

O impacto das tecnologias da informação e comunicação no PIB brasileiro: exercícios com o modelo de Paul Romer

The impact of the use of ICT (information and communication technologies) on the Brazilian GDP: an exercise using Paul Romer's model

Renato da Silveira Pazotto^a
Maria Cristina Sanches Amorim^b
Flávio Morgado^c

RESUMO: O objetivo deste artigo é avaliar o impacto do investimento em TICs no PIB brasileiro. Quanto à metodologia, trata-se de exercício quantitativo com o modelo de Paul Romer, tendo como parâmetro estudo do *International Telecommunication Union (ITU)*, agência das Nações Unidas que produziu o *ICT Development Index (IDI)*, índice de desenvolvimento das tecnologias da informação. O resultado mostra que países com uma grande população, um baixo índice de capacitação e baixo acesso às tecnologias da informação são aqueles que apresentam maior variação percentual do PIB. Dados os ajustes necessários à utilização dos dados disponíveis, os valores absolutos encontrados são menos importantes do que a elaboração da ferramenta.

Palavras-chave: Desenvolvimento e Tecnologia da Informação e Comunicação. PIB Brasileiro. Paul Romer.

ABSTRACT: The aim of this paper is to evaluate the impact of investment in ICT in the Brazilian GDP. Regarding the methodology, it is quantitative exercise with the model of Paul Romer, modeled on a study by the International Telecommunication Union (ITU), the UN agency that produced the ICT Development Index (IDI), index of technology development information. The result shows that countries with a large population, a low level of training and poor access to information technologies are those that have a higher percentage change in GDP. Given the necessary adjustments to the use of available data, the absolute values found are less important than the development of the tool.

Keywords: Development and Information Technology and Communication. Brazilian GDP. Paul Romer.

JEL classification: O33 - Technological Change: Choices and Consequences; Diffusion Processes.

1 Introdução

O objetivo do artigo é avaliar as consequências do investimento em tecnologias da informação e comunicação (TICs) no PIB brasileiro. Trata-se de exercício quantitativo com o modelo de Paul Romer, tendo como parâmetro um estudo do *International Telecommunication Union (ITU)*, agência das Nações Unidas que produziu o *ICT Development Index (IDI)*,

índice de desenvolvimento das tecnologias da informação.

A mensuração da adoção da tecnologia de nosso trabalho é a mesma em uso no Japão (desde meados dos anos 60) para medir o crescimento do *Joho Shakai*, que pode ser traduzido como comunidade ou sociedade da informação ou notícia. Desde 1975 o Ministério dos Correios e Telecomunicações do Japão procura medir em volume e tipo de sistema de transmissão

^a Economista graduado pela PUC-SP, diretor da Cisco Systems. <rpazotto@cisco.com>.

^b Professora titular do Departamento de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Administração da PUC-SP <cris.amorim@pucsp.br>.

^c Professor Doutor do Departamento de Computação da PUC-SP – Área de Administração e Computação e do Programa de Pós-Graduação em Educação nas Profissões da Saúde da PUC-SP. <fmorgado@pucsp.br>.



de informação, como o número de mensagens telefônicas, o tipo de aparelhos e a penetração dos sistemas e equipamentos utilizados (HALL e PRESTON, 1988).

Na Inglaterra, autores como Freeman (1987) retomam o argumento schumpeteriano para analisar o papel da inovação tecnológica radical, isto é, a “destruição criativa” em conjunto com a noção dos longos ciclos de Kondratieff e mostram que as TICs representam o estabelecimento de uma nova época, na qual, apesar do desconforto inicial da adoção, trará benefícios econômicos no longo prazo. Hall e Preston (1988), na mesma linha, apontam para o surgimento de um novo “paradigma” econômico-tecnológico, a partir do qual, estabelecem formalmente a sociedade da informação. Nota-se nas contribuições desses autores um traço comum, a ênfase nas bases tecnológicas produtivas como as definidoras da sociedade da informação. Esses autores, no entanto, não arriscam mensurar os fenômenos que analisam.

A dificuldade com a medição, associada à fragilidade das definições criam problemas metodológicos importantes, pois como avaliar o quanto um determinado país está inserido – ou fora – na sociedade da informação? Sem o parâmetro, as políticas públicas são mais incertas. O problema é geralmente negligenciado por todos quantos pregam que com o surgimento das novas tecnologias, “automaticamente” temos a sociedade da informação, ainda mais para estudiosos que insistem que as TICs são o índice mais relevante da sociedade da informação.

O artigo está organizado em três partes, mais a conclusão: apresentação da literatura e discussão do conhecimento como fator de produção; apresentação e discussão do modelo de Paul Romer (economista norte americano, nascido em 1995, foi professor da New York University, pioneiro na teoria do crescimento endógeno); a aplicação do modelo de Romer aos dados levantados pelo estudo do *ITU*; por fim, na conclusão, nossas considerações sobre as relações entre investimento em TI e crescimento econômico e a utilização do ferramenta proposta por Romer para a análise de políticas públicas.

2 Conhecimento como fator de produção

A chamada economia do conhecimento aponta o conhecimento como fator de produção

(ROMER, 1986; DOWBOR, 1998). A função de produção de inspiração neoclássica é definida por:

$$Q = f(L, K)$$

onde Q é a quantidade de produto, L é a quantidade de mão de obra utilizada e K é a quantidade de capital empregada.

A função de produção depende de condições tecnológicas exógenas sendo que ao longo do tempo, com o progresso tecnológico, estas condições podem variar deslocando essa função de produção.

