fronteira tecnológica. Os parâmetros estimados apresentaram significância estatística e com sinais esperados pela hipótese da investigação (em cada método de estimação os parâmetros estimados das variáveis de interação – $a*U$ – apresentaram sinais negativos)..

Já os anos de escolaridade do ensino superior (terciário) têm um efeito aumentador do PIB por trabalhador e da PTF nas economias mais próximas da fronteira. Neste mesmo sentido, as estimativas dos parâmetros de interação com a proximidade da fronteira apresentaram significância estatística e com sinais esperados conforme as hipóteses da tese (em cada método de estimação os parâmetros estimados das variáveis de interação – $a*S$ – apresentaram sinais positivos). Nos métodos de efeitos fixos, aleatórios e máxima verossimilhança, a significância estatística dos parâmetros é alcançada juntamente com a coerência dos sinais (parâmetro positivo em todos os métodos de estimação). Considerando os métodos de variáveis instrumentais, a significância e o sentido de impacto da educação superior na acumulação do PIB por trabalhador e na PTF ainda são preservados.¹³. Estes resultados confirmam as hipóteses de um crescimento diferenciado da ‘vizinhança da fronteira’, mostrando que a concepção dos diferentes tipos de capital humano e estágios de desenvolvimento podem afetar o crescimento relativo das economias.

No modelo com as funções de crescimento, (que não foram apresentados nos resultados) o aumento da escolaridade superior contribui para um maior crescimento do PIB por trabalhador nas economias mais avançadas e próximas da fronteira. Entretanto, o aumento da escolaridade básica, medida pelo nível educacional primário/secundário, contribui mais para o crescimento das economias mais afastadas da fronteira. Para as duas funções de crescimento (considerando o crescimento do PIB por trabalhador e a PTF), em todos os métodos de estimação (efeitos fixos, aleatórios e de máxima verossimilhança) os parâmetros satisfazem as hipóteses e apresentam forte significância no modelo. A importante consideração é que os resultados deste trabalho comprovam as conjecturas levantadas por outros estudos, como Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) e Aghion, Boustan, Hoxby, e Vandenbussche (2009), Rocha e Silveira (2009), Coad (2011) e Ang, Madsen e Islam (2011). Os investimentos em educação devem ser alocados conforme as necessidades de cada economia, diagnosticando a sua real influência e propondo arranjos conectados com uma política industrial (demanda). Este planejamento evita a aplicação de modelos desconexos com a realidade de cada país.

REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; ZILIBOTTI, F. (2002) "Distance to Frontier, Selection and Economic Growth", Journal of the European Economic Association, March, 4(1):37–74.
- AGHION, P.; BOUSTAN, L.; HOXBY, C; VANDENBUSSCHE, J. (2009) “The Causal Impact of Education on Economic Growth: Evidence from United States” Brookings Papers on Economic Activity, April 2009 Conference.
- _____. (2007) Exploiting States’ Mistakes to Identify the Causal Impact of Higher Education on Growth. Harvard University, mimeo.
- AGHION, P.; HOWITT, P. (2009) **The Economics Of Growth**. Cambridge, MA: MIT Press.

¹³ Os parâmetros estimados por variáveis instrumentais apresentaram significância estatística e com sinais esperados. Os testes de posto indicaram uma relevância dos instrumentos, seguidos de teste de exogeneidade (Sargan) e de endogeneidade, cujos resultados não foram apresentados por falta de espaço.