Em particular, o progresso tecnológico se refere a situação em que a empresa pode obter mais produtos a partir de uma dada combinação de fatores de produção, ou equivalentemente, a mesma quantidade de produção, a partir de menos insumos. (BESANKO e BRAEUTINGAM, 2004, p. 170)

A análise dos fatores de produção, considerando o binômio clássico, de capital e trabalho, e seus ganhos de produtividade, ganha uma nova força, agora, com a utilização das novas tecnologias da informação e comunicação. As TICs alteram substancialmente o acesso dos agentes à informação, redefinindo a importância do conhecimento na função de produção (CASTELLS, 2000; WEBSTER, 2006).

Um conjunto de fenômenos tais como a revolução da tecnologia de informação, a concentração espacial dos centros de pesquisa, os fornecedores e a disponibilidade de capital de risco geraram dinâmica própria, atraindo conhecimento, talentos e capital, de todas as partes do mundo, criando um ciclo de inovação, que se retroalimenta, ampliando o desenvolvimento de novas tecnologias, em novos campos (CASTELLS, 2000).

“Pela primeira vez na história, a mente humana é uma força direta de produção e não apenas um elemento decisivo no sistema produtivo” (CASTELLS, 2000, p. 69). Com isso, o conhecimento é caracterizado como fator de produção, levando à análise de suas implicações para o estabelecimento da sociedade da informação.

Crescimento econômico sustentável na nova economia mundial depende do desenvolvimento bem-sucedido de estratégias que envolvam o uso e a criação de

conhecimento no centro do processo de desenvolvimento.

Contrariamente a certas crenças correntes, o conceito de Economia do Conhecimento não gira necessariamente em torno de tecnologias de informação e comunicação. As tecnologias são, apenas, habilitadores da mudança, facilitando a criação de conhecimento em sociedades onde já há uma infra-estrutura para a educação e inovação. (OECD, 1996)

No modelo econômico de inspiração neoclássica a alocação do capital e trabalho são os fatores de produção, e por isso mesmo, força motriz da economia, sendo que os outros fatores, como conhecimento e progresso tecnológico, são considerados fatores exógenos. Coube a Romer (1986) a crítica à essa função de produção ao apresentar uma nova teoria do crescimento, ainda que se beneficiando das contribuições de outros pesquisadores interessados nas causas subjacentes ao crescimento de longo prazo.

Mudanças foram sugeridas ao modelo neoclássico, seguindo as proposições formuladas por Joseph Schumpeter e Robert Solow. Mas coube a Romer (1986) propor que a tecnologia, e o conhecimento no qual é baseada, sejam considerados parte intrínseca do sistema econômico, isto é, fatores endógenos. Nesta perspectiva o conhecimento torna-se o terceiro fator de produção em economias avançadas, é tanto insumo quanto produto do processo produtivo.

Com isso, conhecimento passa a ser uma forma básica de capital que impulsiona o crescimento econômico e, ao mesmo tempo, gera condições para as inovações e o avanço tecnológico, que gera crescimento econômico. A espiral virtuosa, de uso aplicado de conhecimento e tecnologia, eleva os retornos no investimento:

O que explica porque as nações desenvolvidas podem sustentar o crescimento e por que economias em desenvolvimento, mesmo aquelas com amplos recursos financeiros e mão de obra, não logram crescer ou crescem com taxas insignificantes. (VAHDAT, 2008, p. 27)

É importante ressaltar também a necessidade de proteção ou mesmo de incentivo provisório para as empresas que investem em pesquisa e desenvolvimento, para que o crescimento tecnológico aconteça e parte desses

lucros seja reinvestido, não só em tecnologia, como também, na formação de seus funcionários, fomentando, com isso, um nível crescente da qualidade do conhecimento.

Em economias como a norte-americana, mais de 60% da força de trabalho já é constituída por trabalhadores do conhecimento. Estima-se que, anualmente, os gastos com educação e treinamento nos EUA já totalizem cerca de um trilhão de dólares, ou seja, cerca de 7% do PIB do país. A julgar pela importância do conhecimento nas economias, esse percentual deve continuar crescendo nos próximos anos. (VAHDAT, 2008, p. 31)

No Brasil, Dowbor (1998) aborda o assunto no ciclo da reprodução social. A produtividade resulta da combinação dos fatores de produção, como capacidade e trabalho, de uma forma específica e ordenada, em função de um objetivo e, com isso, tanto a definição do objetivo quanto a correta combinação dos fatores depende do conhecimento.

“Hoje, com a revolução tecnológica, a visão geral é a de que a produção passa a ser intensiva em conhecimento” (DOWBOR, 1998). Com isso, as empresas multinacionais ou transnacionais, por exemplo, podem utilizar recursos espalhados em centros de pesquisas, ao redor do mundo, e coordenar o conhecimento por meio das redes de telecomunicações, conseguindo, assim, utilizar as vantagens comparativas de cada região do planeta.

A introdução do conhecimento como fator de produção é incômoda, pois não se mede como as outras categorias econômicas. No entanto, não podemos deixar de considerar o papel central que desempenha só porque não aprendemos a medi-lo, de forma adequada. (DOWBOR, 1998)

Quanto maior o fluxo de conhecimento, maior a possibilidade que ele seja utilizado por diversas pessoas ao mesmo tempo, e com isso, ideias inovadoras são incorporadas ou adaptadas, na criação de novos produtos. A colaboração é fator importante para que a produtividade e a inovação tenham crescimento acelerado. Um exemplo de colaboração é a utilização e distribuição dos chamados “*software livre*”, nos quais o código fonte é compartilhado para que desenvolvedores possam aproveitar módulos para a criação e adaptação de novos,

criando novos produtos, de forma mais rápida e com menor custo de produção.

Também no campo do conhecimento, a produtividade aumenta pela repetição das tarefas. Empresas que se deparam com tarefas repetitivas para a busca de informação ou resolução de problemas estão criando uma base de conhecimento, de forma organizada, compartilháveis internamente, reduzindo tempo e custo de resolução de problemas e aumentando a qualidade dos serviços.

Ao alterar a função de produção Romer (1986) propõe uma nova teoria do crescimento econômico na qual o conhecimento e a definição de propriedade intelectual são apresentados formalmente como parte importante do crescimento econômico, descrevendo o conhecimento, como elemento ou insumo, e, também, como produto final, em um processo produtivo. A acumulação do conhecimento, e não apenas os fatores físicos, é o diferencial competitivo para o desenvolvimento econômico (como já previra Schumpeter), pois é o conhecimento que dita a forma como os produtos primários são combinados para maior utilidade do produto final. A maneira específica como são combinados os fatores físico para a produção de bens de alta intensidade tecnológica têm se tornado cada vez mais complexa, requerendo conhecimentos especializados.

Projetos podem ser criados e melhorados por empreendedores que se apropriam dessas novas ideias. Os direitos associados à propriedade intelectual, *trade secrets* e o conhecimento em geral, caracterizam-se por uma competição monopolista, que tende a perder força e desaparecer com o tempo, pois, diferentemente do capital humano, a propriedade intelectual pode ser facilmente copiada (ROMER, 1986).

O modelo de Romer difere do modelo de crescimento de Solow, pois considera um setor de pesquisa e desenvolvimento que produz mais conhecimento, de maneira endógena, potencializando os resultados da produção. O conhecimento não significa apenas informação, que pode ser definida como fatos ou dados, mas requer um entendimento dos fatos, ideias e procedimentos organizados de forma estruturada para a utilização mais ampla e compartilhada. O grau em que esse conhecimento é compartilhado é fundamental para o resultado (ROMER, 1986).

3 O modelo de Romer

Romer (1986) parte do princípio de que o conhecimento melhora as tecnologias e que uma nova ideia pode gerar nova combinação de determinados insumos, criando um produto melhor.

A melhora no índice tecnológico não está restrita à engenharia de produtos, mas também aos processos que permitem às empresas combinar mais eficientemente os insumos ou atender melhor às preferências dos consumidores. Sinteticamente, a relação de causalidade entre a economia do conhecimento e o crescimento econômico apresenta-se como:



O conhecimento caracteriza-se pela ausência de rivalidade, ou seja, mais de uma pessoa pode usá-lo, ao mesmo tempo. Por exemplo, o fato de uma montadora utilizar determinado processo de produção não impede que uma concorrente utilize o mesmo processo, uma vez que criada a ideia, qualquer um pode tirar proveito. Isso torna o conhecimento muito diferente dos outros bens econômicos, que não podem ser compartilhados ao mesmo tempo e assim, são denominados rivais (ROMER, 1986).

De acordo com Jones (2000), o modelo de Romer torna endógeno o progresso tecnológico quando novas ideias são propostas por pesquisadores interessados em lucrar a partir de suas invenções. Demonstra o modelo utilizando uma equação que descreve a função de produção e um conjunto de equações que descrevem a evolução dos insumos da função de produção, ao longo do tempo.

A função de produção de Romer pode ser descrita, por:

$$Y = K^\alpha (AL_y)^{(1-\alpha)} \quad (3.1)$$

onde é K o estoque de capital, L_y é o estoque de trabalho e A é o estoque de ideias ou conhecimento, sendo α um número entre 0 e 1.

Considerando-se o nível de tecnologia A na função de produção há retornos de escala constante, porém, considerando-se A também como insumo da produção há retornos crescentes de escala e essa presença de retornos crescentes de escala “decorre fundamentalmente da natureza não rival das ideias” (JONES, 2000, p. 82).

O capital se acumula, na medida em que as pessoas abrem mão do consumo, a uma taxa, e o capital se deprecia a uma taxa exógena.

$$\dot{K} = s_k Y - dK \quad (3.2)$$

A força de trabalho é equivalente à população e cresce, exponencialmente, a uma taxa constante n , também exógena.

$$n = \frac{\dot{L}}{L} \quad (3.3)$$

A equação chave que é a nova relação ao modelo neoclássico é aquela que descreve o progresso tecnológico. No modelo neoclássico, o termo de produtividade A , cresce de maneira exógena a uma taxa constante. No modelo de Romer, o crescimento de A foi tornado endógeno (JONES, 2000).

Em seu modelo, Romer define $A(t)$ como o estoque de conhecimento adquirido ao longo da história até o momento t . Com isso, temos que \dot{A} é o número de conhecimento ou ideias geradas a qualquer momento. Com isso, temos que:

$$\dot{A} = \bar{\delta} L_A \quad (3.4)$$

Onde $\bar{\delta}$ é a taxa de novas ideias ou de conhecimento adquirido, por parte das pessoas e L_A é o número de pessoas que tentam descobrir novas ideias.

Neste caso, a mão de obra dedicada a descobrir novas ideias e gerar novos produtos, é dada por:

$$L = L_A + L_Y \quad (3.5)$$

Neste modelo, o conhecimento e as pessoas relacionadas à pesquisa têm papel fundamental, pois a taxa de geração de novas ideias pelos pesquisadores pode ser uma constante, porém, ela pode estar relacionada às ideias anteriormente geradas, aumentando a produtividade dos pesquisadores, no presente.

Como $\bar{\delta}$ pode ser uma função crescente de A , e, por outro lado, uma vez que as ideias mais óbvias sejam descobertas e as novas ideias se tornem mais difíceis de serem geradas, pode-se ter que $\bar{\delta}$ seja uma função decrescente de A , e isso pode ser modelado da seguinte forma:

$$\bar{\delta} = \delta A^\phi \quad (3.6)$$

Sendo δ e ϕ constantes e que $\phi > 0$ significa que a produtividade da pesquisa aumenta com o número de ideias geradas; $\phi < 0$ que fica cada vez mais difícil gerar novas ideias, a partir do que já se obteve, e $\phi = 0$ que a produtividade da pesquisa independe do estoque de conhecimento. Além do estoque do conhecimento, o modelo passa a analisar que a produtividade média pode ser dependente do número de pesquisadores, e uma maneira de modelar isso é considerar L_A^λ , onde λ é um parâmetro com valor entre 0 e 1, entrando na função de produção de novas ideias, ao invés de L_A .