- ANDERSON, T.W. (1984) **Introduction to Multivariate Statistical Analysis**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- ANG, J.B.; MADSEN, J.B.; ISLAM, Md.R. (2011) The effects of human capital composition on technological convergence. **Journal of Macroeconomics**, 33 (2011), pp. 465–476.
- BARRO, R.J., LEE, J.W. (2001) International data on educational attainment: updates and implications. *Oxford Economic Papers* 53, 541–563.
- BAUM, C.F., SCHAFFER, M.E., STILLMAN, S. (2003) "Instrumental variables and GMM: estimation and testing." *The Stata Journal* 3, 1–31.
- BENHABIB, J. ; SPIEGEL, M.M. (2005) "Human Capital and Technology Diffusion," *Handbook of Economic Growth*, In: PHILIPPE AGHION & STEVEN DURLAUF (ed.), *Handbook of Economic Growth*, edition 1, volume 1, chapter 13, pages 935-966, Elsevier.
- CASELLI, F., COLEMAN, W.J. (2006) The world technology frontier. *American Economic Review* 96, 499–522.
- CASELLI, F., ESQUIVEL, G., LEFORT, F. (1996) Reopening the convergence debate: a new look at cross-country empirics. *Journal of Economic Growth* 1, 363–389.
- CICCONE, A. ; PAPAIOANNOU, E. (2009) "Human Capital, the Structure of Production and Growth," *The Review of Economics and Statistics*, February 2009, 91(1): 66–82.
- COAD, A. (2011) Appropriate business strategy for leaders and laggards. **Industrial and Corporate Change**, Volume 20, Number 4, pp. 1049–1079.
- COHEN, D.; SOTO, M. (2007) Growth and Human Capital: Good Data, Good Results. *Journal of Economic Growth*, 12(1) (March): 51-76.
- GERSCHENKRON, A. (1962). **Economic Backwardness in Historical Perspective**. Harvard University Press.
- GROSSMAN, G.M. ; HELPMAN, E. (1991) **Innovation and Growth in the Global Economy**. Cambridge, MIT Press.
- HALL, R.E.; JONES, C.I. (1999) "Why Do Some Countries Produce So Much More Output per Worker than Others?" **Quarterly Journal of Economics**, 114(1), pp. 83-116.
- HAMERMESH, D.S. (1993) **Labor demand**. Princeton: Princeton University Press.
- HECKMAN, J.J.; LOCHNER, L.J.; TODD, P.E. (2003) Fifty Years of Mincer Earnings Regressions. NBER Working Paper, n° 9732.
- HESTON, A.; SUMMERS, R.; ATEN, B. (2009) PennWorld Table, Version 6.3. Technical Report. Center for International Comparisons of Production, Income and Prices, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- KATZ, L.F. ; AUTOR, D.H. (1999) "Changes in the Wage Structure and Earnings Inequality," in Orley Ashenfelter and David Card, eds., *Handbook of labor economics*. Vol. 3A. Amsterdam: Elsevier Science, North-Holland, pp. 1463-555.
- KIM, L. (1997) **Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning**. Boston: Harvard Business School Press.

- KLENOW, P.; RODRÍGUEZ-CLARE, A. (1997) The neoclassical revival in growth economics: has it gone too far? In: BERNANKE, Ben e ROTEMBERG, Julio (Eds.). NBER Macroeconomics Annual 1997. MIT Press, p. 73-114.
- MALERBA, F. (2004) **Sectoral Systems of Innovations: Concepts, Issues And Analyses Of Six Major Sectors In Europe**. Cambridge: Cambridge University Press.
- MALERBA, F. ; ORSENIGO, L. (1993) Technological regimes and firm behavior. *Industrial and Corporate Change*, p. 45-71.
- MANKIW, N.G., ROMER, D. ; WEIL, D. (1992) "A Contribution to the Empirics of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics* 107 (2): 407–37.
- MANSFIELD, E. (1984) R&D and Innovation: Some Empirical Findings. In: GRILICHES, Z. (1984) **R&D, Patents, and Productivity**. Chicago: University of Chicago Press, p.127-154.
- NATIONAL SCIENCE BOARD (2010) **Science and Engineering Indicators 2010**. Arlington, VA: National Science Foundation.
- MINCER, J. (1958) Investment in Human Capital and Personal Income Distribution. *Journal of Political Economy*, 66(4): 281-302.
- OECD (2011), **Skills for Innovation and Research**, OECD Publishing.
- OTT, I. ; SORETZ, S. (2011) "Public policies and convergence", *Journal of Economic Dynamics & Control*, vol.35(2011), pp.1435–1450.
- PRITCHETT, L. (2001) Where has all the education gone? *The World Bank Economic Review* 15, 367–391.
- RODRIGUEZ, A.; DAHLMAN, C.; SALMI, J. (2008) **Knowledge and innovation for competitiveness in Brazil**. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development; World Bank.
- ROCHA, L.A. ; SILVEIRA, J.M.F.J. (2009) Fronteira Tecnológica, Políticas Públicas e o Crescimento dos Estados Brasileiros. In: XXXVII Encontro Nacional de Economia. Foz do Iguaçu: Rio de Janeiro: ANPEC, 2009. (Anais eletrônicos, vol. 37).
- SARGAN, J. (1958) The estimation of economic relationships using instrumental variables. *Econometrica* 26(3): 393-415.
- SALA-I-MARTIN, X. (2010) "The Global Competitiveness Index." *The Global Competitiveness Report 2009–2010*, World Economic Forum, Geneva: Switzerland.
- VANDENBUSSCHE, J.; AGHION, P.; MEGUIR, C. (2006) Growth, Distance to Frontier and Composition of Human Capital. *Journal of Economic Growth*. v.11, 97-127.