Com isso, temos uma função geral para as ideias:

$$\dot{A} = \delta L_A^\lambda A^\phi \quad (3.7)$$

De maneira prática λ mostra o ganho de um trabalho colaborativo e a habilidade do trabalho em grupo, que pode ser potencializado ou mesmo facilitado pelas tecnologias da informação e comunicação, ao passo que ϕ dá o grau de liberdade de compartilhamento de informações e novas ideias.

Por exemplo, $\lambda < 1$ pode refletir uma externalidade associada a uma duplicação: algumas das ideias criadas por um pesquisador individual podem refletir uma externalidade associada à duplicação. Não sendo novas, não resultam ganhos para a economia. Da mesma forma A^ϕ é tratada como externa em relação ao agente individual, sendo no caso de $\phi > 0$ uma externalidade positiva para a economia como um todo.

Com isso, tem-se que o crescimento leva em consideração que uma parcela da população está associada à geração de novas ideias e, seguindo os passos do modelo neoclássico, atribuindo ao progresso tecnológico o crescimento per capita, retomamos a seguinte equação:

$$g_y = g_k = g_A \quad (3.8)$$

Ou seja, o produto per capita, a razão capital trabalho e o estoque de ideias crescerão à mesma taxa ao longo da trajetória de crescimento equilibrado.

Sendo a taxa de progresso tecnológico dada por temos que:

$$\frac{\dot{A}}{A} = \delta \frac{L_A^\lambda}{A^{1-\phi}} \quad (3.9)$$

E, ao longo da trajetória de crescimento equilibrado $\dot{A}/A = g_A$ é constante e para isso tanto LA^λ como $A^{1-\phi}$ devem crescer à mesma taxa e ao longo da trajetória de crescimento equilibrado, a taxa de crescimento do número de pesquisadores deve ser igual à taxa de crescimento da população. Sendo $L_A/L_A = n$ tem-se que a taxa de crescimento desta economia é determinada pelos parâmetros da função de produção de ideias e da taxa de crescimento de pesquisadores, que, em última instância, é dada pela taxa de crescimento da população. Sendo assim:

$$g_A = \frac{\lambda n}{1-\phi} \quad (3.10)$$

A fim de esclarecer melhor, supondo um caso especial, onde $\lambda=1$ e $\phi=0$ e a produtividade dos pesquisadores é a constante δ , não há o problema da duplicidade e a produtividade do pesquisador é independente do estoque de ideias. A função de produção de ideias será:

$$\dot{A} = \delta L_A \quad (3.11)$$

O modelo de Romer sugere que, a fim de gerar crescimento, o número de novas ideias deve crescer ao longo do tempo, o que ocorre se o número de pesquisadores aumentar em decorrência do crescimento populacional. Uma população maior gera mais ideias e como as ideias são não rivais, todos, na economia, se beneficiam. Se o número de pesquisadores, em relação ao crescimento populacional diminuir, o crescimento econômico diminuiria, até parar.

Jones (2000) relata um caso especial em que um esforço de pesquisa constante pode sustentar o crescimento de longo prazo, permitindo-nos comentar que a função de produção de ideias considerada no artigo original de Romer (1986) supõe que $\lambda=1$ e $\phi=1$, isto é:

$$\dot{A} = \delta L_A A \quad (3.12)$$

Assim, o modelo gerará crescimento sustentado, na presença de um esforço de pesquisa constante:

$$\dot{A} = \delta L_A \quad (3.13)$$

A conclusão é que a taxa de crescimento das economias avançadas deveria aumentar com o esforço mundial de pesquisa ocorrido desde os

anos 80, porém, os dados empíricos mostram que isso não ocorreu, o que nos faz rejeitar a formulação original de Romer, com $\phi=1$; e com isso, tomamos $0 < \phi < 1$ como um valor mais realista, remetendo-nos de volta ao crescimento relacionado em:

$$g_A = \frac{\lambda n}{1-\phi} \quad (3.14)$$

Porém, não se exclui deste raciocínio a existência de retornos crescentes para a pesquisa ou de externalidades positivas do conhecimento. No modelo, mesmo com o progresso tecnológico sendo considerado endógeno, não há indicação que a taxa de crescimento de longo prazo se beneficie pelos investimentos formulados por políticas públicas de subsídios à pesquisa e desenvolvimento.

O que acontece é um aumento temporário da taxa de progresso tecnológico com \dot{A}/A superando o crescimento populacional n , porém, com o tempo, a razão L_A/A diminui, voltando ao ponto inicial, onde o crescimento equilibrado leva a $g_A = n$, porém, elevando o nível tecnológico e renda a um novo patamar.

4 Aplicações do modelo de Romer

De acordo com as contribuições de Romer (1986), é importante o crescimento do número de trabalhadores ligados a pesquisa, a não-rivalidade e a capacidade de compartilhar as novas ideias que por sua vez, será novos insumos na geração de novas ideias. Para atender no mínimo à condição da organização, gerenciamento e compartilhamento do estoque de ideias, as tecnologias da informação e comunicação causam grande impacto na criação do conhecimento e do desenvolvimento econômico.

Da mesma forma o uso das tecnologias de informação, como a disponibilidade de internet nas escolas, órgãos públicos e residências impulsionam o acesso e compartilhamento das informações que também contribuem para a geração do conhecimento. A ITU (Agência das Nações Unidas que se ocupa no estudo da evolução das tecnologias de informação e comunicação) tem realizado pesquisas em 159 países para medir a "Sociedade da Informação" com a metodologia de criação de um índice de desenvolvimento das TICs.

Nesta mesma linha, propomos um índice que se relacione ao estoque de conhecimento de Romer para medir e acompanhar o impacto da variação deste índice no PIB.

Os principais objetivos de mensuração do *ICT Development Index (IDI)* são:

- o nível e evolução no tempo dos desenvolvimentos das TICs nos países e em relação aos outros países;
- o progresso no desenvolvimento das TICs nos países desenvolvidos e em desenvolvimento: o índice deve ser global e refletir as mudanças que estão ocorrendo nos países em diferentes níveis de desenvolvimento de TICs;
- o *digital divide*, as diferenças entre os países com diferentes níveis de desenvolvimento de TICs;
- o potencial de desenvolvimento das TICs na maneira como os países as utilizam para a melhoria do crescimento e desenvolvimento baseado nas capacidades e habilidades; levando em consideração os níveis de educação.

Discutiremos, a seguir, o quadro conceitual do *IDI* que, por meio dos estudos do *ITU*, reconhece que as TICs podem ser um facilitador para o desenvolvimento e são críticas para os países que estão caminhando para uma sociedade baseada na informação ou conhecimento e que são a base do quadro conceitual do *IDI*. O processo de desenvolvimento das TICs e transformação dos países em se tornarem uma sociedade da informação podem ser descritas em um modelo de três estágios:

- estágio 1: prontidão para as TICs (reflete o nível da infraestrutura e acesso às TICs);
- estágio 2: intensidade das TICs (reflete o nível do uso das TICs na sociedade);
- estágio 3: impacto das TICs (reflete o resultado de um uso eficiente e efetivo das TICs).

Mover-se ao longo destes três estágios depende da combinação de três componentes. Infraestrutura/acesso às TICs (estágio 1); intensidade/uso das TICs (estágio 2) e habilidades em TICs (estágio 3). Os dois primeiros estágios estão refletidos nos dois componentes do *IDI*; alcançar o estágio final e maximizar o impacto das TICs depende crucialmente no terceiro componente, a habilidade em TICs.

Baseado neste quadro conceitual, o *IDI* é dividido em três subíndices:

- subíndice acesso: captura a prontidão das TICs e inclui cinco indicadores de infraestrutura e acesso (linhas telefônicas fixas, celulares, banda de acesso internacional à internet, residências com computadores e residências com internet).
- subíndice intensidade: captura a intensidade de uso das TICs e inclui três indicadores (Número de usuários de internet, acesso banda larga fixo e acesso banda larga móvel).
- subíndice habilidades: captura a capacitação ou habilidade nas TICs como um indicador de insumo indispensável (alfabetização, inscrições totais de ensino secundário e superior).

A Tabela 1 mostra um exemplo de cálculo baseado nos valores dos indicadores da Suécia para exemplificar a metodologia utilizada.

O valor ideal foi calculado pela adição de dois desvios-padrão para o valor médio do indicador. No uso de banda para diminuir o efeito do grande número de *outliers* na parte alta da escala de valor, os dados foram primeiro transformados em escala logarítmica. O valor ideal de 100.000 bits/s por usuário de Internet é equivalente a 5 quando transformado na escala logarítmica.

As habilidades em TICs determinam o uso efetivo das mesmas e são críticas para maximizar o potencial do impacto das TICs no desenvolvimento socioeconômico. De acordo com os estudos do *ITU* o crescimento econômico e desenvolvimento permanecerão abaixo do potencial se as economias não são capazes de explorar novas tecnologias e perceber seus benefícios, o que se alinha às teses de Romer (1986).

Um único indicador não pode acompanhar o progresso nestes três componentes do processo de desenvolvimento das TICs e com isso exige a construção de um índice composto tal como o *IDI*. O *IDI* tem como objetivo capturar a evolução da sociedade da informação, uma vez que considera suas diferentes fases de desenvolvimento, levando em conta a convergência e o surgimento de novas tecnologias. A escolha dos indicadores incluídos em cada um dos três subíndices reflete este estágio particular, podendo mudar ao longo do tempo, refletindo o desenvolvimento tecnológico relacionado às TICs.

Por exemplo, o que é considerado hoje infraestrutura básica, como linhas fixas, poderá

Tabela 1. Cálculo do *IDI* para a Suécia

Suécia			
Indicadores	Valor Ideal	2008	
Acesso a TIC			
a	Números de linhas telefônicas fixas por 100 habitantes	60	57,80
b	Número de assinantes celulares por 100 habitantes	170	118,30
c	Uso da banda Internet Internacional (bits/s) por usuário	100000	109928,00
d	Proporção de residências com computador	100	87,00
e	Proporção de residências com acesso Internet	100	84,00
Uso de TIC			
f	Usuários de Internet por 100 habitantes	100	88,00
g	Assinantes de banda larga fixa por 100 habitantes	60	41,20
h	Assinantes de banda larga móvel por 100 habitantes	100	35,50
Habilidades em TIC			
i	Taxa de alfabetização adulta	100	99,00
j	Taxa de Matrícula no ensino secundário	100	96,40
k	Taxa de Matrícula no ensino superior	100	74,40
Valores Normalizados			
Acesso a TIC		Fórmula	peso
z1	Números de linhas telefônicas fixas por 100 habitantes	a/60	0,20
z2	Número de assinantes celulares por 100 habitantes	b/70	0,20
z3	Uso da banda Internet Internacional (bits/s) por usuário	log(c)/5	0,20
z4	Proporção de residências com computador	d/100	0,20
z5	Proporção de residências com acesso Internet	e/100	0,20
Uso de TIC			%
z6	Usuários de Internet por 100 habitantes	f/100	0,33
z7	Assinantes de banda larga fixa por 100 habitantes	g/60	0,33
z8	Assinantes de banda larga móvel por 100 habitantes	h/100	0,33
Habilidades em TIC			
z9	Taxa de alfabetização adulta	i/100	0,33
z10	Taxa de Matrícula no ensino secundário	j/100	0,33
z11	Taxa de Matrícula no ensino superior	k/100	0,33
Sub-índices			
Acesso a TIC sub-índice (L)		y1+y2+y3+y4+y5	0,40
y1	Números de linhas telefônicas fixas por 100 habitantes	z1*0,20	0,19
y2	Número de assinantes celulares por 100 habitantes	z2*0,20	0,14
y3	Uso da banda Internet Internacional (bits/s) por usuário	z3*0,20	0,20
y4	Proporção de residências com computador	z4*0,20	0,17
y5	Proporção de residências com acesso Internet	z5*0,20	0,17
Uso de TIC sub-índice (M)		y6+y7+y8	0,40
y6	Usuários de Internet por 100 habitantes	z6*0,33	0,29
y7	Assinantes de banda larga fixa por 100 habitantes	z7*0,33	0,23
y8	Assinantes de banda larga móvel por 100 habitantes	z8*0,33	0,12
Habilidades em TIC sub-índice (N)		y9+y10+y11	0,20
y9	Taxa de alfabetização adulta	z9*0,33	0,33
y10	Taxa de Matrícula no ensino secundário	z10*0,33	0,32
y11	Taxa de Matrícula no ensino superior	z11*0,33	0,25
IDI ICT DEVELOPMENT INDEX		((L*0,40)+(M*0,40)+(N*0,20))*10	7,85

Fonte: ITU (2010).

não ser tão relevantes no futuro, dada a crescente substituição fixo-móvel. Da mesma forma, a banda larga é atualmente considerada como uma tecnologia avançada, caracterizando o uso intenso da internet e é, portanto, incluída no estágio 2 (subíndice de uso), mas no futuro pode tornar-se essencial e passar para o estágio 1 (subíndice acesso), enquanto outra nova tecnologia aparecerá no estágio 2.

Apresentamos abaixo a associação do *IDI* às teorias do crescimento econômico de Romer por meio da função de produção definida em (3.1) que considera o estoque de capital, o estoque de trabalho e o estoque de conhecimento ou ideias. Pela sua composição (que considera aspectos tecnológicos e de recursos humanos) vemos que o *IDI* pode ser utilizado no modelo de Romer como o estoque de ideias *A*.

A aproximação pode ficar aquém do objetivo inicial de Romer, porém tem um efeito prático de utilização no diagnóstico de potencial de desenvolvimento econômico avaliando as variáveis presentes no *IDI*.

Da função original de Romer, passamos para a nova função de produção dada por:

$$Y = K^\alpha (IDI \cdot L_y)^{1-\alpha} \quad (4.1)$$

Admitindo que o nível de produção de um país per capita está relacionado ao estoque de ideias e com o estoque de trabalho, aqui representados pelo *IDI*, podemos avaliar se há uma correlação do PIB Nacional com o *IDI* em uma nova função:

$$PIB_{per\ capita} = F(IDI, L_y) \quad (4.2)$$

Utilizando os dados do *World Bank* (2012) da Renda Nacional Bruta de todos os países ajustada para a Paridade do Poder de Compra (PPC), e do *ITU*, a função passa a ser:

$$RNB_{per\ capita} = F(IDI, L_y) \quad (4.3)$$

Verificamos, a seguir, a correlação entre o *IDI* e a *RNB per capita* ajustada para a *PPC*, conforme apresentado no Gráfico 1.

De acordo com o *ITU*, como muitos dos indicadores relacionados ao desenvolvimento

sócio econômico, os indicadores de TICs têm uma forte correlação com os níveis de renda nacional. O Gráfico 1 mostra o *IDI* contra a *RNB per capita*, resultando um valor de *R2* de 0,8774, indicando uma correlação muito forte entre as duas variáveis.

Aplicando-se os dados disponíveis diretamente à função de produção de Romer com as seguintes alterações, temos:

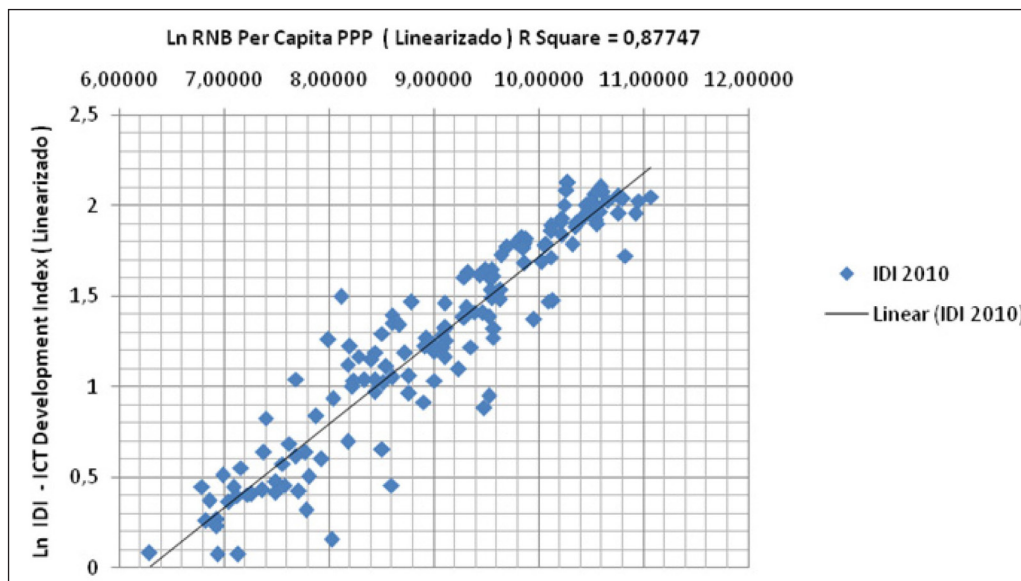
$$Y = \beta K^\alpha (IDI \cdot L_y)^\lambda \quad (4.4)$$

Considera-se a variável β como um peso para ajuste do efeito do capital no modelo para os países de forma individual e as variáveis α e λ de forma genérica no modelo.

Foram escolhidos para o estudo os países com economias mais relevantes das Américas, Europa e Ásia e com informações disponíveis na base do *World Bank* e do *ITU*. A Tabela 2 mostra, para os países escolhidos, os valores de variáveis econômicas e do *IDI*.

Para a Tabela 3 os valores de β , α e λ foram calculados para se encontrar a menor variação entre o PIB calculado pelo modelo e o valor atual do PIB. Aplicamos os valores encontrados do *World Bank* e ajustamos apenas os valores de β para que o PIB calculado se igualasse ao PIB atual; com isso temos a possibilidade de medir o impacto da variação do *IDI* no PIB.

Gráfico 1. Regressão linear do *IDI* e *RNB per capita* ajustada a paridade do poder de compra com 148 países



Fonte: Elaboração dos autores, 2012.

Tabela 2 – Lista de 14 países objeto do estudo relacionando a força de trabalho, a renda nacional *per capita* e o *IDI*

País	Força de Trabalho (2009) em milhares de pessoas	RNB <i>per capita</i> (2010) em US\$ milhares	Formação Bruta de capital (2009) em US\$ milhões	PIB <i>per capita</i> PPP (2010) em US\$ milhares	PIB Total (2010) em US\$ milhões	IDI
Estados Unidos	159.408,7	47,1	1.999.100,0	47,2	14.582.400,0	7,09
Japão	65.699,5	34,8	1.032.409,9	34,0	4.332.537,4	7,42
Alemanha	42.321,5	38,1	549.314,2	37,6	3.071.281,8	7,27
Rússia	75.846,4	19,2	230.703,6	19,8	2.812.383,1	5,38
Reino Unido	31.739,5	36,6	295.797,4	35,9	2.231.149,5	7,6
França	29.558,8	34,4	502.372,3	33,8	2.194.118,4	7,08
Brasil	101.247,5	10,9	263.226,1	11,1	2.169.180,5	4,22
Italia	25.400,3	31,1	399.512,8	31,6	1.908.568,9	6,57
México	48.491,2	14,4	195.592,7	14,6	1.652.167,6	3,75
Espanha	22.911,1	31,6	357.536,3	2,1	1.477.839,6	6,73
Coreia do Sul	24.654,0	29,0	215.785,0	29,0	1.417.548,9	8,4
Turquia	24.627,7	15,2	91.728,0	15,3	1.115.994,2	4,42
Holanda	8.974,7	42,6	146.387,5	42,5	705.601,1	7,61
Argentina	19.496,8	15,3	64.243,4	15,9	642.255,2	4,64

Fonte: Elaboração dos autores com dados do *WorldBank* (2012) e ITU (2010).

Obs.: A Coreia do Sul era o 1º. país no *ranking* de IDI de 2010. O Brasil ocupava a 64ª posição nesse mesmo *ranking*.

Tabela 3. Lista de 14 países objeto do estudo relacionando a PIB total ajustado à paridade do poder de compra, o PIB ajustado ao modelo e os valores indicativos das variáveis β , α e λ

País	PIB Total PPP (2010) em US\$ milhões	PIB Ajustado Romer em US\$ milhões	β	α	λ
Estados Unidos	14.582.400,0	14.579.258,7	2,80	0,5	0,75
Japão	4.332.537,4	4.333.130,3	1,69		
Alemanha	3.071.281,8	3.071.226,5	3,18		
Rússia	2.812.383,1	2.812.331,5	4,16		
Reino Unido	2.231.149,5	2.230.915,1	4,49		
França	2.194.118,4	2.192.453,5	3,16		
Brasil	2.169.180,5	2.168.355,6	2,02		
Italia	1.908.568,8	1.908.665,2	4,23		
México	1.652.167,6	1.650.710,6	5,68		
Espanha	1.477.839,6	1.477.806,1	3,19		
Coreia do Sul	1.417.548,9	1.417.159,2	3,12		
Turquia	1.115.994,2	1.115.866,4	11,95		
Holanda	705.601,1	704.957,8	6,01		
Argentina	642.255,2	642.242,0	7,46		

Fonte: Elaboração dos autores com dados do *World Bank*, 2012.

Na Tabela 4, aplicamos ao modelo o IDI máximo encontrado (no caso o da Coreia do Sul) e constatamos que os PIBs dos países apresentaram uma variação positiva.

Países como a Rússia, Brasil, México e Turquia apresentaram as maiores variações

– o que era esperado, dado que o IDI reflete a capacitação da força de trabalho e acesso e uso das TICs, que nestes países está muito abaixo do índice atual da Coreia do Sul.

Tabela 4. Lista de 14 países objeto do estudo relacionando ao *IDI* desejado a justado ao máximo atual e a variação do PIB

País	Varição do Modelo
Estados Unidos	12%
Japão	9%
Alemanha	10%
Rússia	28%
Reino Unido	7%
França	12%
Brasil	40%
Italia	17%
Mexico	45%
Espanha	15%
Coréia do Sul	0%
Turquia	38%
Holanda	7%
Argentina	36%

Fonte: Elaboração dos autores, 2012.

Com o modelo ajustado podemos estimar o efeito da variação do *IDI* no PIB. O *IDI* reflete a taxa de alfabetização adulta e a taxa de matrículas no ensino secundário e superior. Com isso, países como o Brasil, com um grande número de trabalhadores com baixo grau de formação, se esses trabalhadores tiverem acesso à educação, haveria um alto potencial de crescimento do PIB. O estoque de ideias analisado por Romer em uma visão prática pode ser considerado como os próprios trabalhadores educados. E o uso das tecnologias de informação para o compartilhamento de ideias e a educação dos trabalhadores é vital para o crescimento econômico.

Esta metodologia pode também ser utilizada para diagnosticar as lacunas existentes em infraestrutura das TICs, utilização e adoção das tecnologias e a proficiência dos usuários. Pode ser aplicada no âmbito municipal para identificar áreas com baixo potencial de crescimento devido à carência de investimentos nos subitens que compõe o *IDI*, permitindo diagnósticos úteis ao direcionamento de políticas públicas de investimento.

5 Conclusão

Procuramos identificar elementos da economia com os quais fosse possível relacionar a utilização das tecnologias da informação e a

criação do estoque de conhecimento definido por Romer. Utilizamos como referência o estudo da *International Telecommunication Union (ITU)* que realizou pesquisa em 159 países para medir o nível, a evolução das TICs e o potencial de desenvolvimento das TICs (o estudo considera a maneira como os países utilizam as referidas tecnologias e o nível de educação, com vistas no desenvolvimento das capacidades e habilidades das pessoas).

O índice da *ITU* captura o acesso às TICs, o conhecimento e o preparo da mão de obra (o uso de TICs, as habilidades em TICs), sugerindo-nos relacionar o estudo às propostas de Romer. O *ITU* mostra correlação entre *IDI* e a Renda Nacional Bruta, ajustada pela paridade do poder de compra.

Aplicamos no modelo de Romer o *IDI* como estoque de trabalho e de ideias para avaliar a correlação do PIB brasileiro com o *IDI*, utilizando om os dados disponíveis na base do *World Bank* diretamente à função de produção de Romer:

$$Y = K^{\alpha}(AL_y)^{1-\alpha} \quad (5.1)$$

Utilizamos a força de trabalho total (L_y), a formação bruta de capital (K), o PIB (Y) ajustado ao PPP (paridade do poder de compra) e o *IDI* na seguinte equação derivada da equação original de Romer:

$$Y = \beta K^{\alpha}(\text{IDI} \cdot AL_y)^{\lambda} \quad (5.2)$$

Consideramos a variável β como um peso para ajuste do efeito do capital no modelo para os países de forma individual e as variáveis α e λ de forma genérica no modelo.

Aplicamos os valores encontrados no *World Bank* e ajustados os valores de β para que o PIB calculado pelo modelo de Romer com o *IDI* se igualasse ao PIB atual; com isso, tivemos a possibilidade de medir apenas o impacto do *IDI* no PIB para entender como uma variação positiva do *IDI* (evolução das TICs e qualidade da força de trabalho) resultaria na evolução do PIB. Como base de referência utilizou-se o maior *IDI* encontrado (Coreia do Sul = 8.4), que foi aplicado no modelo de Romer para os outros países.

O resultado mostrou que países com uma grande população, um baixo índice de capacitação e baixo acesso às tecnologias de informação são aqueles que apresentam uma

maior variação percentual do PIB, significando para o Brasil um aumento de 40%. Para que os valores calculados pudessem convergir para os valores reais, o modelo de Romer teve a variável λ alterada para 0,75, mantendo-se a variável $\alpha=0,5$. Com isso, o cálculo mostrou uma forte correlação entre o IDI e o PIB, convergindo para as teses de Romer. Dados os ajustes, consideramos os valores absolutos encontrados menos importantes que a elaboração da ferramenta.

O IDI é um índice perene com variáveis específicas de fácil monitoramento e mantido pelo ITU. Assim, apresentamos uma ferramenta consistente para futuras análises e acompanhamentos, que poderia ser utilizada também para análise do potencial de desenvolvimento de municípios e estados da federação, quando do investimento em educação.

Investimentos em educação e compartilhamento da informação (ou conhecimento) não são apenas consequência do crescimento econômico, mas uma de suas condições, com fortes impactos na taxa de crescimento do produto interno bruto, particularmente em países com grande população e baixo nível de instrução formal, como é o caso do Brasil.

Referências

BESANKO, David; BRAEUTIGAM, R. Ronald. *Micro-economia, uma abordagem completa*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

CASTELLS, Manuel. *Sociedade em rede*. 8. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2004. Vol. 1.

DOWBOR, Ladislau (1998). *A reprodução social*. Rio de Janeiro: Vozes, 1998. Vol. 2.

FREEMAN, Christopher. *Technology, policy, and economic performance: lessons from Japan*. [S.l.]: Pinter Publishers, 1987.

HALL, Peter; PRESTON, Pascal. *The Carrier Wave: New Information Technology and the Geography of Innovation, 1846-2003*. Boston, USA: Unwin Hyman, 1988.

ITU. *Measuring The Information Society 2010*. Disponível em: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/material/2010/MIS_2010_without_annex_4-e.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2013.

JONES, Charles I. *Introdução à teoria do crescimento econômico*. 16. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2000.

OECD. *The knowledge-based economy*. 1996. Disponível em: <<http://www.oecd.org/science/sci-tech/1913021.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2013.

ROMER, Paul M. Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, v. 94, p. 1002-1037, Oct. 1986.

VAHDAT, Henry. *Universidade Corporativa: um instrumento à serviço da competitividade*. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2008.

WEBSTER, FRANK. *Theories of the information society*, 3rd ed. New York: Routledge, 2006.

WORLD BANK. *Dados dos Países Renda Nacional Bruta ajustada para a paridade de poder de compra*. 2012. Disponível em: <<http://databank.worldbank.org/data/home.aspx>>. Acesso em: 03 jul. 2013.

Recebido: 28/09/2013

Aceito: 06/11/2014

Autor correspondente:

Flavio Morgado
Rua André Natale, 315 – Jardim Popular
CEP 03670-020 São Paulo, SP, Brasil
E-mail: <fmorgado@pucsp.br>